

Optimización de obras hidráulicas como pasos de fauna en el municipio de Envigado

Luisa Fernanda Luo Rodríguez, ✉ luisa.luo@tau.usbmed.edu.co

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor: Hernán Alejandro Acosta Ramírez, Magíster (MSc) en Ingeniería Urbana



Universidad de San Buenaventura

Facultad de Ingenierías (Medellín)

Ingeniería Ambiental

Medellín, Colombia

2020

Citar/How to cite [1]

Referencia/Reference [1] L. F., Luo Rodríguez, “Influencia de las dinámicas socioambientales en la tasa de atropellamiento de fauna para la optimización de pasos de fauna en la vía variante de palmas en el municipio de Envigado.”, Trabajo de grado Ingeniería Ambiental, Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingenierías, Medellín, 2020.

Estilo/Style:
IEEE (2014)



Bibliotecas Universidad de San Buenaventura



Biblioteca Digital (Repositorio)
<http://bibliotecadigital.usb.edu.co>

- Biblioteca Fray Alberto Montealegre OFM - Bogotá.
- Biblioteca Fray Arturo Calle Restrepo OFM - Medellín, Bello, Armenia, Ibagué.
- Departamento de Biblioteca - Cali.
- Biblioteca Central Fray Antonio de Marchena – Cartagena.

Universidad de San Buenaventura Colombia

Universidad de San Buenaventura Colombia - <http://www.usb.edu.co/>

Bogotá - <http://www.usbbog.edu.co>

Medellín - <http://www.usbmed.edu.co>

Cali - <http://www.usbcali.edu.co>

Cartagena - <http://www.usbctg.edu.co>

Editorial Bonaventuriana - <http://www.editorialbonaventuriana.usb.edu.co/>

Revistas - <http://revistas.usb.edu.co>

Dedicatoria

A mis padres y mi abuela, por y para ustedes.

Agradecimientos

Agradezco a mis profesores y mi asesor por los conocimientos brindados y la paciencia que tuvieron al momento de enseñarme, haciendo que este trabajo fuera posible.

A la Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario del municipio de Envigado por compartirme su información.

CONTENIDO

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN	11
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
A. Antecedentes	14
III. JUSTIFICACIÓN.....	17
IV. OBJETIVOS	19
A. Objetivo general	19
B. Objetivos específicos.....	19
V. HIPÓTESIS	20
VI. MARCO LEGAL.....	21
VII. MARCO TEÓRICO	25
A. Clasificación de las carreteras en Colombia	25
B. Impacto de las carreteras en las áreas protegidas	27
C. Estrategias que permiten la identificación de dinámicas socioambientales que pueden influir en el atropellamiento	28
D. Planes de mitigación para el atropellamiento de las especies	29
E. Estrategias de mitigación	30
1) Pasos de fauna	30
2) Sistemas de cercado.....	31
3) Señalización.....	32
4) Reflectores	32
5) Repelentes olfatorios	32
F. Medidas de mitigación implementadas en el Municipio de Envigado.....	32
VIII. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36

IX. METODOLOGÍA	38
A. Atropellamiento de fauna	38
B. Tasa de atropellamiento	38
C. Dinámicas socioambientales que pueden influir en el atropellamiento	39
1) Distribución espacial de la fauna silvestre	39
2) Organización del territorio rural del municipio	40
3) Diagnóstico de la cobertura vegetal en el área rural del municipio a partir de la teledetección	40
4) Pasos de fauna como medidas de mitigación	42
X. RESULTADOS	43
A. Atropellamiento de fauna en el área rural del municipio de Envigado	43
B. Distribución espacial de los mamíferos	50
C. Influencias socioambientales	56
1) Planificación territorial	56
2) Teledetección	57
a) Índice normalizado diferencial de la vegetación	61
3) Medidas de mitigación	67
4) corredores biológicos en zona rural del municipio	72
5) Análisis de resultados	73
XI. DISCUSIÓN	81
XII. CONCLUSIONES	85
XIII. RECOMENDACIONES	87
REFERENCIAS	89
ANEXOS	96

LISTA DE TABLAS

TABLA I. SISTEMA DE ÁREAS PROTEGIDAS COMPLETO DEL REGISTRO ÚNICO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS (RUNAP) A CORTE 25 DE ABRIL DE 2020.....	22
TABLA II. CLASIFICACIÓN DE LOS PASOS DE FAUNA.....	31
TABLA III. COORDENADAS Y LONGITUD DE LAS TRES PRINCIPALES VÍAS DONDE SE REALIZARON LOS MUESTREOS DE ATROPELLAMIENTO.....	44
TABLA IV. REGISTRO DE MAMÍFEROS SILVESTRES ARROLLADOS EN TRES PRINCIPALES VÍAS RURALES QUE FRAGMENTAN EL ÁREA PROTEGIDA DE ENVIGADO ENTRE MARZO Y JULIO DE 2018.....	46
TABLA V. REGISTRO DE AVES ARROLLADAS EN DOS PRINCIPALES VÍAS RURALES QUE FRAGMENTAN EL ÁREA PROTEGIDA DE ENVIGADO ENTRE MARZO Y JULIO DE 2018.....	47
TABLA VI. REGISTRO DE REPTILES ARROLLADOS EN DOS PRINCIPALES VÍAS RURALES QUE FRAGMENTAN EL ÁREA PROTEGIDA DE ENVIGADO, ENTRE MARZO Y JULIO DE 2018.....	48
TABLA VII. CÁLCULO DE LA TASA DE ATROPELLAMIENTO POR VÍA.....	49

