

**MONITOREO DE PASOS DE FAUNA SILVESTRE Y SU USO EN EL
CORREDOR VIAL VILLAVICENCIO-YOPAL**



Brendda Daniela Garzón Rincón

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Sede Circunvalar (Bogotá), Colombia

2022

**MONITOREO DE PASOS DE FAUNA SILVESTRE Y SU USO EN EL
CORREDOR VIAL VILLAVICENCIO-YOPAL**



Brendda Daniela Garzón Rincón

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de;

Médico Veterinario

Director

MV, MSc, PhD. Francisco Javier Vargas Ortiz,

Co-Director

MVZ, MSc Cesar Aurelio Rojano Bolaño

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Sede Circunvalar (Bogotá), Colombia

2022

**MONITOREO DE PASOS DE FAUNA SILVESTRE Y SU USO EN EL
CORREDOR VIAL VILLAVICENCIO-YOPAL**

Brendda Daniela Garzón Rincón

TRABAJO DE GRADO APROBADO

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Medicina Veterinaria

Bogotá, Colombia

2022

Dedicatoria

*A mi madre...
Que supo plantar esta semilla
y cuidarla hasta que floreció.
Y por qué no aprovechar para
gratificar a esa niña,
cuya curiosidad es responsable
de esta Mujer y Medica Veterinaria.*

AGRADECIMIENTOS

Desde luego quiero agradecer a Dios por permitirme estudiar lo que me apasiona. Agradezco profundamente a la ayuda de mis padres Olga y Alexis, por su constante apoyo a la distancia durante este proceso para cumplir esta meta, que es también suya. A mi director de investigación Cesar Aurelio Rojano Bolaño por su paciencia y dirección durante el desarrollo de la investigación, por animarme a conocer la belleza de la región de la Orinoquía y encontrar pasión en el trabajo por la conservación de la fauna silvestre de nuestro país.

A la Facultad de Medicina Veterinaria de la universidad Antonio Nariño y al Profesor Francisco Javier Vargas Ortiz quienes me facilitaron cumplir este propósito de último año. A la Fundación Cunaguaro y el Consorcio Carreteras para la Biodiversidad por permitirme participar en el desarrollo de este proyecto. A la concesión vial Covioriente por la financiación para los recursos necesarios en el monitoreo.

Agradezco la asesoría, apoyo científico y estadístico de la ingeniera agrónoma Diana Obregón Corredor (Departamento de Entomología, Universidad de Cornell), al ingeniero agrónomo Diego Camilo Peña Quemba (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia) por el apoyo científico. A la estudiante Tania Lucero Pérez Gutiérrez (Facultad Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Unitrópico) por su amistad y colaboración logística.

Y a mi equipo de trabajo quienes estuvieron siempre dispuestos a colaborar sin importar la dificultad del proyecto.

RESUMEN

Desde el año 2020 en el corredor vial Villavicencio-Yopal se inició la construcción de pasos de fauna aéreos, en lugares identificados como puntos críticos de atropellamiento, estos son una herramienta para la mitigación de impactos por el desarrollo vial. Dentro de este contexto, el fototrampeo puede ser una técnica fundamental, dado que permite observar la interacción de diferentes especies de animales con los pasos de fauna y demostrar su uso por especie. Este estudio buscó evaluar por medio de cámaras trampa el uso de los pasos de fauna aéreos por parte de especies silvestres de la zona, la frecuencia de cruce y las variables que influyen en ello. El corredor vial se encuentra ubicado entre Villavicencio-Meta hasta Yopal-Casanare, cuenta con una longitud de 260kms. En la actualidad hay construidos 18 pasos de fauna aéreos que conectan áreas boscosas, 12 fueron monitoreados desde junio a diciembre del 2021. Las cámaras se instalaron en arboles cercanos en dirección al paso o directamente en la estructura, encendidas durante 24 horas, activas 30 días, en modo video 15 seg o foto con un intervalo de 3seg entre un registro y otro. Los pasos son estructuras metálicas con una altura entre 11 a 14 mts, poseen una pasarela con malla eslabonada de una longitud de 30 a 80 mts de largo aproximadamente y una capacidad de resistencia de acuerdo a la norma establecida.

Durante este periodo se encontraron 350 registros de uso en 7 de los pasos monitoreados, se identificaron especies como *Saimiri cassiquiarensis* con una frecuencia relativa de cruce del 92%, *Caluromys lanatus* 6% y *Dactylomys dactylinus* y *Didelphis marsupialis* 1% cada una. Se evaluaron las variables que influyeron en el uso de estas estructuras como la elevación, la locación, distancia del paso al cuerpo de agua y distancia del paso a la vía.

Este estudio demuestra que esta estrategia funciona como alternativa de mitigación, generando conectividad de las zonas boscosas fragmentadas, cruces de fauna silvestre a través de las carreteras sin poner en riesgo sus vidas, y adicional permite ver la influencia de variables del entorno, del paso y la vía en la frecuencia de uso.

Palabras clave: Orinoquía, estructuras de cruce, atropellamiento, fototrampeo, ecología de carreteras

ABSTRACT

Since 2020, in the Villavicencio-Yopal road corridor, the construction of aerial wildlife crossings began, in places identified as critical runover points, these are a tool for mitigating impacts due to road development. Within this context, camera trapping can be a fundamental technique, since it allows observing the interaction of different animal species with the passages of fauna and demonstrating its use by species. This study sought to evaluate by means of camera traps the use of aerial fauna passages by wild species in the area, the frequency of crossing and the variables that influence it. The road corridor is located between Villavicencio-Meta to Yopal-Casanare, it has a length of 260 km. There are currently 18 aerial fauna crossings built that connect forested areas, 12 were monitored from June to December 2021. The cameras were installed in nearby trees in the direction of the crossing or directly on the structure, turned on for 24 hours, active 30 days. , in video mode 15 sec or photo with an interval of 3 sec between one record and another. The steps are metallic structures with a height between 11 and 14 meters, they have a catwalk with a chain link mesh of a length of approximately 30 to 80 meters long and a resistance capacity according to the established norm.

During this period, 350 records of use were found in 7 of the monitored steps, species such as *Saimiri cassiquiarensis* were identified with a relative crossing frequency of 92%, *Caluromys lanatus* 6% and *Dactylomys dactylinus* and *Didelphis marsupialis* 1% each. The variables that influence the use of these structures were evaluated, such as elevation, location, distance from the passage to the body of water and distance from the passage to the road.

This study demonstrates that this strategy works as a mitigation alternative, improving the connectivity of fragmented forest areas, crossings of wildlife through the roads without

putting their lives at risk, and additionally allows to see the influence of environmental variables, the passage and the route in the frequency of use.

Keywords: Orinoquia, structures crossing, run over, camera trap, road ecology

TABLA DE CONTENIDOS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| AGRADECIMIENTOS | 5 |
| RESUMEN | 6 |
| ABSTRACT | 8 |
| TABLA DE CONTENIDOS | 10 |
| LISTA DE FIGURAS..... | 12 |
| INTRODUCCIÓN..... | 14 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 16 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 18 |
| OBJETIVOS | 19 |
| General..... | 19 |
| Específicos | 19 |
| MARCO TEORICO..... | 20 |
| Construcción de carreteras y su efecto en el ecosistema | 20 |
| Efecto de barrera | 21 |
| Efecto de borde..... | 21 |
| Efecto de atropellamiento..... | 21 |
| Alternativas de mitigación de la construcción vial..... | 22 |
| Estructuras de cruce de vida silvestre en Colombia..... | 23 |
| Estructuras y monitoreo de pasos elevados de fauna silvestre | 24 |
| Fototrampeo como herramienta de monitoreo..... | 25 |
| Caracterización geográfica de la región de la Orinoquía..... | 26 |
| Clima | 27 |
| Ecosistemas | 28 |
| Fauna silvestre atropellada en la Orinoquía..... | 28 |
| METODOLOGÍA..... | 30 |
| Área de estudio | 30 |
| Selección punto de muestreo | 31 |
| Características de las estructuras de cruce de vida silvestre | 34 |
| Pasos elevados – Aéreos | 34 |
| Fototrampeo de pasos de fauna elevados..... | 35 |

| | |
|--|-----------|
| Listado de especies y TRC | 37 |
| VARIABLES A EVALUAR | 38 |
| Análisis de las variables | 40 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 41 |
| Resultados fototrampeo en pasos de fauna aéreos | 41 |
| Tasa Relativa de Cruce de especies identificadas | 44 |
| Análisis estadístico de variables con el uso de los pasos de fauna | 45 |
| CONCLUSIONES | 52 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 54 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Unidades funcionales del corredor vial Villavicencio Meta -Yopal Casanare (Consortio carreteras para la biodiversidad, 2019)..... | 31 |
| Figura 2 Ubicación cámaras trampa en el departamento Meta CTCV03, CTCV04, CTCV05, CTCV06 en el corredor vial Villavicencio- Yopal. (Elaboración propia)..... | 33 |
| Figura 3 Ubicación cámaras trampa en el departamento de Cundinamarca CTCV08, CTCV01, CTCV02 en el corredor vial Villavicencio- Yopal. (Elaboración propia)..... | 33 |
| Figura 4 Ubicación cámaras trampa en el departamento del Meta y Casanare CTCV09, CTCV10, CTCV11, CTCV12 | 34 |
| Figura 5 Diseño estructura de cruce de fauna silvestre (Consortio Carreteras para la Biodiversidad) | 35 |
| Figura 6 Paso de fauna terminado (Consortio Carreteras para la biodiversidad) | 35 |
| Figura 7 Instalación cámaras trampa en árbol (Elaboración propia)..... | 36 |
| Figura 8 Instalación cámara trampa en paso de fauna (Elaboración propia)..... | 36 |
| Figura 9 Cámara trampa en palma de moriche (Elaboración propia)..... | 37 |
| Figura 10 Registro <i>Caluromys lanatus</i> (Fundación Cunaguaro) | 42 |
| Figura 11 Registro <i>Saimiri cassiquiarensis</i> (Fundación Cunaguaro) | 42 |
| Figura 12 Registro <i>Saimiri cassiquiarensis</i> (Fundación Cunaguaro) | 42 |
| Figura 13 Registro <i>Caluromys lanatus</i> (Fundación Cunaguaro) | 42 |
| Figura 14 Registro <i>Dactylomys dactylinus</i> (Fundación Cunaguaro) | 42 |
| Figura 15 Registro <i>Dactylomys dactylinus</i> (Fundación Cunaguaro) | 42 |
| Figura 16 Registro <i>Didelphis marsupialis</i> (Fundación Cunaguaro) | 43 |
| Figura 17 Especies identificadas en los pasos de fauna silvestre (Elaboración propia)..... | 45 |
| Figura 18 Número de cruces de fauna silvestre en relación a las locaciones de los pasos de fauna | 47 |
| Figura 19 Número de cruces de fauna en relación a elevación. Se observa que a mayor elevación aumenta el número de observaciones de fauna silvestre..... | 47 |
| Figura 21 Número de cruces observados en relación a la distancia del paso a cuerpo de agua..... | 49 |
| Figura 20 Número de cruces observados en relación a la distancia de la vía al paso. A mayor distancia entre el paso y la vía aumentan las observaciones de cruces de fauna silvestre..... | 49 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|--------------------------------------|
| Tabla 1. Ubicación pasos de fauna silvestre en el corredor vial Villavicencio-Yopal..... | 32 |
| Tabla 2 Variables evaluadas en el monitoreo de pasos de fauna..... | 38 |
| Tabla 3. Clasificación taxonómica de especies identificadas en los cruces de fauna (Canevari, Vaccaro, 2007)..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Tabla 4 Parámetros estimados del modelo lineal generalizado tipo Poisson. | 46 |
| Tabla 5 Parámetros estimados del modelo lineal generalizado tipo Poisson. | 48 |
| Tabla 6 Parámetros estimados del modelo lineal generalizado tipo Poisson. (Cobertura vegetal izq-der, DAP izq-der, altura izq-der) | 50 |

INTRODUCCIÓN

Las carreteras y el tráfico tienen un impacto negativo en muchas poblaciones porque aumentan la mortalidad de la vida silvestre, son barreras para el movimiento de animales y reducen la cantidad y calidad de hábitat disponible. Existe una creciente preocupación por la reducción de la conectividad de la vida silvestre a través de las carreteras, sino se hace un esfuerzo para reducir estos efectos podría haber graves consecuencias para los procesos ecológicos y la vida silvestre, como disminución de las poblaciones por aumento de mortalidad, proporciones de sexo desequilibradas, tasas de reproducción mas bajas, reducción de genes, pérdida de biodiversidad y cambios en la composición de las comunidades (Van der Ree et al., 2015).