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Esquema representativo de las medidas correctoras y compensatorias.	30
Fig. 2. olinguito (<i>Bassaricyon neblina</i>) captado por las cámaras trampa haciendo uso de dos de los tres tipos de pasos arborícolas.	33
Fig. 3. Valla de precaución de paso del tigrillo lanudo (<i>Leopardus tigrinus</i>) resultante de la campaña contra atropellamiento de fauna.	34
Fig. 4. Núcleos de conservación del Sistema de Áreas Protegidas Locales de Envigado.	37
Fig. 5. Principales vías que fragmenta al Sistema Local de Áreas Protegidas.	43
Fig. 6. Ubicación de los registros de atropellamiento por clases taxonómicas.	45
Fig. 7. Distribución por grupos taxonómicos de los registros de atropellamiento de fauna en tres principales vías entre marzo y julio del 2018.	49
Fig. 8. Mapa de localización de especies faunísticas en el Municipio de Envigado.	50
Fig. 9. Distribución espacial del Tigrillo Lanudo (<i>Leopardus tigrinus</i>) a escala local en el municipio de Envigado.	51
Fig. 10. Distribución espacial del zorro perro (<i>Cercocyon thous</i>) a escala local en el municipio de Envigado.	52
Fig. 11. Distribución espacial del cusumbo andino (<i>Nasuella olivacea</i>) a escala local en el municipio de Envigado.	52
Fig. 12. Distribución espacial de la Tayra (<i>Eira barbara</i>) a escala local en el municipio de Envigado.	53
Fig. 13. Distribución espacial de la Guagua de montaña (<i>Cuniculus taczanowskii</i>) a escala local en el municipio de Envigado.	53
Fig. 14. Distribución espacial del Cusumbo solino (<i>Nasua nasua</i>) a escala local en el municipio de Envigado.	54
Fig. 15. Distribución espacial del Armadillo cola de trapo (<i>Cabassous centralis</i>) a escala local en el municipio de Envigado.	54
Fig. 16. Distribución espacial del puma (<i>puma concolor</i>) a escala local en el municipio de Envigado.	55
Fig. 17. Usos del suelo del municipio de Envigado con la capa de núcleos de conservación.	56
Fig. 18. Infrarrojo en el municipio de Envigado y núcleos de conservación.	59

Fig. 19. Análisis de vegetación en el municipio de Envigado y núcleos de conservación.	60
Fig. 20. Índice de vegetación de diferencia normalizada en el municipio de Envigado para el año 2013.....	62
Fig. 21. Índice de vegetación de diferencia normalizada en el municipio de Envigado para el año 2016.....	63
Fig. 22. Índice de vegetación de diferencia normalizada en el municipio de Envigado para el año 2020.....	64
Fig. 23. Hectáreas de cobertura vegetal en categoría pobre en los tres años analizados.	65
Fig. 24. Tasa promedio anual de degradación en hectáreas.	66
Fig. 25. Ubicación de las obras hidráulicas viables en la vía variante de palmas.....	68
Fig. 26. Ubicación de las obras hidráulicas con los registros de atropellamiento del año 2018. ...	69
Fig. 27. Obra hidráulica tipo drenaje ubicada en la vía variante de palmas.....	70
Fig. 28. Obra hidráulica tipo “box culvert” ubicada en la variante de palmas.....	70
Fig. 29. Sistema de cercado actual en la vía variante de palmas.....	71
Fig. 30. Ubicación de los corredores biológicos en el municipio de Envigado que conectan las áreas de conservación.....	72
Fig. 31. Tipos de secciones transversales de drenajes que permite el paso de animales de forma seca. (A) Plataforma convencional que puede ser construida de diversas alturas. (B) Se construye esta plataforma donde se tengan variaciones del nivel del agua. (C) Se construyen de manera elevada, permitiendo el paso del agua por toda la zona inferior de la estructura.....	75
Fig. 32. Boceto de implementación de plataforma convencional que permite la realización de un cruce de manera seca para la fauna.	76
Fig. 33. Escala adyacente a una de las obras hidráulicas construidas en cemento.....	77
Fig. 34. Mallas de alambre implementadas en Europa para evitar el cruce de animales a través de las carreteras.	78
Fig. 35. bosquejo de la implementación de la malla eslabonada en los extremos de la vía variante de palmas.....	79
Fig. 36. Ampliación de los corredores biológicos que se encuentran adyacentes a la vía variante de palmas.....	80

RESUMEN

El presente trabajo recopila información sobre el atropellamiento de fauna silvestre en el área protegida del municipio de Envidado, la cual está conformada por cuatro áreas núcleo, donde estas zonas de conservación se encuentran fragmentados por tres vías principales: Las palmas, variante de palmas y el escobero, haciendo un énfasis en estas vías como fuente generadora de impactos negativos sobre la fauna silvestre, al registrarse un total de 43 atropellamientos en 47 recorridos llevados a cabo en el año 2018. La vía donde más se evidenció acontecimientos de colisión entre vehículos y fauna silvestre, fue la variante de palmas con una tasa de atropellamiento de 0.051 ind/(km*día), además, los mamíferos fueron los que más casos registraron, con un 55,81% del total de accidentes para las tres clases taxonómicas reflejadas. Posteriormente, se analiza la posible relación que surge entre las diferentes dinámicas socioambientales que se desarrollan en el área de estudio y el índice de atropellamiento, estableciendo falencias en el Plan de Ordenamiento Territorial que posiblemente influyen en el número de especies atropelladas y una disminución en la calidad de la vegetación del área protegida. A partir de lo observado, se determina que es de gran importancia llevar a cabo medidas que puedan minimizar los impactos negativos de las carreteras sobre la fauna silvestre, en este caso, la optimización de obras hidráulicas como pasos de fauna en la vía que mayor tasa de atropellamiento presentó.

Palabras clave: área protegida, mitigación, teledetección, corredores biológicos, expansión urbana, fauna silvestre.

ABSTRACT

The present work compiles information on the running over of wild fauna in the protected area of the Envigado municipality, which is made up of four core areas, where these conservation areas are fragmented by three main routes: “las palmas” “variante de palmas” and the “escobero”, emphasizing these routes as a source of negative impacts on wildlife, registering a total of 43 run-ins in 47 routes carried out in 2018. The road where the collision between vehicles and wildlife, was most evident, it was the “variante de palmas” with a run-over rate of 0.051 ind / (km * day), in addition, mammals were the ones that registered the most cases, with 55.81% of the total accidents for the three reflected taxonomic classes. Subsequently, the possible relationship that arises between the different socio-environmental dynamics that are in the study area and the run-over rate is analyzed, establishing flaws in the Land Management Plan that possibly influences the number of species run over and a decrease in the quality of the vegetation of the protected area. From what has been observed, it is determined what is of great importance to carry out a series of measures that can reduce the damage of the roads to wildlife, in this case, the optimization of hydraulic works such as wildlife passages in the route with the highest run-over rate presented.

Keywords: wildlife, protected area, mitigation, remote sensing, biological corridors, urban expansion.

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, se ha podido observar la transformación que ha estado alterando el medio ambiente en Colombia, siendo la expansión urbanística una de las principales causantes de dicha transformación, puesto que la población presenta un crecimiento, y por ende, se requiere más demanda de bienes y servicios, donde se puede evidenciar en el aumento de viviendas y rutas de desplazamiento[1], entre las cuales se encuentran las vías o carreteras, que facilitan la movilidad de la población de un lugar a otro, pero a pesar de ser vitales para el desarrollo de un determinado lugar, presenta un impacto negativo en la dinámica natural de los ecosistemas, debido a que se pierde conectividad, disminuyendo o incluso interrumpiendo la capacidad de desplazamiento de las especies, y por consecuente, se vuelve una tarea más difícil adquirir alimento [2].

Recientemente, se ha demostrado que es de vital importancia que las ciudades conservan su biodiversidad y que dentro de su territorio posea ecosistemas naturales debido a que estos preservan especies de fauna y flora original, incluidas especies en estado de amenaza, además de prestar bienes y servicios ecosistémicos a los habitantes de la ciudad [3]. Pero la preservación de estos ecosistemas presenta una serie de dificultades que limitan su correcto funcionamiento, puesto que enfrentan modificaciones de infraestructura que limitan la permanencia de la biodiversidad, siendo estas áreas verdes cada vez más intervenidas y poco estudiadas respecto a los impactos ocasionados en el componente faunístico [4].

Uno de los impactos más relevantes es la fragmentación por vías o carreteras, que en muchas ocasiones es con el fin de mejorar el desplazamiento humano, que puede llevar incluso a la mortalidad de las especies aledañas, no solo en el momento de su construcción sino también a lo largo de su funcionamiento, debido a que modifican el comportamiento de la especie, también crean metapoblaciones y alteran su entorno físico, debido al material particulado que generan y el ruido que puede afectar el desarrollo reproductivo [5] pero, el efecto que se puede visualizar más fácilmente es el atropellamiento, debido al registro de cadáveres de animales que se evidencian, convirtiéndose así, es un amenaza para estos [6].

Las carreteras pueden llegar a afectar de manera directa o indirecta los organismos vivos [7]. De manera directa debido a que su construcción impacta la fauna y flora del área donde se llevó a cabo, puesto que elimina porciones de ese ecosistema, y que puede resultar perjudicial sobre todo para aquellas especies que no poseen la habilidad de adaptarse a cambios bruscos de una rápida manera y también afecta de manera indirecta por factores que se derivan del tránsito vehicular como la generación de contaminación [7].

La colisión de vehículos con la fauna silvestre, también afecta muchas veces a los conductores del vehículo involucrado en el accidente, sobre todo cuando el animal afectado es de gran tamaño, ya que la persona pierde el control del vehículo y puede terminar con lesiones en su cuerpo [8].

El tráfico vehicular es una fuente importante de mortalidad de fauna, debido a que fragmentan sus hábitats, afectando su desplazamiento [9], dado que, al intentar cruzar las carreteras, gran parte de la fauna termina siendo atropellada, y a su vez, su cadáver puede transformarse de alimento para especies carroñeras, y estas en el intento de conseguir su alimento también se convierten en víctimas de atropellamiento [10].

Un ejemplo de esta problemática son las áreas protegidas del Municipio de Envigado, la cual consta de una serie de núcleos que tienen como objetivo mantener la diversidad biológica y una conectividad entre los bosques, protegiendo así los servicios ecosistémicos y poder brindar beneficios a la comunidad [11]. Esta conectividad se ha dificultado debido a las vías principales, que, aunque son de relevancia urbana debido a la conexión que proveen, fragmentan los núcleos, causando afectaciones a las especies allí ubicadas.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente documento pretende estudiar si las dinámicas socioambientales que se presentan en el área poseen una posible relación con el atropellamiento de fauna, con el fin de sugerir una serie de alternativas que permitan reducir el impacto que ocasiona la fragmentación por carreteras de las áreas núcleo de conservación, siendo los pasos de fauna una alternativa muy viable para mitigar dicha problemática, debido a que estos pueden ser diseñados e incluirlos durante o después de la construcción de la carretera, ayudando así a mejorar la conectividad entre las metapoblaciones y disminuyendo su riesgo de mortalidad.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de que las estructuras viales se construyen con el fin de buscar un desarrollo resultado de una expansión en el territorio y la facilidad de desplazamiento para los habitantes, sucede lo contrario para la fauna silvestre que habita en ese ecosistema fragmentado, dado que se vuelve una dificultad para trasladarse hacia diferentes zonas, restringiendo su movilidad e interacción entre las especies.

Ahora bien, el Municipio de Envigado cuenta con un Sistema Local de Áreas protegidas, el cual alberga gran variedad de especies y es objeto de conservación de diversidad biológica, pero como todo territorio en pro del desarrollo, se ha tenido que enfrentar con ciertos desafíos para la conservación de fauna y flora, sobre todo por la expansión urbanística desenfrenada y construcción de predios cerca a los núcleos que conforman el área protegida de esta zona.

El atropellamiento en esta área se ha convertido en una amenaza para la fauna silvestre, dada la fragmentación causada por las vías como El Escobero, Las Palmas y Variante de Palmas, donde se ha podido registrar que las especies más afectadas son la clase de los mamíferos. Pero, se debe tener presente que existen una serie de factores que pueden influir en el número de atropellamientos entre los cuales cabe mencionar el flujo vehicular, el ancho que posee la vía, la cobertura vegetal y el comportamiento de las especies que allí se encuentran[6]. Además, la cultura vial, es decir, el comportamiento de los conductores también es un factor que puede llegar a influir en el número de especies atropelladas [6].

Por lo anterior, se puede afirmar que es de vital importancia generar esfuerzos que conlleven a la protección de las poblaciones que se encuentran en un hábitat fragmentado, las cuales se encuentran expuestas constantemente al peligro al intentar cruzar las vías, y por consecuente disminuir o incluso lograr la extinción local de la especie [12].