En nuestro país se están llevando a cabo investigaciones que permiten conocer más acerca del impacto de la construcción vial y así ejecutar alternativas de mitigación, como las que se están desarrollando en la región de la Orinoquía en el corredor vial Villavicencio – Yopal con la construcción de pasos de fauna aéreos. Estudios previos en este corredor realizados por el consorcio Carreteras para la Biodiversidad informaron que se atropellan aproximadamente 8.9 ind/día, lo que equivale a una suma alarmante de 3.300 individuos atropellados por año (Fundación Cunaguaro, 2019).

La construcción de estos pasos de fauna aéreos fue en puntos identificados como zonas de cruce, especialmente de mamíferos arborícolas, con el propósito de permitir el paso seguro de animales a través de la carretera, conectar áreas de bosques y reducir la mortalidad de la vida silvestre por atropellamiento, promoviendo tanto la seguridad humana como la conservación de la vida silvestre (Denneboom et al., 2021). Para evaluar la efectividad de estas estructuras se decidió realizar un monitoreo de 12 pasos de fauna aéreos por medio de

cámaras trampa durante un periodo de 6 meses, que permitiera determinar las especies que hacen uso de los pasos y su comportamiento con estos. Además, por medio de un modelo estadístico, evaluar la influencia de variables de la vía, del paso y el entorno que pudieran afectar estas cifras. Esto ayudara a realizar un análisis mas completo de la funcionalidad de las estructuras de cruce, su viabilidad y replicación para especies de mamíferos arborícolas principalmente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La pérdida de biodiversidad, contaminación, fragmentación y degradación del hábitat surge de las actividades y desarrollo socioeconómico de las regiones, siendo el impulso de la extinción (Vitousek et al., 1997). Las carreteras son una de las principales causas de fragmentación del hábitat y alteración de poblaciones de animales silvestres. Se estima que 750 millones de vehículos viajan en el mundo, aproximadamente 50 millones de km de vía pública y carretera. Además, los volúmenes de tráfico y de red siguen aumentando, particularmente en Europa del Este, China, India y América latina (Van der Ree et al., 2011). Mongabay informa que, en España se reportan anualmente cerca de 30 millones de casos de animales atropellados, contando solo los vertebrados. En estados Unidos es de un millón de atropellamientos al mes; es decir 365 millones de atropellamientos al año; en Brasil el país mas megadiverso del mundo, reporta 475 millones de casos anualmente, es decir, 1,3 millones al día.

En Colombia no existe cifras en términos totales para todo el país por lo que urge investigación exhaustiva sobre atropellamiento de fauna, sin embargo, de acuerdo a estudios realizados por el instituto Humboldt, el instituto tecnológico Metropolitano y Recosfa, los grupos taxonómicos de animales más atropellados en Colombia, corresponden a mamíferos 45%, aves 32%, anfibios 15% y 8% reptiles; las especies con mayor registro de atropellamiento son la Zarigüeya (*Didelphis sp.*) con 63,1%, ardilla de cola roja (*Notosciurus granatesis*) 6,9%, oso mielero (*Tamandua tetradactyla*) 3,2%, gallinazo negro (*Coragyps atratus*) 2,6%, Zorro cangrejero (*Cerdocyon thous*) 1,9%.

Varios países a nivel mundial han implementado alternativas de mitigación como la construcción de estructuras de cruce para la vida silvestre como lo son Holanda, Austria,

Estados Unidos, Kenia, Brasil, México y Costa Rica. En Colombia se han realizado proyectos importantes que mitiguen esta amenaza, como la señalización de zonas de cruce de fauna silvestre, campañas para concientizar a los usuarios y construcción de pasos de fauna aéreos en varias carreteras del país como la ruta del sol, en el departamento de Antioquia y Cundinamarca.(UNAL, 2020); sin embargo, es poca la información que se ha obtenido del uso y la interacción de estas estructuras con la fauna silvestre, lo cual es necesario para reconocer la diversidad de vertebrados terrestres que se ve beneficiada por estas estructuras y cuál es su comportamiento de acuerdo a las características de la misma.

En la región de la Orinoquía se encuentra el corredor vial Villavicencio -Yopal, con una subregión llamada piedemonte llanero que abarca una parte de los departamentos del Meta, Casanare y Cundinamarca, esto hace que sea una zona diversa de fauna y ecosistemas característicos de esta región. Esta vía se encuentra en adecuación y construcción de estructuras de paso de fauna aéreos debido al alto índice de atropellamiento de fauna nativa. La presente investigación se realizó con el objetivo de monitorear y verificar el uso de los pasos de fauna silvestre construidos en el corredor vial, evaluar el mejoramiento de la conectividad del ecosistema con estas estructuras, las especies que se ven beneficiadas y que variables de medición ambientales, estructurales del paso y de la vía, pueden llegar a influir los resultados de dicho estudio.

JUSTIFICACIÓN

Las diferentes investigaciones que se han realizado en el uso de pasos de fauna silvestre como alternativa de mitigación han evaluado el recuento de cruces exitosos y las especies beneficiadas; concluyendo que es una estrategia viable para disminuir impactos generados por el desarrollo vial a nivel mundial. Sin embargo, esta medida no es un indicador adecuado para evaluar la eficacia de las estructuras de cruce, es necesario relacionar este indicador con variables de la zona donde se realice el estudio.

Denneboom et al en el 2020, mencionó la importancia de integrar los datos de cruces efectivos de acuerdo a la especie y al tipo de cruce; más allá de las características de la estructura de cruce, el entorno que la rodea, también puede influir en el uso por parte de la vida silvestre. Esto permitirá analizar la información completa, entender un poco más la interacción de las especies con la estructura de cruce y dar conclusiones que contribuyan a próximos estudios.

El diseño, construcción y monitoreo detallado dependiendo de la región y las especies en objeto son fundamentales para el éxito del estudio y del cumplimiento de los objetivos de mitigación. En cuanto al seguimiento de la tasa de uso del paso de fauna silvestre se ha utilizado el fototrampeo como método para detectar y registrar el paso de vida silvestre (Van der Ree et al., 2015). Este trabajo pretende evaluar por medio de cámaras trampa el uso de pasos de fauna silvestre construidos en el corredor vial Villavicencio- Yopal y relacionar el resultado con las variables del entorno que puedan influir en la interacción de la estructura con las especies presentes alrededor de la vía. Con el motivo de evaluar la conectividad generada por esta alternativa de mitigación implementada.

OBJETIVOS

General

Monitorear el uso de los pasos de fauna aéreos en el corredor vial Villavicencio Meta – Yopal Casanare en la región de la Orinoquía Colombiana.

Específicos

- Determinar por medio de fototrampeo las especies de mamíferos arborícolas que hacen uso de los pasos de fauna aéreos del corredor vial Villavicencio –Yopal.
- Establecer la frecuencia de uso de los pasos de fauna aéreos por especies silvestres del corredor vial Villavicencio – Yopal.
- Identificar las variables de la vía, el paso de fauna y el entorno, que influyen sobre el uso de los pasos de fauna en el corredor vial Villavicencio – Yopal.

MARCO TEORICO

Construcción de carreteras y su efecto en el ecosistema

Los capítulos son las principales divisiones del documento. En estos, se desarrolla el tema del documento. Cada capítulo debe corresponder a uno de los temas o aspectos tratados en el documento y por tanto debe llevar un título que indique el contenido del capítulo.

En las últimas décadas los proyectos de infraestructura vial han sido considerados como pilar del desarrollo social, económico y esencial para la comunicación entre comunidades, poder dotar a las regiones con accesos para el intercambio de productos, paso a los mercados, generar mayor cobertura en salud y servicios a las regiones alejadas dentro del país ha permitido mejorar la calidad de vida de muchos. Esta posibilidad de interacción de zonas rurales con zonas urbanas requiere de la construcción de dichas vías, ya que al estar aisladas de las urbes generan situaciones que originan diversos conflictos sociales y desigualdad. Frente a este panorama existe la probabilidad de mejorar las condiciones de sus habitantes con inversiones en construcción de carreteras (Arroyave et al., 2006). Sin embargo, estos proyectos se han venido ejecutando sin una visión integral, o por lo menos si se han tenido en cuenta los aspectos ambientales no se implementaron debidamente, originando grandes impactos sobre los diferentes ecosistemas y zonas de protección convirtiéndose en una gran amenaza para la biodiversidad aumentando la mortalidad de vida silvestre debido a atropellamientos vehiculares, reducción de la disponibilidad de recursos por contaminación de las aguas y ríos y adicionalmente, generan barreras y limitan la movilidad de las poblaciones animales disminuyendo el área y la conectividad de hábitats disponibles para tener acceso a fuentes hídricas y de alimentación y generan menores tasas de reproducción

(Van der Ree et al., 2015). Los impactos causados por dichas construcciones se explican a fondo a continuación.

Efecto de barrera

Uno de los impactos negativos más importantes es el efecto barrera que se produce cuando se limita o se impide la movilidad de las especies principalmente de las colonias reproductivas que trae como consecuencia la disminución del potencial de dispersión y colonización. La mayoría de las especies no cruzan estas “barreras” lo que produce una alteración en la interacción entre grupos de fauna y flora. Por ejemplo, árboles frutales que requieren la dispersión de sus semillas por medio de animales, tendrán limitada su capacidad de reproducción y esto a su vez limita la disponibilidad de alimentos. Este efecto, también llega a formar grupos pequeños y parcialmente aislados causando proporciones de sexo desequilibradas, disminución de variabilidad genética entre las poblaciones y pérdida de su potencial reproductivo (Arroyave et al., 2006)

Efecto de borde

Otro de ellos se conoce como el efecto de borde, cambiando condiciones de temperatura, humedad, radiación y susceptibilidad al viento alrededor de la vía, esto modifica la distribución y abundancia de las especies en un perímetro cercano, desplazando al interior especies de dicho ecosistema fragmentado y atrayendo otras que encuentren en el nuevo hábitat condiciones más favorables para sus supervivencia y reproducción (Arroyave et al., 2006).

Efecto de atropellamiento

Por último, el efecto de atropellamiento de fauna es el impacto que altera directamente la cantidad poblacional de las especies y el cual a largo plazo puede causar una gran pérdida de especímenes, y por otro lado genera riesgo a los conductores vehiculares. El índice de

atropellamiento está relacionado con el flujo vehicular, las altas velocidades, la anchura de la vía, el comportamiento de las especies, la especie implicada y la cobertura vegetal.

Otros efectos importantes que impactan negativamente en el medio ambiente son: alteraciones en los ciclos hidrológicos, cambios microclimáticos, producción de basura y contaminación sonora, tráfico ilegal de fauna, transformación de la vegetación natural para generación de sistemas de cultivo y la formación de asentamientos humanos en los bordes de las carreteras que alteran aún más el hábitat (Pacheco et al., 2014).

Alternativas de mitigación de la construcción vial

En últimos 80 años en Colombia se han construido aproximadamente 45.000 kms de carreteras y a pesar que es una acción justificada para el país ha existido una falta de interés por parte del Estado de ordenar y controlar racionalmente el uso del territorio y de proteger numerosas zonas, cuya vocación y uso estratégico era la conservación de su estado natural.

De estos proyectos enfocados en el desarrollo socioeconómico y sin ninguna consciencia ambiental en el diseño y construcción surgieron varias problemáticas para los ecosistemas y solo se tenían en cuenta cuando representaba una amenaza para el proyecto y funcionamiento final de este. Es así como, solamente se consideraban factores físicos relacionados con la topografía, geología y la hidrología por donde se trazaban los proyectos. A partir de este tipo de desastres ambientales se fue generando una conciencia ambiental en algunas entidades de Colombia, adicional a esto surgieron conceptos traídos de diferentes países llamados ecología de carreteras y sostenibilidad en construcción vial. De esta forma se fue generando una amplia bibliografía e interés por las implicaciones ambientales de las obras de infraestructura vial del país. (Thompson, 2014)

El Instituto Nacional de Vías de Colombia y varias entidades se han comprometido implementando prácticas de manera consciente como parte de un comportamiento responsable en la actividad de construcción basados en la legislación ambiental del país. Entre esto, se ha solicitado a las construcciones viales que tengan su propio plan de manejo ambiental de acuerdo a los tramos de territorio que administran. El paso a seguir en Colombia es la exigencia y obligatoriedad de implementación y cumplimiento en toda construcción vial, aunque varias concesiones y entidades colombianas han iniciado con estas alternativas y se han comprometido con el desarrollo y la conservación es necesario continuar con el proceso.