A. Antecedentes

La extinción de especies silvestres se ha hecho evidente en los últimos años. Para el 2019 la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) actualizó su lista roja de las especies que se encuentran en un estado de peligro de extinción, donde determinó que un total de 28.338 de especies silvestres están en estado de amenazada, donde la cifra aumenta en 2141 especies en comparación con la evaluación realizada el año anterior [13]. Del total de las especies en estado de peligro de extinción un total de 873 ya se encuentran extintas, por ende, no es alentador los resultados que se han obtenido respecto a lo evaluado, puesto que según la UICN alrededor del 38% especies presentan una considerable disminución de forma acelerada, donde los únicos afectados no son las especies de fauna sino también de flora, puesto que en la actualidad el 90% de las especies de bosques de árboles se encuentran amenazada por los ingresos económicos que pueden generar [13]. Además, se afirma que la modificación y destrucción de hábitats naturales y la caza ilegal son los principales responsables del estado vulnerable en la que se encuentran el 25% de la especie de mamíferos[14].

La mayor causa de las cifras anteriores se debe a la velocidad del crecimiento poblacional urbana, debido a que la urbanización además de demandar territorio, afecta la biodiversidad y deterioro de áreas naturales[15], muchos países ya implementan alternativas que promuevan una sostenibilidad ambiental, sin poner el riesgo la base ambiental del territorio, donde se están llevando a cabo las intervenciones de infraestructura, entre las alternativas más conocidas está determinar ciertas hectáreas dedicadas a la conservación o bien llamadas áreas protegidas, pero, para un adecuado funcionamiento y cumplimiento del objetivo que es el preservar la biodiversidad del territorio se deben implementar estrategias que ayuden a mitigar los impactos derivados del desarrollo social que se puede presentar de manera adyacente.

Para el caso de mitigar los impactos que pueden causar la construcción de infraestructura vial, existen diferentes alternativas, siendo Francia un precursor de la creación de pasos de fauna, implementado pasos elevados y subterráneos para el cruce de fauna silvestre, contando ya con un extenso número de estructuras, con el fin de reducir el conflicto que se venía presentando entre las carreteras y la fauna silvestre [16]. Pero, se puede afirmar que en los Países Bajos fue donde más

se obtuvo la aprobación de esta alternativa, debido a que han llegado a construir alrededor de seiscientos cruces con el fin de proteger muchas de sus especies, donde cabe resaltar que Holanda construyó el cruce de fauna elevado más largo en el mundo [17].

En Canadá se construyó la Carretera Transcanadiense, catalogada como la carretera nacional más larga del mundo, conectando a diez de sus providencias, pero, que atraviesa el Parque Nacional Banff, el cual es el hábitat de muchas de sus especies faunísticas, por lo tanto, desde 1996 empezaron a construir pasos de fauna, contando hoy con 6 pasos de fauna superiores y 38 subterráneos, permitiendo alrededor de 140,000 cruces de fauna documentados [18].

Alemania también ha formado parte de los países que decidieron poner en marcha la construcción de estructuras elevadas y subterráneas, funcionales como pasos de fauna, convirtiéndose en un requisito legal cuando se considere que una infraestructura vial puede causar impactos considerables en el equilibrio de un ecosistema [16].

Rías Bajas (A-52), es una autopista que atraviesa el noroeste de España, la cual tiene una gran variedad de pasos de fauna, contando con más de 100, tanto elevados como subterráneos y algunas alcantarillas rectangulares y circulares, registrando un uso de 1.37 huellas/ estructura-día, siendo los pequeños mamíferos, como los ratones, los que más frecuentaban las estructuras, seguidos de los lagomorfos [19].

Por otro lado, en la Isla Navidad, ubicada en Australia, instalaron un puente de cinco metros de altura, con el fin de ayudar el cruce de los cangrejos al momento de su migración, pero aparte de su función como paso de fauna, también se ha convertido en una atracción turística para los visitantes. Además de este puente, también se construyó 31 pasos subterráneos ubicados en toda la isla [20].

A pesar de que la implementación de pasos de fauna inició desde los años 70's, solo hasta el año 2008 se instaló en Latinoamérica el primer paso de fauna elevado, cerca de un parque natural llamado Iguazú, ubicado en Argentina [21].

En la Reserva Biológica José Lutzenberger – Lami, ubicada en Brasil, se construyeron seis puentes de fauna elevados a partir de cuerdas, en forma de escalera horizontal, los cuales fueron instalados sobre las carreteras que presentan incidencias de atropellamiento del mono aullador entre los años 2001 al 2006, los mencionados pasos han demostrado tener gran funcionalidad [22].

Colombia también es uno de los países que presenta un crecimiento acelerado en muchas de sus principales ciudades, que trae consigo una serie de necesidades demandadas por las poblaciones humanas establecidas en esos lugares, lo que ha incrementado la red vial, con el fin de buscar una comunicación entre ellas, surgiendo una problemática de mortalidad de especies de fauna, por ende, también han presentado la ejecución de estrategias que permitan la reducción de esta problemática, como lo es la carretera que conecta los departamentos de Cundinamarca y Cesar llamada Ruta del Sol, la cual mejora la movilidad del país, pero con el fin de disminuir los impactos que causó, la Concesionaria Ruta del Sol se dio a la tarea de construir 28 pasos de fauna subterráneos en forma de túneles y otros 4 pasos de fauna elevados en forma de puentes colgantes [23].

III. JUSTIFICACIÓN

La expansión urbanística sin una adecuada planificación, puede traer consigo grandes impactos ambientales negativos, debido a los elementos que lo conforman y la interacción que surge entre el medio alterado y la inclusión de infraestructura, además de presentarse consecuencias preocupantes sobre todo para la biodiversidad que habita aledaña a la zona, lo que puede ocasionar una pérdida de biodiversidad debido a la fragmentación de las áreas naturales y consumo de suelo [24]. Además de traer consigo un desarrollo en la infraestructura de transporte, la cual también presenta impactos sobre el paisaje y el conjunto de elementos que lo conforman, por ende, se deben buscar alternativas encaminadas a la protección de los recursos naturales renovables, en este caso enfocada a la fauna silvestre, que resulta atropellada por la cantidad de tráfico vehicular.