La construcción temprana de medidas de mitigación de la fauna puede minimizar impactos y permitir la adaptación de diseños incluidos en la obra; como el diseño y construcción estructuras de cruce para la fauna dependiendo de las especies que se busca beneficiar. Se requiere una investigación científica y seguimiento riguroso que produzca información precisa para identificar y mitigar los impactos negativos de las carreteras en la vida silvestre, las comunidades y los ecosistemas, con esto se pretende aclarar que el monitoreo y la investigación antes, durante y después de la construcción es obligatoria no solo para disminuir impacto durante la construcción de la obra, sino principalmente responder preguntas relevantes sobre la efectividad de la mitigación del impacto (Van der Ree et al., 2015).

Estructuras de cruce de vida silvestre en Colombia

Actualmente se encuentra en trámite la normativa ambiental del Congreso de la República de Colombia del año 2020, que busca promover la protección de los ecosistemas, la vida animal, sus hábitats naturales y la conservación de las especies. El proyecto de ley N.º 132, busca

garantizar el flujo normal y continuo de la fauna en territorios y ecosistemas fraccionados por la construcción de carreteras. “Por medio de la cual se establecen los pasos de fauna como una estrategia para implementar acciones en las vías terrestres para la prevención y mitigación de atropellamiento y cualquier otro tipo de daños o desmejoramiento del bienestar animal por causa de la construcción en una determinada vía y se dictan otras disposiciones” (Senado de la república, 2021). De acuerdo a lo anterior, la ANI (Agencia Nacional de Infraestructuras) ha guiado a las concesiones viales del país para la construcción de pasos de fauna silvestre. Esto ha permitido salvaguardar la vida de 6,395 animales en las vías nacionales y proteger a las especies propias de la región. En la ruta del sol se ha desarrollado esta alternativa de mitigación, cuenta con 25 pasos de fauna aéreos y 25 subterráneos; y se ha podido observar un 10% de disminución en atropellamiento de fauna silvestre. Otros de los proyectos que han implementado pasos de fauna en Colombia son: Cartagena-Barranquilla - Circunvalar de la Prosperidad, Honda-Puerto Salgar-Girardot, Antioquia-Bolívar, Transversal de las Américas, Santa Marta-Riohacha-Paraguachón, Devimed, Ruta Caribe, Bogotá-Villeta, Malla vial del Valle del Cauca y Cauca, Neiva-Girardot, Ruta del Sol 3 y Transversal del Sisga y Villavicencio-Yopal (ANI, 2020).

Estructuras y monitoreo de pasos elevados de fauna silvestre

La construcción de estructuras de cruce de vida silvestre ha llegado a convertirse en una práctica estándar en muchas partes del mundo para ayudar a restaurar el movimiento de la vida silvestre a través de las carreteras y contribuir a la conservación de la biodiversidad. Numerosos estudios han demostrado que, si están bien diseñados y colocadas, las estructuras de cruce son utilizadas por muchas especies, pero se sabe poco acerca de su eficacia en alcanzar metas específicas (Sijtsma et al., 2020). Es esencial desarrollar estrategias eficientes

de mitigación vial de forma específica de acuerdo al área donde vaya a construirse la obra y a las especies que se quiera beneficiar. Sin un conocimiento previo corremos el riesgo de perder poblaciones de vida silvestre, el uso inadecuado de los recursos financieros. Si sobrestimamos su efectividad podemos construir más de lo necesario y si la subestimamos podemos construir, pero no llegar a generar el impacto deseado.

Van der Ree et al., (2015) considera que, para realizar un monitoreo eficaz de las estructuras de cruce de vida silvestre, es necesario adoptar un diseño que permita conclusiones rigurosas estableciendo objetivos de mitigación específicos, medibles, alcanzables y realistas. Teniendo la claridad de que impacto de la carretera se va a abordar y cual se busca reducir; este diseño incluye la recopilación de datos antes y después de la construcción de carreteras nuevas o de la instalación de medidas de mitigación estableciendo puntos de impacto previamente identificados y puntos de control donde no se tengan medidas, estos últimos aseguran que los cambios medidos puedan ser atribuidos a la estrategia de mitigación.

Fototrampeo como herramienta de monitoreo

En años recientes se ha incrementado la utilización en el campo de cámaras-trampa, que consiste en colocar cámaras automatizadas ya sean sujetas en troncos de árboles u otras estructuras, a una altura determinada, y esto ha permitido conocer la riqueza de vertebrados (de talla mediana y grande) en muchas áreas (Gallina, 2015). Las cámaras trampa son usadas actualmente para detectar presencia o ausencia de animales, realizar inventarios, registrar horas de actividad y otros comportamientos, estimaciones de diversidad, monitoreo de poblaciones en diferentes paisajes, estimaciones de abundancia y densidad y hasta control y vigilancia en áreas protegidas (O'Connell et al. 2011).

Esta metodología también ha sido útil para la investigación sobre la efectividad de las estructuras de cruce de animales silvestres en vías. Diversos autores han reportado la efectividad de esta metodología en cruces de fauna arborícolas y terrestres (Clevenger et al., 2000; Jaeger et al., 2017; Wang et al., 2017).

Caracterización geográfica de la región de la Orinoquía

La Orinoquía colombiana es una de las cinco regiones naturales de Colombia además de la Amazonía, Andina, Caribe y Pacífica. Esta región tiene una extensión aproximada de 310.000 Km² ubicados en el oriente del país. De oriente a occidente, se encuentra entre las estribaciones de la cordillera Oriental, lugar conocido como piedemonte, hasta los límites con Venezuela. De norte a sur, entre el río Arauca y el río Guaviare. La Orinoquía abarca territorios de los departamentos de Arauca, Casanare, Guainía, Guaviare, Meta y Vichada. Así mismo, presenta principalmente extensas sabanas, por las cuales pasan las corrientes que confluyen al río Orinoco (IAVH, 2006).

Los Llanos Orientales es considerada una región de altísimo valor debido a sus diferentes ecosistemas (paramo, piedemonte, planicies bajas inundables o sabanas inundables, planicies altas o altillanura), su riqueza hidrológica ya que en esta extensa zona de montaña nacen los ríos más largos y caudalosos de la cuenca del Orinoco. Dentro de estos están: Guaviare, Vichada, Meta, Casanare, Cinaruco y Arauca. Todos son ríos torrenciales pues su descenso por la cordillera hacia la planicie es bastante abrupto; por esto mismo tienen gran poder de arrastre y erosión, controlado únicamente por los bosques que amortiguan su paso. Esta región ha tenido un proceso evolutivo permitiendo la subsistencia de animales, plantas, hongos y microorganismos, dentro de las relaciones y funciones de cada ecosistema actual, algunas se convierten en beneficios directos para la vida y las actividades humanas (IAVH,

2020). Esto es lo que la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio ha definido como servicios ecosistémicos, los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, sean económicos o culturales

Actualmente, tanto las sábanas como la altillanura vienen sufriendo evidentes procesos de transformación basados en el desarrollo socioeconómico de la región. Adicionalmente, existen en la Orinoquía algunas áreas conservadas, pero estas no representan suficientemente las actuales figuras de protección que posee Colombia. Derivado de lo anterior, es importante que todos los actores que forman parte de la Orinoquía (comunidades, agricultores, ganaderos y entidades gubernamentales -entre otros-), participen en la toma de decisiones sobre las acciones que deben ocurrir en su territorio para lograr la protección y el buen uso del patrimonio natural.

Clima

El clima ambiental de esta región es típico de las montañas tropicales, así que varía según la altitud con temperaturas de menos de 0 °C en las cumbres nevadas del Cocuy (5.495 m s. n. m.), que van aumentando a medida que se baja hacia el piedemonte. En los páramos puede darse una diferencia de 15 y 20 grados entre el punto más bajo y el más alto (día y noche); en el piedemonte la temperatura fluctúa máximo 10 grados. En este lado de la cordillera las precipitaciones alcanzan los 1.000 mm en las partes altas y aumentan a medida que se descende (IAVH, 2020).

La cantidad de lluvias y su frecuencia siguen un gradiente diferencial que va de los Andes en dirección al este. Al pie de los Andes (piedemonte) las lluvias anuales superan los 3.000 milímetros. La zona más seca está en Arauca (entre 1.000 y 2.000 mm. anuales) y hacia el Sur (departamento del Meta y Vichada), la precipitación oscila entre 2.000 y 3.000

milímetros en gran parte del territorio. En el Centro Nacional de Investigación (CNI) de Carimagua, ubicado en el centro de los Llanos Orientales, las precipitaciones superan los 2.300 milímetros anuales. En términos generales la temporada de lluvia inicia en el mes de abril y finaliza en noviembre (ocho meses). Durante este periodo cae un 95% de la lluvia del año. En contrapartida, la temporada seca va de diciembre a marzo (cuatro meses). Igualmente, la duración de ambas temporadas es variable según la distancia del sitio a la Cordillera Oriental de los Andes (Podestá, 2006).

Ecosistemas

Esta región se puede subdividir según sus ecosistemas en páramos y superpáramos que, desde los 2.800 msnm aproximadamente, ascienden hasta el tope de la montaña; el bosque andino y subandino, entre los 1.000 y 2.800 msnm.; y el piedemonte, que vendrá inmediatamente después entre 500 y 1.000 m s. n. m. (IAVH, 2014). Los procesos más importantes de la Orinoquía como región están asociados a la dinámica compartida de la cordillera andina con las planicies. Todos los ecosistemas presentes en la región contribuyen de manera esencial a la biodiversidad, el desarrollo económico y cultural de los habitantes (IAVH, 2020).

Fauna silvestre atropellada en la Orinoquía

La riqueza de fauna en la Orinoquia se estima aproximadamente en 761 especies de aves, que significa el 40% del total del país, y para la subregión de piedemonte es cerca de 414 especies. En mamíferos, tanto terrestres como voladores, hay 196 especies (39.8% del total del país). Los reptiles están representados por 122 especies (22% del país) y para la subregión de piedemonte 98 especies; el grupo con menor número de especies es el de los anfibios, con 71 especies (9% del país) y 51 especies para el piedemonte llanero (Martínez y Rangel-Ch et al., 2014).

De acuerdo a estudios previos por el Consorcio Carreteras para la Biodiversidad (2019), aproximadamente 62 especies nativas, incluyendo aves, mamíferos, reptiles y anfibios son atropellados en el corredor vial Villavicencio – Yopal, dejando una cifra de 8,9 ind/día y 3.300 individuos atropellados al año. Las especies más afectadas fueron *Didelphis marsupialis*, *Tamandua tetradactyla*, *Rhinella marina* e *Iguana iguana*, entre otros. (Pinto et al., 2018) mencionan que la proximidad de ríos y presencia de cobertura de vegetación herbácea, antrópicas y mezcla de estas, se asocian de manera directa con los eventos de colisión en carreteras. La presencia de coberturas antrópicas y mixtas, que se encuentran conformadas por pastos o pastizales, algunos cultivos, y cuerpos de agua, son características paisajísticas heterogéneas comunes en los trópicos, en donde el uso de la tierra y los patrones de cobertura de la tierra son diversos y cambian bajo la influencia de las carreteras (Freitas et al., 2010).

METODOLOGÍA

Área de estudio

Este proyecto se lleva a cabo en la región la Orinoquía, en la vía Villavicencio – Yopal. El corredor vial comprende desde Villavicencio en el departamento del Meta (5° 19'35.2''N y 72°24'43.2''O) hasta Yopal en del departamento de Casanare (4°11'18.3''N y 73°36'14.8''O) (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esta vía cuenta con una longitud cercana a los 260kms y conecta los municipios de Villavicencio, Cumaral, Paratebueno, Villanueva, Monterrey, Tauramena, Aguazul y el Yopal, atravesando el suroeste del departamento de Casanare, el oriente del departamento de Cundinamarca y el norte del departamento del Meta. La vía está ubicada a lo largo del piedemonte llanero colombiano, el cual es una franja geográfica que abarca una amplia gama de biomas bordeando el este de la Cordillera Oriental. (IGAC., 2003; Briceño-Vanegas., 2015). Es posible encontrar tres tipos de biomas: Orobiomas bajos de los andes, Helobiomas de la Orinoquía y Peinobiomas de la Orinoquía. (Romero M.H et al., 2009). El paisaje está compuesto por coberturas mixtas de bosques naturales, pastos, cultivos permanentes y semipermanentes. En esta zona el clima monomodal, con dos periodos hidrológicos: seco (que va de diciembre a marzo, con un promedio de temperatura mensual de 28,1°C y 48,2 mm de precipitación/mes) y de lluvias (de mayo a octubre, con un promedio de temperatura mensual de 25,8 °C y 274,6 mm de precipitación/mes). Los meses de abril y noviembre son considerados de transición entre los periodos (IDEAM. 2017).

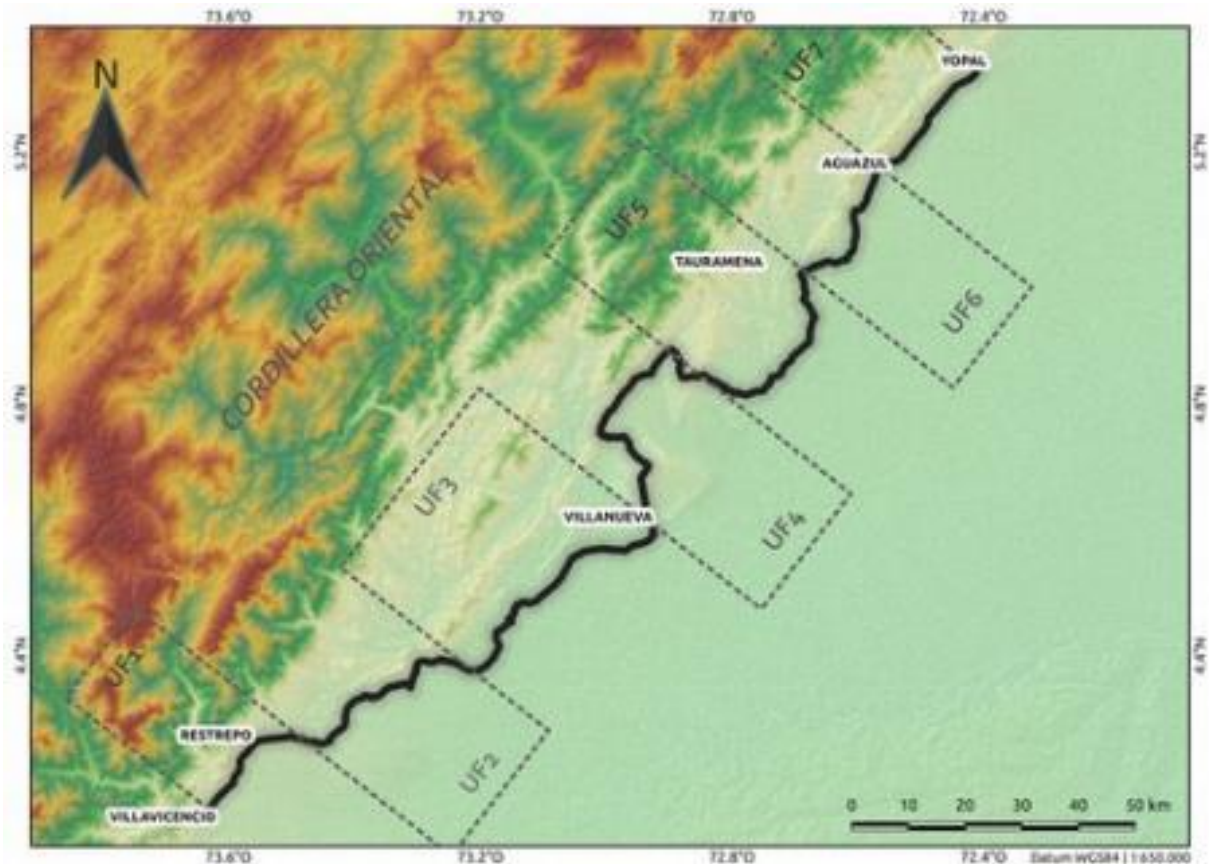


Figura 1 Unidades funcionales del corredor vial Villavicencio -Yopal Casanare (Consortio carreteras para la biodiversidad, 2019).

Selección punto de muestreo

El criterio de selección no probabilístico usado fue selección por conveniencia (Otzen, 2017).

Se escogieron 12 pasos de fauna que estuvieran completamente construidos hasta la fecha y que la comunidad hubiera informado que estaban siendo usados por animales silvestres. La ubicación de los pasos escogidos fueron los siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Ubicación pasos de fauna silvestre en el corredor vial Villavicencio-Yopal

| ESTACIÓN | LATITUD | LONGITUD | MUNCP-DPTO |
|-----------------|----------------|-----------------|------------------------|
| CTCV01 | 4,2256 | -73,11356 | Paratebuena |
| CTCV02 | 4,2328 | -73,17058 | Paratebuena |
| CTCV03 | 4,2637 | -73,5611 | Restrepo |
| CTCV04 | 4,2491 | -73,5685 | Restrepo |
| CTCV05 | 4,2309 | -73,5822 | Villavicencio-Restrepo |
| CTCV06 | 4,2283 | -73,5821 | Villavicencio-Restrepo |
| CTCV07 | 4,266371 | -73,54529 | Restrepo-Cumaral |
| CTCV08 | 4,35564 | -73,31191 | Cumaral-Paratebuena |
| CTCV09 | 4,55325 | -73,05522 | Barranca de Upía |
| CTCV10 | 4,61326 | -72,93072 | Villanueva |
| CTCV11 | 5,04435 | -72,60701 | Tauramena-Aguazul |
| CTCV12 | 5,28057 | -72,46507 | Aguazul-Yopal |

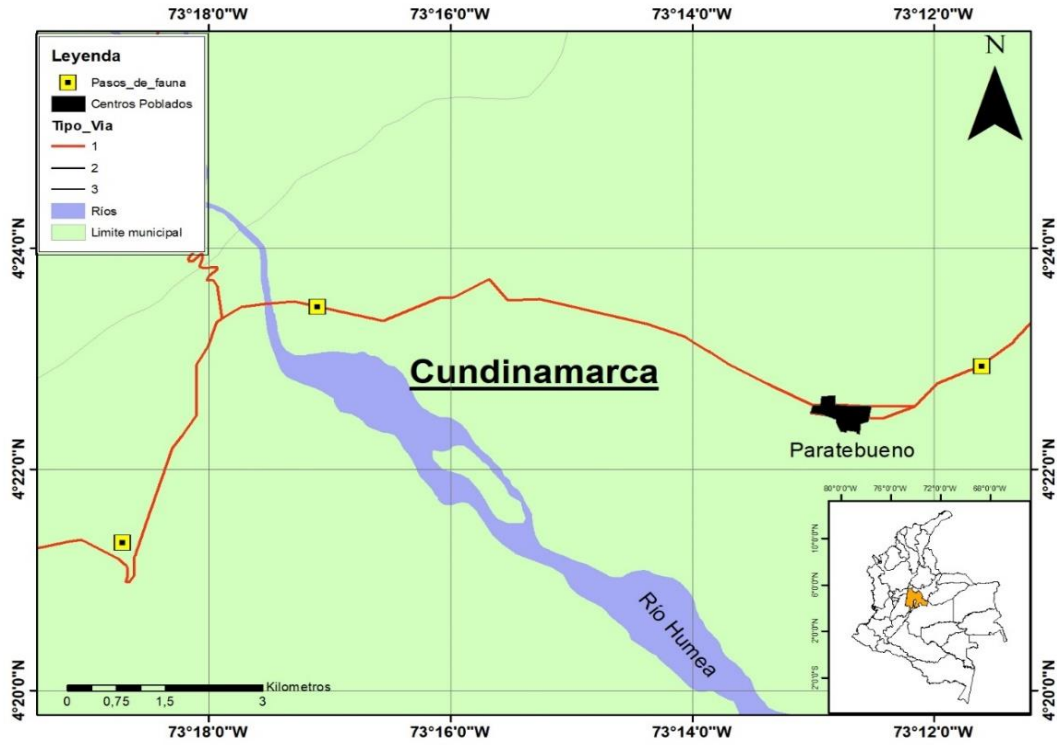


Figura 3 Ubicación cámaras trampa en el departamento de Cundinamarca CTCV08, CTCV01, CTCV02 en el corredor vial Villaviciencio- Yopal. (Elaboración propia)

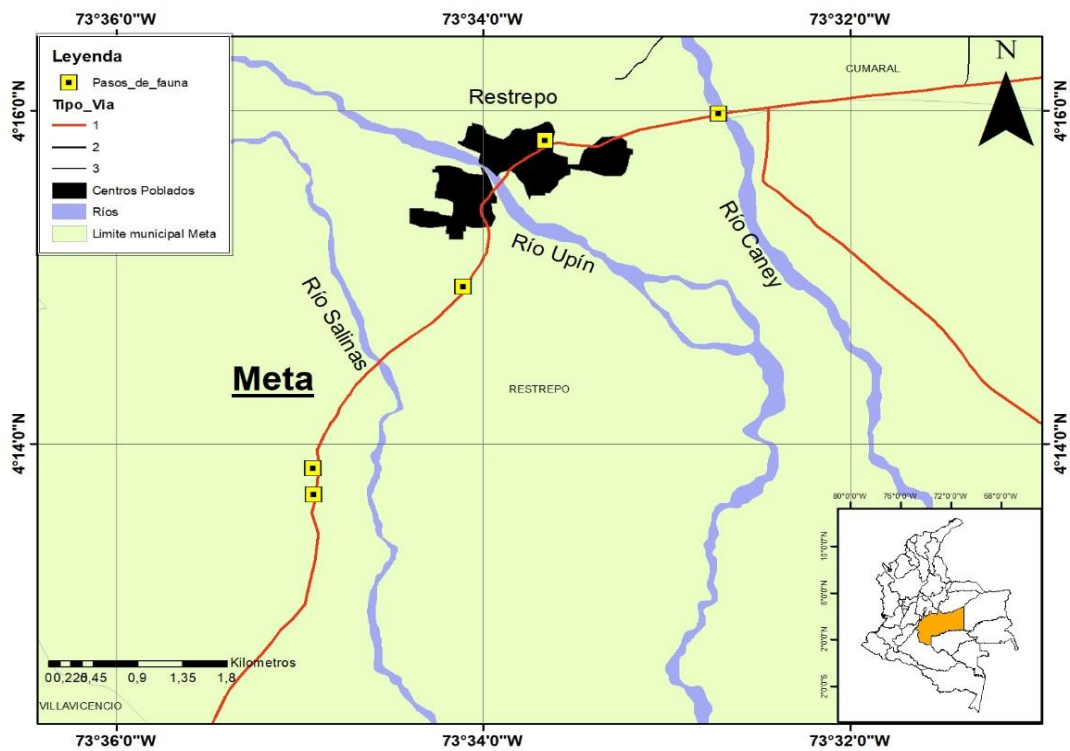


Figura 2 Ubicación cámaras trampa en el departamento Meta CTCV03, CTCV04, CTCV05, CTCV06 en el corredor vial Villaviciencio- Yopal. (Elaboración propia)