El incremento de la infraestructura en Colombia, que trae consigo incremento en la construcción de carreteras genera un gran desafío para la conservación de las especies y sus hábitats naturales, no solo por la degradación y fragmentación, sino también por las perturbaciones resultantes de la actividad humana, entre las más evidentes esta la vehicular y que esta actividad cada vez es mayor debido al incremento en la compra de vehículos y de población humana [25]. Dado que estas actividades humanas influyen en la organización paisajística, afectando sus funciones beneficiosas, es necesario tener en cuenta los criterios socioambientales que permitan realizar una evaluación de la fragmentación en el área, además de conocer la dinámica del lugar y como ha afectado su crecimiento estructural a las especies faunísticas aledañas es de gran importancia para la implementación de métodos de mitigación, debido a que en países como Colombia que se ha estado presentado incremento en la infraestructura vial no se ha realizado los estudios pertinentes para conocer los impactos de estos proyectos sobre las poblaciones de animales[26].

Se debe tener en cuenta que es de gran importancia que las zonas periurbanas conserven su biodiversidad y ecosistemas naturales dentro de su territorio, sobre todo en un lugar como Colombia, que alberga gran variedad de especies tanto de flora como de fauna y que dicha expansión urbana puede ocasionar la extinción local de poblaciones de especies debido a que muchas de estas no alcanzan a adaptarse. Así pues, se debería contemplar la opción de requerir dentro de las licencias ambientales una adecuada implementación de planes y programas de gestión

ambiental que conlleven a mitigar los impactos negativos que ocasiona la construcción de una vía a la biodiversidad del ecosistema que fragmente.

El evitar en lo posible la realización de cruces de especies faunísticas por medio de las vías además de disminuir atropellamientos, contribuye a mantener la seguridad de los conductores en la vía, que también se podría ver afectada al momento de colisionar con una especie.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Establecer la posible relación entre el índice de atropellamiento de especies de fauna y las dinámicas ambientales y sociales que se desarrollan de manera adyacente al Sistema Local de Áreas Protegidas del municipio de Envigado (SILAPE).

B. Objetivos específicos

- Determinar la regularidad con que suceden acontecimientos de mortalidad de especies por la colisión con vehículos.
- Identificar la ruta con mayor índice de atropellamientos de especies.
- Reconocer a partir de imágenes satelitales como ha sido el avance del deterioro de la cobertura vegetal dentro de los núcleos de conservación
- Establecer la ubicación de las obras hidráulicas en la vía con un mayor índice de atropellamiento y a partir de allí recomendar una serie de alternativas que puedan contribuir a la disminución de los cruces realizados por las especies de fauna en la vía.

V. HIPÓTESIS

Los aspectos socioambientales que generan un aumento en la conurbación de la zona, conllevan al incremento del flujo vehicular en la vía variante las palmas, adicional a eso, la cultura vial (flujo vehicular en la vía, límite de velocidad y criterios de conducción en general) y la deforestación, han reducido el hábitat natural de las especies, fragmentando el hábitat y finalmente la interacción de las especies dentro de la zona, los cuales son determinantes que aumentan el número de especies víctimas de atropellamiento.

Debido a lo mencionado anteriormente, las dinámicas ambientales y sociales que se desarrollan de manera adyacente a los núcleos de conservación del Sistema Local de Áreas Protegidas del municipio de Envigado se encuentran relacionadas con el índice de atropellamiento de especies de fauna.

VI. MARCO LEGAL

En Colombia se llevaron a cabo las primeras áreas protegidas ubicadas en el Valle del Cauca en el año 1938, durante el mandato del presidente López Pumarejo, al crear el Ministerio de Economía mediante la Ley 96 de 1938, con el fin de promover el desarrollo como crecimiento económico y preservar los valores naturales asociados a esta apuesta económica[27].

Pero, solo hasta el 2010 Colombia implementó la gestión de áreas protegidas en todo su territorio, mediante el Decreto 2372 de 2010, reglamentando el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), teniendo ya como finalidad conservar las áreas de relevancia ecológica, siendo seleccionadas y ordenadas, con el fin de garantizar los deberes del Estado con los ecosistemas y así mismo, planificar su manejo y aprovechamiento de los recursos [28].

Conforme al artículo 10, del anterior decreto, las áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, se pueden clasificar en: áreas protegidas públicas y áreas protegidas privadas.

Las áreas públicas están integradas por:

- Sistema de Parques Nacionales Naturales.
- Reservas Forestales Protectoras.
- Parques Naturales Regionales.
- Distritos de Manejo Integrado.
- Distritos de Conservación de Suelos.
- Áreas de Recreación.

Por otra parte, las áreas privadas solo están conformadas por las Reservas Naturales de la Sociedad Civil.

TABLA I. SISTEMA DE ÁREAS PROTEGIDAS COMPLETO DEL REGISTRO ÚNICO NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS (RUNAP) A CORTE 25 DE ABRIL DE 2020.

Ámbito de gestión	Categoría de manejo	N° de áreas protegidas por categoría	Hectáreas
Áreas Protegidas Nacionales	Reservas Forestales Protectoras Nacionales	59	562.381,67
	Distritos Nacionales de Manejo Integrado	4	9.715.811,36
	Áreas Protegidas del Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN)	59	17.446.973,55
Áreas Protegidas Regionales	Áreas de recreación	10	792,90
	Distrito de Conservación de Suelos	15	72.914,96
	Distritos Regionales de Manejo Integrado	107	2.391.449,69
	Parques Naturales Regionales	60	789.036,68
	Reservas Forestales Protectoras Regionales	96	215.230,86
Áreas Protegidas Privadas	Reservas Naturales de la Sociedad Civil (RNSC)	841	171.435,41
TOTALES		1.251	31.386.027

Nota: Fuente. [29]

Actualmente, el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) posee 1.251 áreas protegidas que ocupan alrededor de 31.386.027 hectáreas, es decir, el 15,16% de todo el territorio colombiano [29].

Ahora bien, mediante el Acuerdo del Concejo Municipal 009 de 2016, donde se adopta e implementa el Sistema Local de Áreas Protegidas del Municipio de Envigado (SILAPE)[30], como

una estrategia de conservación de ecosistemas estratégicos y mejor vivir para sus habitantes, designando los objetos de conservación para fauna y para flora:

- Fauna: Tigrillo Lanudo (*Leopardus tigrinus*), Rana paisa (*Hyloscirtus antioquia*), Cacique Candela (*Hypopyrrhus pyrohypogaster*).
- Flora: Palma de cera Crespa (*Ceroxylon vogelianum*), Olla de mono (*Eschweilera antioquensis*), Marfil (*Licania cabrerae*), roble (*Quercus humboldtii*).