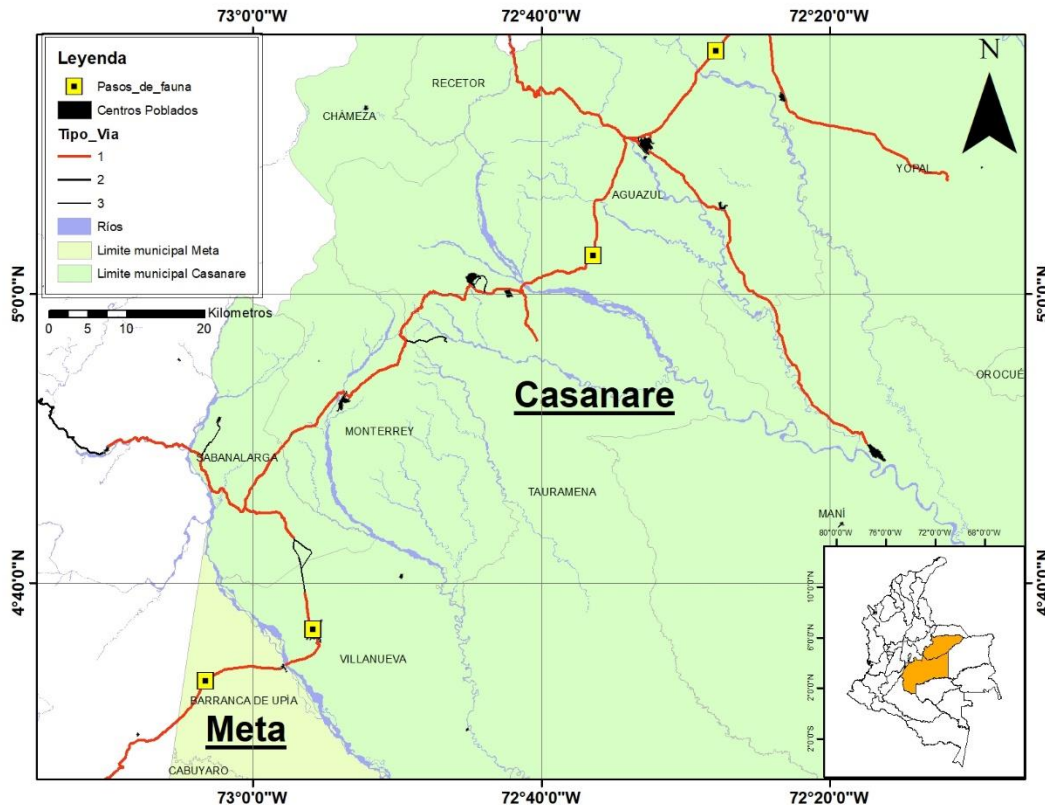


Figura 4 Ubicación cámaras trampa en el departamento del Meta y Casanare CTCV09, CTCV10, CTCV11, CTCV12

Características de las estructuras de cruce de vida silvestre

Pasos elevados – Aéreos

El modelo de la estructura se realizó en el programa Sap2000, donde se consideraron los materiales correspondientes, el pórtico se diseñó para soportar fuerzas correspondientes a la carga muerta, carga viva y de viento. Como se evidencia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** . El código de diseño utilizado fue el requerido por el reglamento colombiano de construcción sismo resistente y de acuerdo a la reglamentación de construcción vial establecido por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). Para realizar este diseño fue necesario tener presente las especies en objeto y su comportamiento. Los pasos de fauna constan principalmente de dos soportes metálicos fijos al suelo a cada lado de

la vía con una altura mínima de 7 metros y una pasarela de 30 – 80 mts de largo en malla recubierta con PVC, cada pasarela está conectada al bosque en ambos lados de la vía.

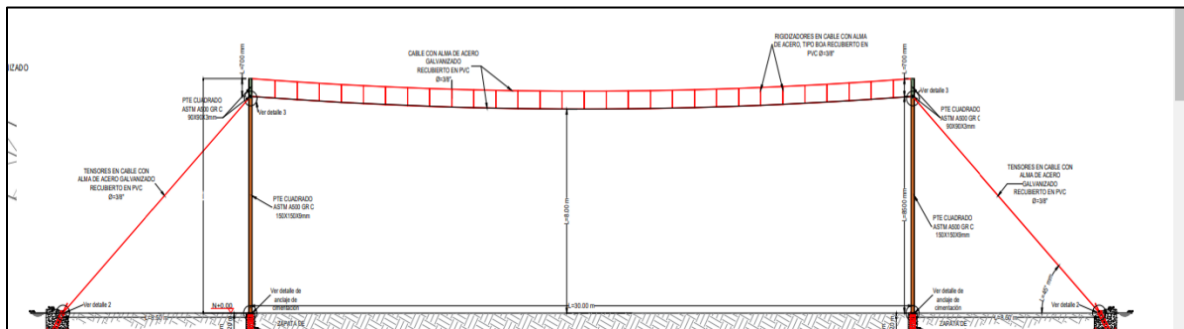


Figura 5 Diseño estructura de cruce de fauna silvestre (Consorcio Carreteras para la Biodiversidad)



Figura 6 Paso de fauna terminado (Consorcio Carreteras para la biodiversidad)

Fototrampeo de pasos de fauna elevados

Durante un periodo de seis meses de junio a diciembre, se llevó a cabo el monitoreo de las estructuras de cruce aéreas presentes en el corredor vial. Para esto se utilizaron seis cámaras trampa en los puntos de monitoreo. Estos atendieron a condiciones de seguridad de los

equipos y el personal de trabajo en alturas. Inicialmente fueron monitoreados 6 pasos de junio a agosto, una vez recolectada la información fueron reubicadas de posición en los mismos pasos debido a la complejidad de acceso para la instalación y se dejaron activas los meses de septiembre a octubre, luego se rotaron a nuevos pasos hasta el mes de diciembre.

El fototrampeo fue realizado con cámaras trampa Bushnell y Moultrie, estas fueron instaladas en los accesos de los pasos, y en lo posible se alternaron de lado, para cubrir todo el ancho de las estructuras. Se instalaron perpendiculares a la dirección del movimiento de los animales y la pasarela del paso; dependiendo de las condiciones que brindara el terreno se decidió en que estructura ubicarla (soporte de la pasarela o arboles cercanos). Los equipos permanecieron activos 24 horas, durante 30 días y una vez cumplido el mes fueron retiradas para obtener la información colectada, realizar cambio de baterías y ser reinstaladas para continuar con el monitoreo. Todas las cámaras fueron configuradas en modo video o fotografía de 15 seg y a intervalos de 3 seg entre un registro y otro (Wang et al, 2017).



**Figura 7 Instalación cámaras trampa en árbol
(Elaboración propia)**



**Figura 8 Instalación cámara trampa en paso de fauna
(Elaboración propia)**



**Figura 9 Cámara trampa en palma de moriche
(Elaboración propia)**

Listado de especies y TRC

Con los registros obtenidos del monitoreo se generó un listado de especies identificadas apoyado de literatura especializada (Canevari y Vaccaro, 2007) y se organizaron los datos de los especímenes registrados por categoría taxonómica: (Nombre científico, reino, filo, clase, orden, familia, genero, epíteto específico, nombre común). Además, se estableció la tasa relativa de cruce (Ecuación 1) (Wang et al., 2017) para cada especie, definida como:

$$\mathbf{TRC = Fi / T * 100} \quad \mathbf{(1)}$$

TCR-Tasa de cruce relativa, **Fi**-frecuencia de cruce de la especie, **T**-frecuencia de cruce del total de especies. (Wang et al., 2017). Donde Fi es la frecuencia relativa del total de cruces por cada especie, T es la frecuencia absoluta del total de los cruces y 100 el valor constante.

VARIABLES A EVALUAR

Denneboom et al (2021) reporta que, para tener un análisis completo y resultados veraces es necesario realizar un monitoreo a gran escala, midiendo el número de cruces efectivos por cada especie y estructura, las características físicas y enfoque de las categorías de pasos de fauna y el comportamiento natural de las especies en objeto o quienes hacen uso de estos. Debido a que múltiples factores pueden influir en los patrones de uso es necesario evaluarlos para tener datos más veraces de uso por especie y por diseño de las estructuras de cruce silvestre. Las variables mixtas a medir en este proyecto son las siguientes (Robin A, Bélanger K., 2016) (Baechli J. et al, 2020).

Tabla 2 Variables evaluadas en el monitoreo de pasos de fauna

| MEDIDA | UNIDAD DE MEDIDA | TOMA DE MEDIDA |
|---|-------------------------|--|
| VARIABLES DE LA VÍA | | |
| Ancho | mts | Distancia total de la vía Se evaluó de acuerdo a la cantidad de carriles y tamaño del separador que existe en cada punto del tramo vial. Esta medida se tomó a partir del inicio de uno de los carriles hasta finalizar el lado contrario de la vía. |
| Altura del terraplén | mts | Altura del terraplén de la vía Se evaluó solo en los lugares donde había una diferencia de altura de la vía y el terreno de los lados donde se encuentran construidos los pasos de fauna. Esta medida se tomó a partir del suelo del paso a la altura de la vía. |
| VARIABLES DEL PASO Y DEL ENTORNO | | |
| Ancho | mts | Ancho de la pasarela del paso de fauna El diseño de los pasos establecía un ancho de la pasarela de 70cms para todos los pasos. |
| Longitud | mts | Distancia del paso de un lado al otro de la vía Se evaluó de acuerdo a la distancia de la pasarela que existe entre las dos estructuras metálicas a los extremos del paso de fauna. Esta medida se tomó desde la estructura metálica del paso a la estructura del otro lado de la vía, el decámetro debía estar recto para tomar esta |

| | | |
|--|-------------|---|
| | | medida y fue corroborada con información de diseño y construcción. |
| Altura | mts | Altura del paso de fauna silvestre Se evaluó en ambos lados del paso, esta medida cambiaba entre 1 a 2 metros de altura dependiendo del lado del paso y del terreno. Esta medida se adquirió de acuerdo a los planos de los pasos de fauna. |
| Distancia vía – Paso de fauna | mts | Se evaluó en ambos lados del paso. Esta medida se tomó con decámetro partiendo desde el borde de la vía al suelo de la estructura metálica del paso donde se encuentra anclado. |
| Distancia del paso de fauna – Cuerpos de agua | mts | Se evaluó en ambos lados del paso. Esta medida se tomó con decámetro partiendo de la estructura metálica del paso a donde inicia el cuerpo de agua. |
| Distancia del paso de fauna – Bosque | mts | Se evaluó en ambos lados del paso. Esta medida se tomó con decámetro partiendo de la estructura metálica del paso a donde inicia el bosque, en la mayoría de los casos la medida correspondía a 0, el paso se construyó dentro del bosque. |
| Cobertura vegetal | % | Porcentaje de cobertura vegetal alrededor del paso Se evaluó en ambos lados del paso. Esta medida se tomó desde la zapata donde descendía la pasarela para conectarse con el bosque. Para tomar esta medida fue necesario el uso de la aplicación “Canopeo” permite tomar una fotografía desde el suelo a la cobertura dando como resultado la cantidad de vegetación presente en el paso. |
| Tipo de cobertura vegetal | | Se evaluó en ambos lados del paso. Esta medida se tomó a partir de la observación de la cobertura vegetal pudiendo ser: Bosque de galería, bosque de piedemonte, sabana, urbanización, cultivo. |
| DAP | cms | Diámetro a la altura del pecho Se evaluó en ambos lados del paso. Esta medida se tomó con decámetro. Se escogieron 3 árboles con características de madurez y se midió el diámetro a la altura del pecho de cada uno. |
| Altura | mts | Altura de los arboles Se evaluó en ambos lados del paso. Esta medida se tomó de acuerdo a la medida del paso. A los 3 árboles que se les midió el DAP, se aproximó su altura de acuerdo a la relación con el paso de fauna. |
| Ubicación - Elevación | msnm | Se tomo la ubicación geográfica del paso de fauna y la elevación con la aplicación Maps.me |

Análisis de las variables

Para determinar las variables que influyeron en el uso de los pasos de fauna, se incluyeron únicamente los pasos de fauna donde se observó cruces efectivos de vida silvestre y se ejecutaron modelos lineales generalizados tipo Poisson (Zuur et al., 2009). Con la intención de evitar la parametrización excesiva de los modelos, siguiendo como ejemplo el modelo implementado para el análisis del uso de pasos de fauna terrestres en Yungas Argentina por Baechli et al (2020). En la investigación se dividieron las variables en dos grupos, las que correspondieron a la vía y las del paso - el entorno; se conservaron las variables que demostraron un $\Pr(>|z|)$ significativo en R. Este modelo incluyó el número de registros de fauna y el número de días de monitoreo como factor fijo. Las variables que no mostraron relevancia en el modelo aplicado se descartaron. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa R 3.6.2 Windows en función glm (R Core Team, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados fototrampeo en pasos de fauna aéreas

El monitoreo de los 12 pasos de fauna reflejó que, se activaron 354 días entre todas las estaciones de muestreo y se observó actividad faunística 84 días. Solo en 7 pasos de fauna se identificó presencia de fauna silvestre, que corresponde al 58% de uso de las estructuras de cruce. Estos pasos se encontraban ubicados en Paratebueno, Restrepo, tramo vial Villavicencio – Restrepo, Restrepo – Cumaral y Cumaral - Paratebueno.

Se obtuvieron un total de 350 registros de animales pertenecientes a 4 especies diferentes de mamíferos, de orden primate, didelphimorphia y rodentia. Las especies que utilizaron los cruces fueron el mono tití (*Saimiri cassiquiarensis*, 325 cruces del total de registros), seguido de la chucha roja (*Caluromys lanatus*, 20 cruces), rata de bambú (*Dactylomys dactylinus*, 3 cruces), chucha común (*Didelphis marsupialis*, 2 cruces). Su clasificación taxonómica se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Todas las especies identificadas en este trabajo se encuentran en estado de conservación preocupación menor de acuerdo a (IUCN, 2021; Animalia in Ramírez-Chaves et al., 2021).

| Nombre científico | Reino | Filo | Clase | Orden | Familia | Género | Epíteto específico | Nombre común |
|--------------------------------|----------|----------|----------|-----------------|-------------|-------------------|------------------------|-----------------|
| <i>Saimiri cassiquiarensis</i> | Animalia | Chordata | Mammalia | Primate | Cebidae | <i>Saimiri</i> | <i>cassiquiarensis</i> | Mico titi |
| <i>Caluromys lanatus</i> | Animalia | Chordata | Mammalia | Didelphimorphia | Didelphidae | <i>Caluromys</i> | <i>lanatus</i> | Chucha colorada |
| <i>Didelphis marsupialis</i> | Animalia | Chordata | Mammalia | Didelphimorphia | Didelphidae | <i>Didelphis</i> | <i>marsupialis</i> | Chucha colorada |
| <i>Dactylomys dactylinus</i> | Animalia | Chordata | Mammalia | Rodentia | Echimyidae | <i>Dactylomys</i> | <i>dactylinus</i> | Rata de bambú |

Tabla 3 Clasificación taxonómica de especies identificadas en los cruces de fauna silvestre



Figura 11 Registro *Saimiri cassiquiarensis* (Fundación Cunaguaro)



Figura 12 Registro *Saimiri cassiquiarensis* (Fundación Cunaguaro)



Figura 10 Registro *Caluromys lanatus* (Fundación Cunaguaro)



Figura 13 Registro *Caluromys lanatus* (Fundación Cunaguaro)



Figura 15 Registro *Dactylomys dactylinus* (Fundación Cunaguaro)



Figura 14 Registro *Dactylomys dactylinus* (Fundación Cunaguaro)

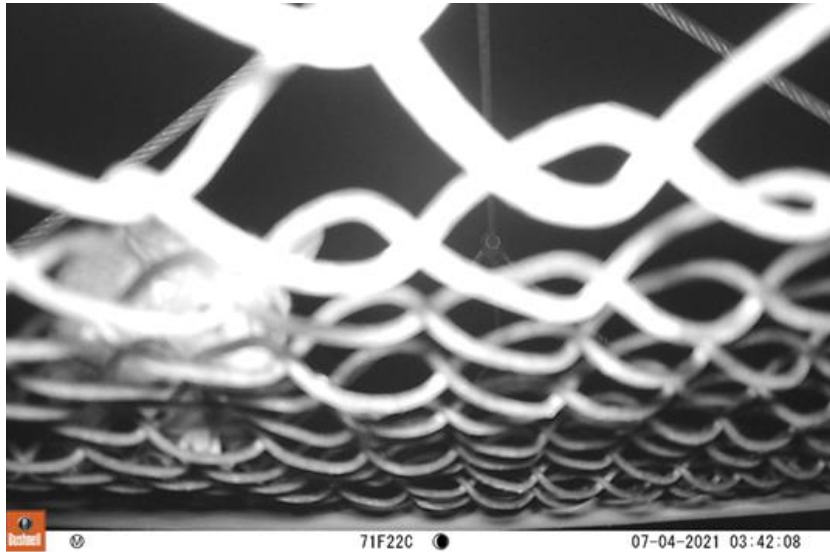


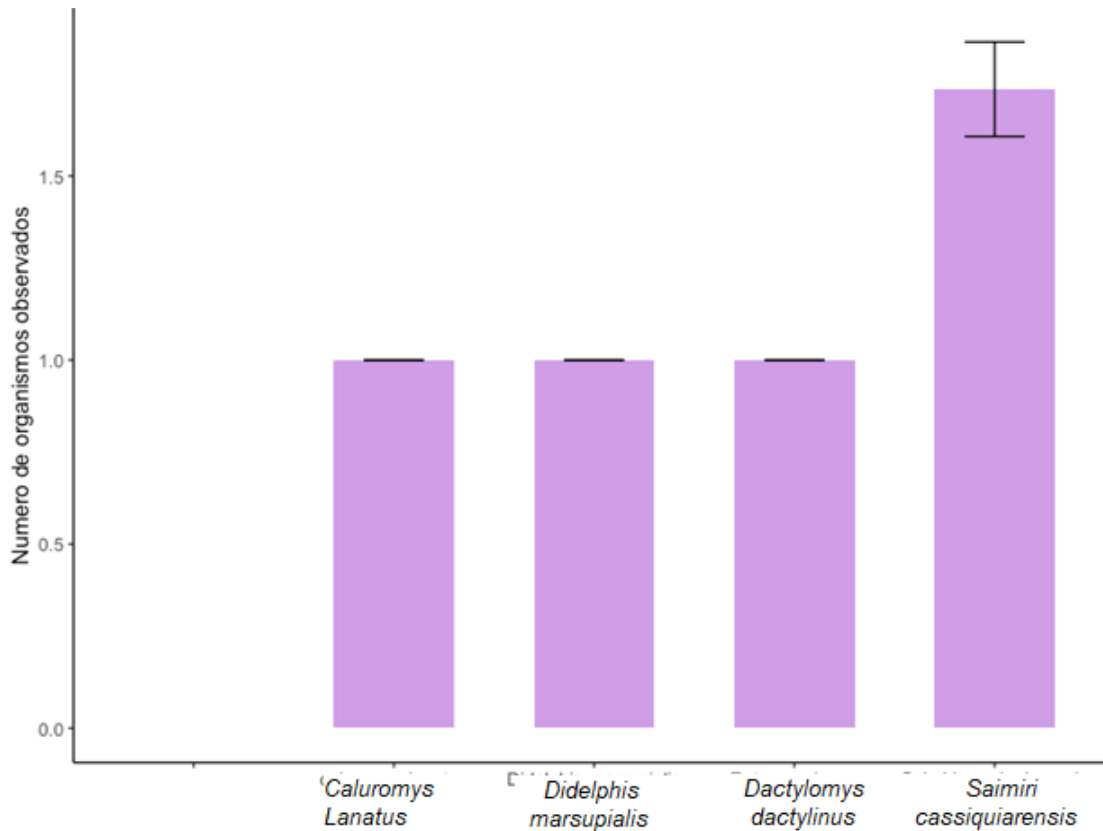
Figura 16 Registro *Didelphis marsupialis* (Fundación Cunaguaro)

Estos datos indican que el fototrampeo es una gran herramienta para el monitoreo de estructuras de cruce silvestre en áreas forestales debido a su economía, facilidad de uso e identificación detallada de las especies, como lo reporta Wang et al (2017). Sin embargo, es importante tener presente los terrenos y condiciones de la locación que puedan dificultar la estandarización del método de monitoreo y estar preparado para cualquier eventualidad. En este estudio se pudo observar que el uso de los pasos de fauna fue de manera inmediata, incluso en el momento de la instalación de cámaras se pudo observar cruces de un grupo de *Saimiri cassiquiarensis*, por otro lado, la literatura también muestra (por ejemplo, Sawata et al., 2013; Van der Grift et al., 2013) que algunas especies de mamíferos usan más estructuras de cruce antiguas a comparación de estructuras construidas o intervenidas recientemente.

Tasa Relativa de Cruce de especies identificadas

La **TRC** indico que la especie con mayor uso de los pasos de fauna fue *Saimiri cassiquiarensis*, 92% del total de cruces con actividad en 3 pasos, las demás especies en comparación a esta no reflejan tasas altas de cruces; *Caluromys lanatus*, 6% con actividad en 3 pasos, *Dactylomys dactylinus*, 1% y *Didelphis marsupialis*, 1% ambas especies con actividad en un paso (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Todas las observaciones de los primates se dieron en horas del día con picos de actividad entre las 7:00 am a 11:00am y 3:00 pm a 6:00pm, por el contrario, las especies *Caluromys*, *Dactylomys* y *Didelphis* fueron observadas en horas de la madrugada, ambas actividades corresponden a características etológicas de las especies. Denneboom et al., (2021) menciona que, el uso de los pasos de fauna aumenta entre más se parezca a su entorno natural, por eso es necesario realizar la construcción las estructuras teniendo en cuenta el material y las características. En nuestro estudio se evidencio que a pesar que la estructura fuera de material metálico y la pasarela en malla eslabonada, el hecho de conectar el paso con el bosque permitió el uso. Además, puede atribuirse a la capacidad de adaptación que cada especie ha desarrollado con la transformación antropogénica de su ecosistema.

Figura 17 Especies identificadas en los pasos de fauna silvestre (Elaboración propia)



Análisis estadístico de variables con el uso de los pasos de fauna

El modelo lineal generalizado tipo Poisson reflejó que, al evaluar la elevación, localidad y días de monitoreo sobre el número de cruces de fauna silvestre (Tabla 4), se pudo evidenciar que la elevación tiene un efecto altamente significativo ($n=350$) (z value: -4.247) ($\text{Pr}(> |z|) 2.17e-05$). A mayor elevación aumento la cantidad de observación de cruces de fauna silvestre (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La localidad en general tuvo efecto significativo, en particular la localidad de Restrepo ($n=350$) (z value: 3.766) ($\text{Pr}(> |z|) 0.000166$) donde hubo más observaciones de fauna. Estos modelos muestran las variables con resultado significativo a las que poseen resultado ($\text{Pr}(> |z|) = < 0.05$). Los hallazgos están asociados a la cobertura vegetal presente en el tramo vial, entre más cercanía

a la cordillera Oriental se encontrará abundancia de bosques y a medida que se aleja disminuye su presencia y se observa altillanura, así mismo la abundancia y población de especies cambiará. Como menciona Denneboom (2021) el monitoreo debe realizarse teniendo en cuenta la especie en estudio para comprender el comportamiento en relación al paso de fauna, cada especie preferirá un tipo de paso dependiendo de las características del mismo y el entorno.

| Coefficients | Stimate | Std. Error | Z value | Pr(> z) |
|--|----------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Intercept | 2.605452 | 1.371046 | 1.900 | 0.057389 |
| Elevación | -0.007029 | 0.001655 | -4.247 | 2.17e-05 *** |
| LocalidadParatebueno | -0.330793 | 0.492601 | -0.672 | 0.501886 |
| LocalidadRestrepo | 2.052775 | 0.545085 | 3.766 | 0.000166 *** |
| LocalidadRestrepo-Cumaral | 1.136745 | 0.692949 | 1.640 | 0.100912 |
| LocalidadVillavicencio-Restrepo | 0.586456 | 0.991527 | 0.591 | 0.554208 |
| Días monitoreo del paso | -0.009007 | 0.024682 | -0.365 | 0.715161 |

Tabla 4 Parámetros estimados del modelo lineal generalizado tipo Poisson. (Elevación, localidad, días de monitoreo de los pasos)

Figura 19 Número de cruces de fauna en relación a elevación. Se observa que a mayor elevación aumenta el número de observaciones de fauna silvestre.