Para llevar a cabo con la estrategia de conservación de la biodiversidad, el municipio de Envigado designo cuatro áreas núcleo: Corredor del tigrillo, Bosques del Perico y Pantanillo, Reserva Forestal del Nare y Escarpe Oriental.

La viabilidad de estas áreas de protección de la biodiversidad viene acompañada de una adecuada planificación del territorio, es decir de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y Planes de Desarrollo Territorial (PDT).

En 1994, mediante la Ley 152 de 1994, se establece la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo Territorial, donde el artículo 32 afirman que las entidades territoriales poseen una autonomía en materia de planeación económica, social y de la gestión ambiental, estableciendo así al Plan de Desarrollo Territorial como un instrumento de planificación que puede llevarse a cabo en una escala local, definiendo programas y proyectos que se pueden ejecutar durante un periodo de gobierno, es decir, 4 años [31].

Por otra parte, el Plan de Ordenamiento Territorial surge como un instrumento técnico y normativo para ordenar determinado territorio, a escala municipal o distrital, mediante la Ley 388 de 1997 conocida como Ley del Desarrollo Territorial, que tiene como objetivo ser una herramienta guía para el ordenamiento y utilización [32].

No obstante, solo hasta la expedición de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, la Ley 1454 de 2011, fue que se estableció el marco regulatorio en el tema de ordenamiento territorial, reiterando algunos aspectos de la Ley de Desarrollo Territorial, además se establecen los

instrumentos de planificación a nivel de las escalas del ordenamiento territorial: de la nación, del departamento, de las áreas metropolitanas, distritos especiales y del municipio [33].

VII. MARCO TEÓRICO

Se puede entender como fauna silvestre a todos aquellos animales que se encuentran en su hábitat de manera libre, sin ningún tipo de relación o ayuda directa por parte de algún humano para obtener alimento y demás necesidades, es decir, el hombre no posee control alguno sobre ellos[34]. No obstante, en el artículo 249 del Decreto 2811 de 1974, Colombia define la fauna silvestre como aquel conjunto de animales que no han tenido ningún tipo de domesticación, mejora genética o cría y levante regular o que han regresado a su estado salvaje.

La fauna silvestre es uno de los principales elementos que conforman a Colombia, pero que el desarrollo poblacional del país alrededor de las áreas protegidas establecidas puede influenciar en el adecuado funcionamiento de estas, puesto que este desarrollo trae consigo la construcción de carreteras o vías de comunicación, llegando afectar directamente la fauna silvestre, estas infraestructuras lineales se pueden definir como aquellos sistemas de transporte, que se adaptan sobre una superficie terrestre que tiene unas condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir la adecuada circulación de los vehículos en unas condiciones de continuidad en el espacio y en el tiempo, las cuales pueden estar conformadas por uno o varios carriles y tener uno o ambos sentidos de circulación [35].

A. Clasificación de las carreteras en Colombia

Según [36], las carreteras en Colombia se pueden clasificar según su funcionalidad y el tipo de terreno en el cual van a funcionar.

Según su funcionalidad: se puede clasificar en los siguientes niveles:

- **Primarias:** Son aquellas que cumplen con la función básica de integrar zonas de producción y consumo en el país, incluso con los demás países. Dan acceso a capitales de Departamento y deben funcionar ya pavimentadas.

- Secundarias: Unen las cabeceras municipales y/o provienen de una cabecera municipal y se conectan con una carretera primaria. Las carreteras secundarias pueden funcionar pavimentadas o en afirmado.
- Terciarias: Unen a cabeceras municipales con las veredas que posee. Las carreteras terciarias deben funcionar en afirmado y en caso de que fuesen pavimentadas, deben cumplir con los diseños geométricos de las carreteras secundarias.

Según el tipo de terreno: Se determina por la topografía del tramo donde será establecida la carretera.

- Terreno plano: Exige un mínimo de movimiento de tierra durante el proceso de su construcción. Las pendientes longitudinales son menores al tres por ciento y las pendientes transversales son menor a cinco grados. Se puede definir como la combinación de alineamientos tanto horizontales como verticales ya que permite mantener la misma velocidad de los vehículos pesados y los vehículos livianos.
- Terreno ondulado: Requiere un movimiento moderado de tierra, por lo tanto, permite alineamientos más o menos rectos, sin presentar dificultades en la explanación. Sus pendientes transversales están entre seis y trece grados y sus pendientes longitudinales entre tres y seis por ciento. Se puede definir como la combinación entre alineamientos horizontal y vertical que obliga a los vehículos pesados a la llevar una velocidad mucho menor que la de los vehículos livianos.
- Terreno montañoso: Requiere grandes movimientos de tierra, por lo cual, presenta dificultades en la explanación. Las pendientes transversales se encuentran entre los seis y trece grados y sus pendientes longitudinales están entre seis y ocho por ciento. Obligan a los vehículos pesados a operar a velocidades sostenidas contantemente.
- Terreno escarpado: Exige un máximo de movimiento de tierras, lo que conlleva a grandes dificultades durante la explanación. Posee pendientes transversales generalmente superiores a los cuarenta grados y unas pendientes longitudinales del ocho por ciento. Los vehículos pesados deberán operar a menores velocidades sostenidas en rampa que en aquellas a las que operan en terreno montañoso.

B. Impacto de las carreteras en las áreas protegidas

Debido a la expansión que ha tenido Colombia en los últimos años, muchas de sus áreas protegidas se encuentran en medio de ciudades, lo que conlleva a que se construya algún tipo de carretera en medio de ellas. En consecuencia, los objetivos de las áreas protegidas se han vuelto un trabajo más arduo, debido a los efectos que causan las carreteras en estos territorios, y acorde a [37] , entre los más relevantes se encuentra:

- **Fragmentación y modificación del hábitat:** El hábitat queda reducido y subdividido en dos o más, causando parches que generan la limitación del desplazamiento de las especies y, por lo tanto, aislamiento de las poblaciones y posiblemente la extinción local de alguna de las especies que no puedan adaptarse al cambio. Adicionalmente, la fragmentación tiene dos consecuencias que afectan el ecosistema: el efecto barrera y el efecto borde.
- **Efecto barrera:** Limita la movilidad y dispersión de las especies, y por consecuencia se reduce la posibilidad de encontrar pareja, lo que conlleva a pérdidas reproductivas. Este efecto restringe no solo el movimiento sino también la conectividad entre las poblaciones.
- **Efecto de borde:** Debido a la fragmentación del ecosistema, se cambian las condiciones bióticas y abióticas del territorio, es decir, debido a la fragmentación por carreteras, al borde de estas se presentará una mayor temperatura, se presenta mayor susceptibilidad en el viento, una menor humedad y una mayor radiación debido al pavimento. También modifica la vegetación del terreno y por consecuencia altera la oferta de alimento de algunas de las especies.
- **Atropellamiento a la fauna:** El atropellamiento se puede definir como el número de animales heridos o que colisionaron con un vehículo, provocando impactos sobre la dinámica poblacional de las especies y su ecosistema [38]. Es un impacto que se puede evidenciar muy fácilmente, debido a se puede observar los cuerpos de los animales colisionados [37].