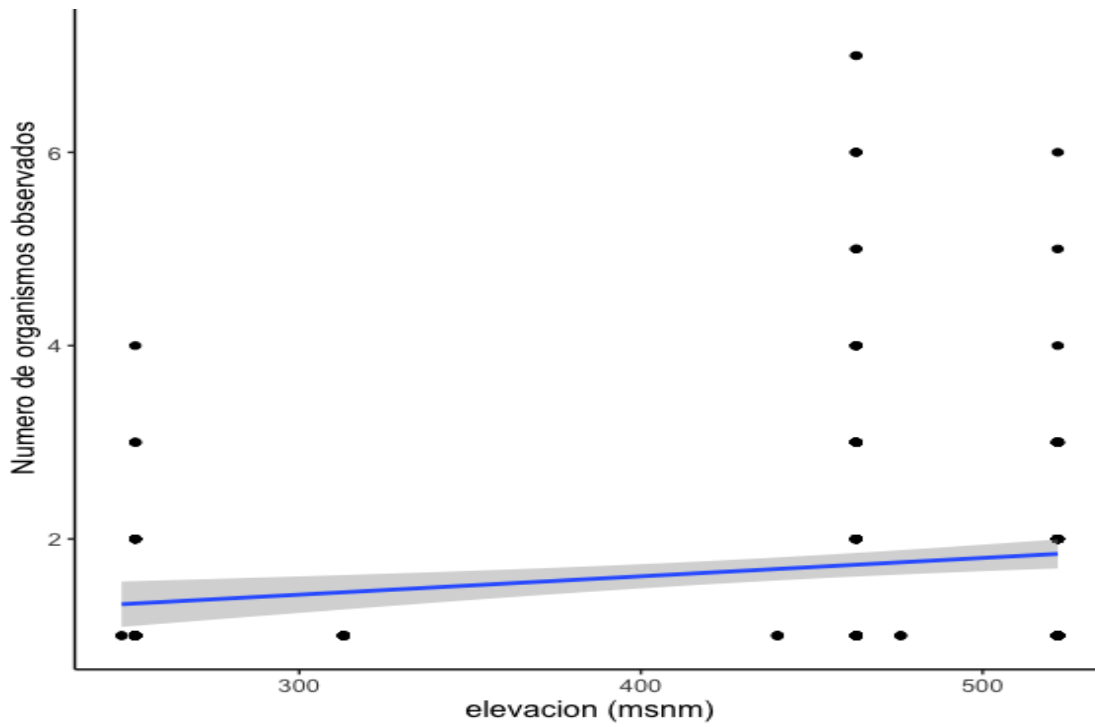
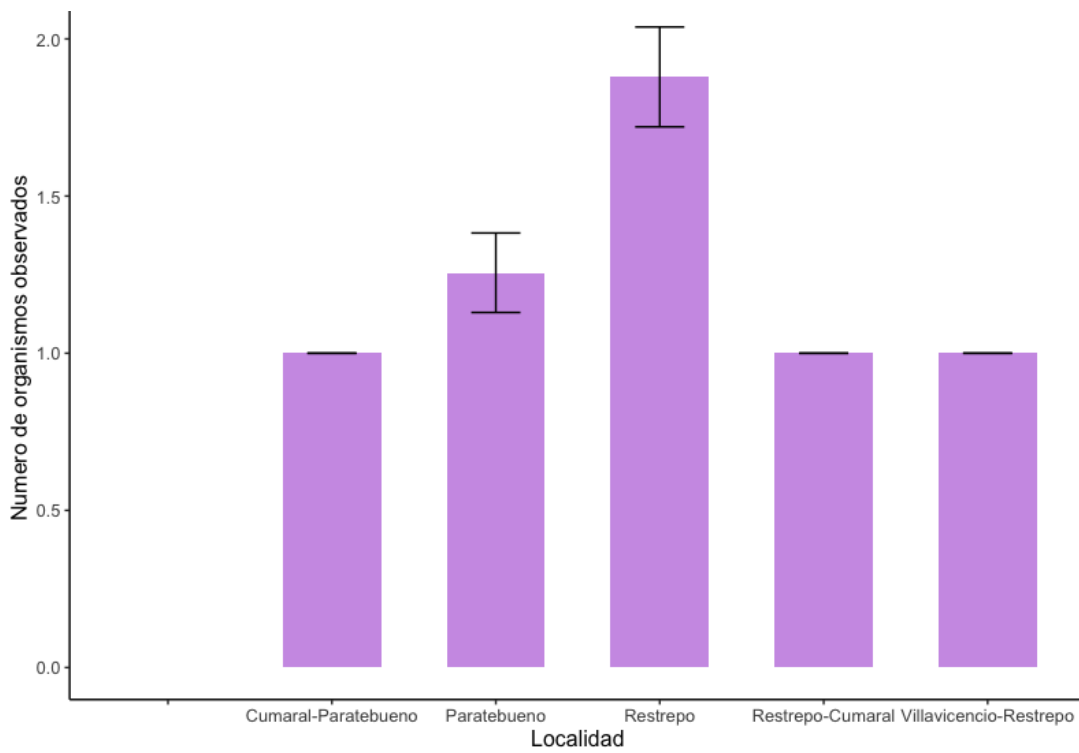


Figura 18 Número de cruces de fauna silvestre en relación a las locaciones de los pasos de fauna



En el segundo modelo, se evaluaron las distancias entre el paso, la vía, el cuerpo de agua y el bosque (Tabla 5). Mostro que las distancias que tuvieron un efecto significativo fueron la distancia de la vía al paso (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (z value: 3.275) (Pr ($>|z|$ 0.00106 **)) y la distancia entre el paso al cuerpo de agua (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (n=350) (z value: -2.676) (Pr ($>|z|$ 0.00746 **)). A mayor distancia entre la vía y el paso de fauna y a menor distancia entre el paso y el cuerpo de agua aumentaron los cruces de fauna silvestre. Las especies de vida silvestre están predispuestas a moverse a través de un paisaje específico, por lo que las preferencias específicas para las estructuras cambian de acuerdo a la especie Wang et al., (2017). La existencia de cuerpos de agua esta asociado a la abundancia de bosque de galería a su alrededor generando un entorno atractivo para la mayoría de especies, entre ellas mamíferos observados en este monitoreo. La distancia del paso al bosque no es relevante, porque la mayoría de estructuras se encontraban dentro del bosque de galería o bosque de piedemonte.

| Coefficients | Stimate | Std. Error | Z value | Pr(> z) |
|--------------------------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Intercept | -1.05574 | 0.58928 | -1.792 | 0.07320 |
| Distancia vía-paso | 0.27847 | 0.08502 | 3.275 | 0.00106 ** |
| Distancia cuerpo de agua-paso | -0.12293 | 0.04594 | -2.676 | 0.00746 ** |
| Distancia bosque- paso | 0.06706 | 0.18204 | 0.368 | 0.71258 |

**Tabla 5 Parámetros estimados del modelo lineal generalizado tipo Poisson.
(Distancia vía - paso, distancia cuerpo de agua - paso y distancia bosque - paso de fauna)**

Figura 21 Número de cruces observados en relación a la distancia de la vía al paso. A mayor distancia entre el paso y la vía aumentan las observaciones de cruces de fauna silvestre

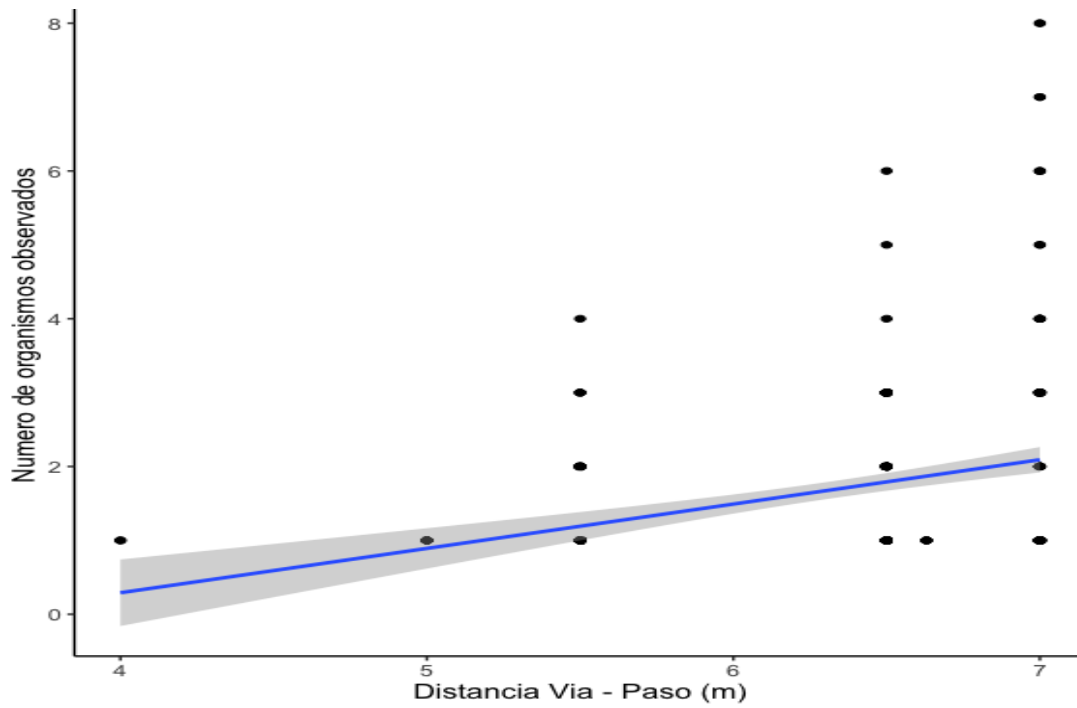
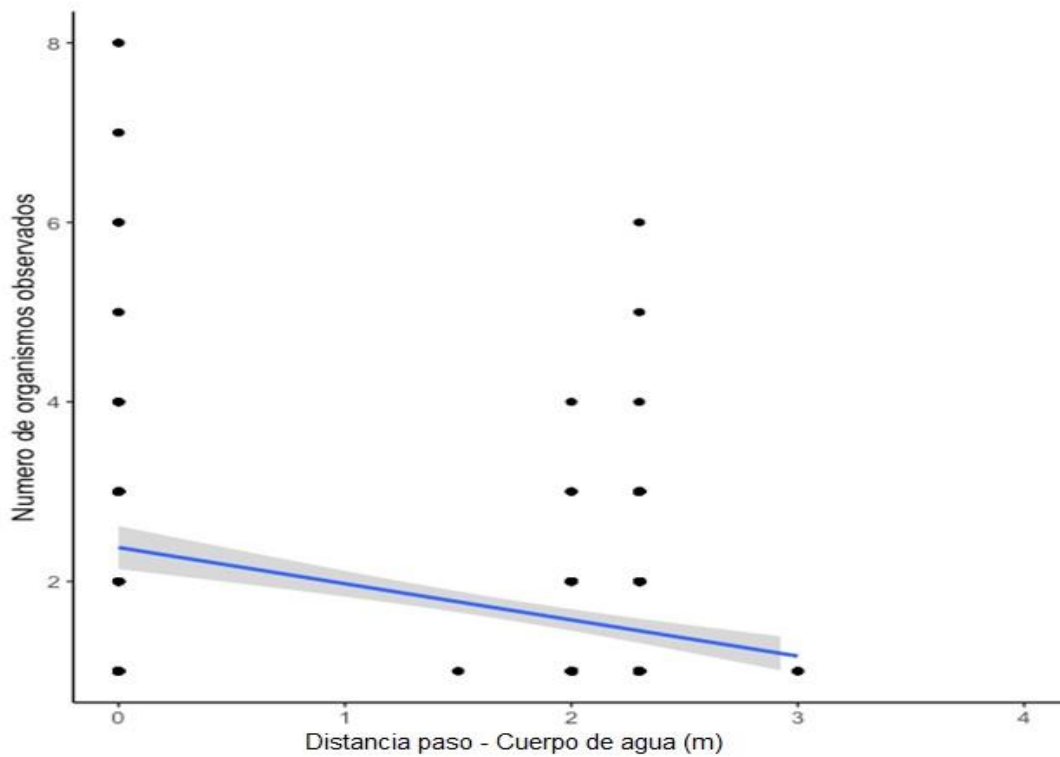


Figura 20 Número de cruces observados en relación a la distancia del paso a cuerpo de agua.



En el último modelo realizado, se evaluaron las coberturas y las características de cada lado donde no hubo ninguna variable significativa para el número de cruces de fauna silvestre (Tabla 6). Denneboom et al., (2021) atribuyen el uso de las estructuras a la cantidad de cobertura vegetal dependiendo de la especie, algunas por comportamiento prefieren poca cobertura para observar si corren peligro, otras especies se sienten seguras entre más cobertura vegetal exista. En este estudio se pudo observar que la cobertura no tiene relevancia con la frecuencia de uso del paso, puede estar asociado a la similitud de características del entorno donde se ubicaron las estructuras de cruce silvestre.

| Coefficients | Stimate | Std. Error | Z value | Pr(> z) |
|-------------------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|
| Intercept | -0.773230 | 4.971541 | -0.156 | 0.876 |
| Cobertura vegetal izq. | -0.018991 | 0.021698 | -0.875 | 0.381 |
| Cobertura vegetal der. | 0.017753 | 0.041352 | -0.429 | 0.668 |
| DAP der. | 0.004136 | 0.020886 | 0.198 | 0.843 |
| DAP izq. | 0.002119 | 0.028910 | 0.073 | 0.942 |
| Altura arboles izq. | 0.039426 | 0.133455 | 0.295 | 0.768 |
| Altura arboles Der. | 0.009207 | 0.194788 | 0.047 | 0.962 |

Tabla 6 Parámetros estimados del modelo lineal generalizado tipo Poisson. (Cobertura vegetal izq-der, DAP izq-der, altura izq-der)

La mitad de los pasos monitoreados están siendo usados por mamíferos arborícolas presentes en la zona, esto permitió evaluar las especies y la frecuencia de uso. Adicional, se evaluaron las variables que influyeron en el uso.

Se encontraron con mayor presencia hacia la zona del Meta donde la elevación es mayor y abunda corredores de bosques de galería y piedemonte, principalmente en la locación de Restrepo. Estos pasos se encuentran ubicados en zonas estratégicas que conectan bosques

fragmentados por la carretera. Se evidencio que entre mas distancia exista entre la vía y el inicio del paso de fauna aumentaron los cruces de fauna silvestre y la cercanía a los cuerpos de agua aumenta la presencia de animales permitiéndoles encontrar la estructura de cruce. Sin embargo de acuerdo a la literatura para evaluar la efectividad de los pasos de fauna silvestre es necesario realizar un monitoreo mas amplio, evaluando que animales se acercan de forma curiosa a la estructura pero no cruzan y relacionarlo con los cruces efectivos, adicional también menciona el análisis de variabilidad genética (Van der Ree, 2011) tiempo después de haber construido los pasos de fauna, para identificar si ha mejora la variabilidad de los genes por especie gracias a esta alternativa de mitigación y sin olvidar las variables que involucran en entorno, las características del paso y de la vía que puedan influir en el uso dependiendo de la especie. (Wang et al., 2011; Denneboom, 2021).

CONCLUSIONES

La construcción de las estructuras de cruce es una alternativa de mitigación realizada por primera vez en el departamento del Casanare. Al obtener resultados y análisis del monitoreo de cruces de fauna silvestre es un gran avance para la ecología de carreteras en el país. Demuestra que estas opciones son viables de desarrollar y generan conectividad del ecosistema fragmentado. Esta investigación es solo el inicio de una carretera consciente que permita tener pasos de fauna construidos para todas las especies de mamíferos arborícolas y terrestres de la región.

Es importante tener presente que las especies halladas en este monitoreo fueron identificadas previamente en investigaciones de atropellamiento en el corredor vial a excepción del *Dactylomys dactylinus* quien es identificado por primera vez en este proyecto. Se puede concluir que el uso de estas estructuras no solo es por parte de las especies analizadas previamente, sino por todas las especies que tengan la posibilidad de cruzar. Las tasas relativas de cruce de las especies identificadas están asociadas a la densidad de población por tal motivo es importante seguir indagando e investigando acerca de los grupos de fauna o individuos que viven alrededor del corredor vial.

Y por último es esencial evaluar las variables que pueden representar importancia en la construcción de los pasos, con esta investigación se demostró que un lugar ideal para la ubicación de pasos aéreos son zonas boscosas cerca a cuerpos de agua. Sin embargo, es esencial realizar monitoreos mas extensos y con protocolos de instalación de cámaras dependiendo del área donde se vaya a trabajar, para obtener buenas observaciones de cruce de fauna silvestre. Las eventualidades que se presentaron en esta investigación permitirán

prevenir problemas al momento del monitoreo en próximas investigaciones y permitir mas resultados de cruces y actividad de la fauna.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Animalia in Ramírez-Chaves H E, Suárez Castro A F, Morales-Martínez D M, Rodríguez-Posada M E, Zurc D, Concha Osbahr D C, Trujillo A, Noguera Urbano E A, Pantoja Peña G E, González Maya J F, Pérez Torres J, Mantilla Meluk H, López Castañeda C, Velásquez Valencia A, Zárrate Charry D (2021). Mamíferos de Colombia. Version 1.12. Sociedad Colombiana de Mastozoología. Checklist dataset <https://doi.org/10.15472/k11whs> accessed via GBIF.org
- April Robin Martinig* and Katrina Belanger-Smith (2016) Factors influencing the discovery and use of wildlife passages for small fauna. *Journal of Applied Ecology* 2016, 53, 825–836
- Arroyave-Maya, M, Gómez, C, Gutiérrez-Lagoueyte, M, Múnera-Franco, D, Zapata-Jaramillo, P, Vergara, I, Andrade, L, Ramos, K y. (2014). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. Civil, Ambiental, Geológica e Industrial.
- Agencia Nacional de infraestructuras (ANI) (2016). Pasos de fauna, infraestructura pensada para el bienestar de todos. <https://www.ani.gov.co/pasos-de-fauna-infraestructura-pensada-para-el-bienestar-de-todos-0>
- Ausdal S. (2009). Potreros, ganancias y poder. Una historia ambiental de la ganadería en Colombia, 1850-1950. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá Colombia
- Baechli J, Albanesi S, Bellis LM, (2020). Effectiveness of crossings as wildlife passages for mammals in the Yungas of Argentina, *Journal for Nature Conservation*

- Briceño Vanegas, G. A. (2015). Evolución de la integridad estructural de ecosistemas lóticos del piedemonte llanero frente a la intervención antrópica. *Acta Biológica Colombiana*, 20(2). <https://doi.org/10.15446/abc.v20n2.42307>
- Cámara de senado de la república de Colombia. Proyecto de ley N.º 132 (2020) Por medio de la cual se establecen los pasos de fauna como alternativa de mitigación en vías nacionales. [http://www.andi.com.co/Uploads/PL-2021-N039S_TO_\(PASOS_DE_FAUNA\)_20210725%20\(1\).pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/PL-2021-N039S_TO_(PASOS_DE_FAUNA)_20210725%20(1).pdf)
- Clevenger, A.P., and N. Waltho (2000). Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff.
- De La Ossa-Nadjar, O, De La Ossa VJ. (2013). Fauna Silvestre Atropellada en dos Vías Principales que Rodean los Montes María, Sucre, Colombia. *Rev. Colombiana Ciencia Animal*.
- Denneboom, D., Bar-Massada, A., & Shwartz, A. (2021). Factors affecting usage of crossing structures by wildlife—a systematic review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 146061.
- Freitas SR, Hawbaker TJ, Metzger JP. 2010. Effects of roads, topography, and land use on forest cover dynamics in the Brazilian Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*, 259(3): 410-417
- Gallina, S. (2015). Las cámaras trampa, una herramienta para conocer la biodiversidad. INECOL. Recuperado de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/236-las-camaras-trampa-una-herramienta-para-conocer-la-biodiversidad>

- Humedales de la Orinoquía (Colombia-Venezuela) (2014); Serie Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia, XI -Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2020). El gran libro de la Orinoquía. Bogotá Colombia. ISBN DIGITAL: 978-958-8889-24-5
- IUCN 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2021-3
- Lasso, C. A., A. Rial, G. Colonnello, A. Machado-Allison y F. Trujillo (2014). XI. Humedales de la Orinoquia (Colombia- Venezuela). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia. 303 pp.
- Marcelo Canevari y Olga Vaccaro, GUÍA DE MAMÍFEROS DE AMÉRICA DEL SUR. (2007). Editorial L.O.L.A, Buenos Aires, 413 pp.
- Martínez AP, Rangel-ch JO. (2014). Mammals of the Orinoquian region of Colombia. In Colombia Diversidad Biotica XIV p. 751–784
- Mejía S.L. AldanaDomínguez J. y Payán E. (2009). Informe sobre el estado de la biodiversidad en Colombia 2007- 2008: piedemonte orinoquense, sabanas y bosques asociados al norte del río Guaviare. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá D.C., Colombia. 151 p.
- N., Madrinan, F. y Olson, L. (2013). Evaluating the effectiveness of road mitigation measures Biodiversity and Conservation, 22,425–448

- O'Connell, A. F., J. D. Nichols y K. U. Karanth. (2011). Camera traps in animal ecology: Methods and analyses. Springer, London, 271 pp.
- OTZEN, T. & MANTEROLA C (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *Int. J. Morphol.*, 35(1):227-232.
- Pacheco Figueroa, C. J., Luna Ruíz, R. D. C., Marcelo Guadarrama, E., Valdez Leal, J. D. D., Saenz Méndez, J., Mata Zayas, E. E., Gama Campillo, L. M., Rangel Ruíz, L. J., Cruz Hernández, Y. S., & Zapata Ruíz, F. S. (2014). Un asesino a sueldo: El impacto de las carreteras en la fauna silvestre. *Kuxulkab'*, 20(38).
- Pinto, F. A.S. y Bager, A. y Clevenger, A.P. y C Grilo (2018). Giant anteater (*Myrmecophaga Tridactyla*) conservation in Brazil: Analyzing the relative effects of fragmentation and mortality due to roads. *Biological Conservation* 228:148-157
- Podestá-Castro P (2016). Transformación productiva de las sabanas de la altillanura colombiana [tesis pregrado]. Buenos Aires: Universidad Católica Argentina.
- Precipitaciones de las regiones de Colombia (2017) IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Romero M.H., Maldonado-Ocampo J.A., BogotáGregory J.D., Usma J.S., Umaña-Villaveces A.M., Murillo J.I., Restrepo-Calle S., Álvarez M., PalaciosLozano M.T., Valbuena M.S.,

- Sawata, AP, Clevenger, AP y Kalinowski, ST (2013). Demographic Connectivity for Ursid Populations at Wildlife Crossing Structures in Banff National Park. *Conservation Biology*, 27, 721-730
- Sijtsma J, Van der Veen E, Van Hinsberg A, Pouwels R, Bekker R, Van Dijk E, Grutters M, Klaassen M, Krijn M, Mouissie M, Wymenga E (2020). Ecological impact and cost-effectiveness of wildlife crossings in a highly fragmented landscape: a multi-method approach. Faculty of Spatial Sciences, University of Groningen, Groningen, The Netherlands
<https://doi.org/10.1007/s10980-020-01047-z>
- Thompson Perdomo R. (2014) Guía para la implementación de las adecuadas prácticas empresariales en Gestión Ambiental relacionada con las obras de infraestructura vial en Colombia sistema sostenible para obras viales. Revista Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Universidad nacional de Colombia, Sede Medellin (Semillero de ecología de carreteras) Proyecto vías para todos (2019).
- Van Ausdal S. (2009). Pasture, profit, and power: An environmental history of cattle ranching in Colombia, 1850–1950. *Revista de la Universidad de los Andes. Geoforum*.
- Van der Grift, E: A., Van der Ree, R., Fahrig, L., Findlay, S., Houlihan, J., Jaeger, JAG, Klar,
- Van der Ree R, Smith DJ, Grilo C (2015): *Handbook of Road Ecology*. John Wiley & Sons, Oxford

- Van der Ree, R., J. A. G. Jaeger, E. A. Van der Grift, and A. P. Clevenger. (2011). Effects of roads and traffic on wildlife populations and landscape function: road ecology is moving towards larger scales. *Ecology and Society* 16(1): 48.
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, and J. M. Melillo (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277:494-499
- Wang, Y., Guan, L., Piao, Z., Wang, Z., & Kong, Y. (2017). Monitoring wildlife crossing structures along highways in Changbai Mountain, China. *Transportation Research Part D-transport and Environment*, 50, 119-128.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N.J., Saveliev, A. A., & Smith, G.M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer, New York.