La mortalidad de las especies no solo se da una vez la carretera esté funcionando, sino que también se puede presentar durante el momento en el que se está construyendo, generalmente suele ser accidental o por muerte asociada al estrés de la construcción o ingesta de algún residuo

solido que se haya generado durante el procedimiento de construir la carretera o por el personal de la obra [39].

C. Estrategias que permiten la identificación de dinámicas socioambientales que pueden influir en el atropellamiento

Como se mencionada anteriormente, el efecto borde puede modificar la cobertura vegetal y, afecta el desarrollo de la fauna que alberga, desmejorando las condiciones de la calidad de vida de esos animales. Además de la presión ejercida por la construcción de infraestructuras que causan una disminución de esta cobertura.

La teledetección es una de las herramientas que permite observar el estado de la vegetación de la tierra, debido a que es una técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre a través de sensores instalados en plataformas espaciales a través de un intercambio energético[40], dado que la reflectancia espectral además de ser una característica terrestre es el elemento fundamental, siendo aquella energía que es reflejada por una superficie y que su valor varía en función de la longitud de onda entre 0 y 1[41]. La teledetección se convierte en una herramienta que permite proporcionar información espacial de gran variedad de fenómenos ambientales[42]. Son muchos los ejemplos en los que se puede aprovechar para conocer la cobertura vegetal, entre los cuales está la gestión y análisis de agricultura, bosques, ayuda a llevar a cabo el ordenamiento del territorio, entre otros [41].

La cobertura vegetal fue unos de los primeros elementos de investigación para la evaluación y manejo de los recursos naturales a partir de las imágenes satelitales, su implementación se dio a partir del lanzamiento del satélite LANDSAT en el año 1972, pero actualmente no solo LANDSAT permite el análisis de vegetación, se cuenta con más satélites de observación como el SPOT, NOAA, Sentinel, entre otros [43].

La clorofila es el principal elemento para llevar a cabo la teledetección a coberturas vegetales y dependiendo de la cantidad de esta y realizando una variación de la reflectancia, se refleja un color determinado [41]. La reflectancia del infrarrojo cercano proporciona la información adecuada

acerca de la densidad de la vegetación, por ende, muchos de los índices de vegetación se apoyan en la combinación de la banda roja e infrarroja del espectro [44].

Entre las diversas metodologías para en análisis de cobertura vegetal por medio de imágenes satelitales o bien llamados índices de vegetación que están relacionados con el verdor[45], se encuentra en Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (Normalized Difference Vegetation Index) o NDVI, el cual arroja valores de intensidad del verdor de la zona, permitiendo la identificación de la cantidad de vegetación presente sobre una superficie terrestre y a su vez, determinar el estado o vigor vegetativo [46].

Es una metodología no dimensional, donde sus valores van entre -1 y +1, los valores de -1 son relacionados con cuerpos de agua o ausencia de vegetación, mientras los valores cercanos a +1 indica presencia de vegetación [46].

D. Planes de mitigación para el atropellamiento de las especies

De acuerdo con [47], se pueden realizar planes de reducción de impactos en las distintas fases de construcción de la carretera, las cuales se pueden clasificar como preventivas, correctoras o compensatorias.

- **Medidas Preventivas:** Consiste en seleccionar la alternativa que mejor se adapte a las características del terreno y de la carretera a construir. Se desarrolla durante la etapa de planificación a través de una evaluación ambiental.
- **Medidas correctoras:** Se realiza con el fin de reducir los impactos que no se han podido evitar totalmente.
- **Medidas compensatorias:** Destinadas a compensar los impactos que no se pudieron mitigar de manera adecuada, con el fin de compensar las pérdidas y alteraciones ocasionadas al hábitat.

A pesar que, en primera instancia se debería implementar una medida preventiva, en Colombia y muchos países del mundo prefieren implementar la medida una vez ejecutado el proyecto o

actividad, por ende, diseñan estrategias mitigadoras, entre las más comunes está la implementación de pasos de fauna elevados o subterráneos o la reubicación de las especies afectadas en un nuevo hábitat como una medida compensatoria. (Figura 1.)

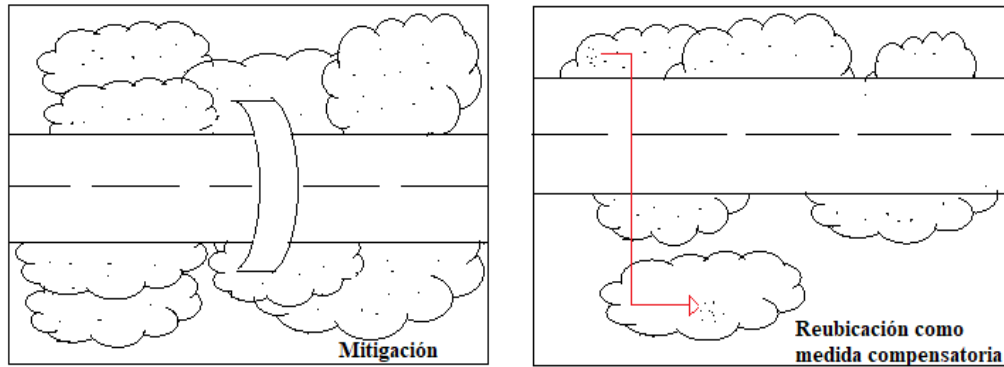


Fig. 1. Esquema representativo de las medidas correctoras y compensatorias.

E. Estrategias de mitigación

Entre las medidas planteadas para mitigar el impacto de las carreteras se encuentran:

1) Pasos de fauna

Estructuras que facilitan el desplazamiento de la fauna frente a una barrera generada por el desarrollo civil, ayudando a reducir la mortalidad por atropellamientos y el aislamiento de las poblaciones. La efectividad de estos dependerá de sus características y el medio [48].

Según [49], los pasos de fauna se pueden clasificar en dos categorías generales, elevados/superiores o subterráneos/inferiores, dentro de ambas categorías existen varios tipos de pasos de fauna, que varían en su forma y construcción, como se puede observar en la Tabla II.

TABLA II. CLASIFICACIÓN DE LOS PASOS DE FAUNA.

Superiores	Inferiores
Ecoductos	Viaductos
Pasos superiores específicos para fauna	Pasos inferiores específicos para fauna
Pasos mixtos superiores	Drenajes sobredimensionados

Los pasos de fauna inferiores o subterráneos poseen la ventaja que no solo se construyen, sino que también pueden ser adaptados a partir de una obra existente, que en un inicio tenían una función totalmente diferente, un ejemplo de esto son los viaductos o túneles que constituyen una de las estructuras más permeables para pasos de fauna por sus índices de apertura [50].

Según [51], la efectividad de los pasos de fauna depende de la planeación que se hará para su construcción donde se deben tener en cuenta aspectos como:

- La ubicación de los pasos de fauna, donde se debe elegir cuidadosamente su localización por medio de una investigación del terreno para conocer sus características topográficas.
- Realizar un inventario de las especies que se verán beneficiadas con el paso de fauna.
- Construir los pasos de fauna en dirección perpendicular a la vía, debido a que se tendrá un tramo más corto.

2) *Sistemas de cercado*

Se implementan con el fin de restringir el cruce de las especies por medio de las carreteas. Las cercas más comunes son aquellas construidas con una malla de alambre y son enterradas entre 20 y 40 cm por debajo de la superficie del terreno con el fin de que algunas especies no empiecen a cavar y pasen por debajo de esta. Tiene como desventaja aumentar el efecto barrera [6].

3) Señalización

Implementación de anuncios, los cuales tienen como objetivo informar a los conductores que están conduciendo por una zona de influencia animal, por lo tanto, se debe disminuir la velocidad y aumentar la precaución al conducir [51].

4) Reflectores

Son dispositivos ubicados al borde de la vía, los cuales emiten luz cuando los faros de los vehículos se encuentran encendidos y así, advertir a los animales sobre la proximidad de un peligro si se acercan a esa zona. También se pueden utilizar iluminaciones al borde de la vía, pero esta tiene una efectividad mínima [51].

5) Repelentes olfatorios

Utilización de sustancias con olores estratégicos que puedan alejar los animales de las carreteras, pero aún no se ha comprobado su efectividad [51].

F. Medidas de mitigación implementadas en el Municipio de Envigado

Desde que se estableció el SILAPE en el año 2016, la administración se ha puesto en la tarea de buscar alternativas que conlleven a la efectividad en la conservación de las especies, pero esto se ha convertido en un trabajo arduo debido a que es un terreno que se encuentra fragmentado por carreteras de alto flujo vehicular como El Escobero, Las Palmas y Variante Las Palmas, por tal razón, optaron por implementar una serie de actividades de manejo, monitoreo y conservación para asegurar el bienestar y persistencia de las especies [11].

El SILAPE se ha encaminado a ejecutar muchos de los instrumentos de mitigación anteriormente mencionadas, puesto que ha implementado pasos de fauna elevados en lugares estratégicos, construidos a partir de cuerdas en forma de x, similar a una escalera, que le han permitido a la fauna arbórea realizar cruces por encima de las vías, donde la especie que más registra cruces es el

olinguito (*Bassaricyon neblina*), puesto que se evidencia un total de 212 en los monitoreos realizados entre los años 2016 y 2018 [52].



Fig. 2. olinguito (*Bassaricyon neblina*) captado por las cámaras trampa haciendo uso de dos de los tres tipos de pasos arborícolas.

Nota: Fuente. Tomado y adaptado de [52]

Además de estos pasos de fauna elevados, se han realizado campañas a partir de las vallas instaladas en los extremos de la vía que comunica al municipio de Envigado con el antiplano oriente, con el objetivo de concientizar a los conductores de que hay presencia de fauna por esa vía y así manejar con una mayor precaución [11].



Fig. 3. Valla de precaución de paso del tigrillo lanudo (*Leopardus tigrinus*) resultante de la campaña contra atropellamiento de fauna

Nota: Fuente. [11]

Por último, Envigado posee unos ductos subterráneos asociados a la red de quebradas y drenajes de la zona rural del municipio, y a pesar de que inicialmente no fueron diseñadas para el cruce de la fauna silvestre, desde el año 2015 se ha presentado evidencia de que muchos de ellos realizan cruces por estos ductos [52].

Pero a pesar de que estos ductos subterráneos no fueron diseñados en un principio como pasos de fauna, se puede realizar una optimización que mejore la calidad de estos y sea más llamativo para las especies cruzarlos y evitar pasar por las carreteras para disminuir los riesgos de ser atropellados.

Basándose en [51], se deben tener en cuenta una serie de aspectos del ducto:

- Permite el desplazamiento de la especie a lo largo del ducto sin mojarse, de no ser así, se debe instalar plataformas elevadas por encima del nivel del agua.
- Desde el inicio hasta el final del ducto, el individuo se puede desplazar cómodamente, sin obstáculos.
- Un correcto cercamiento perimetral que maximice el éxito del ducto.

- Disminuir los olores desagradables, que puedan ahuyentar el cruce de las especies.

VIII. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Municipio de Envigado se encuentra ubicado en el sur oriente del Valle de Aburrá, a una altura media de 1675 msnm y con una altura máxima de 29000 msnm, teniendo un área total de 78,21 km², distribuidos en 12,25 km² de zona urbana y 65,95 km² de zona rural, donde, el 1.86 km² del área rural son considerados zona de expansión[53]. Su temperatura promedio varía desde los 22°C hasta los 18°C, con una humedad relativa del 70%[11]. Como se mencionó anteriormente, para el año 2015 designaron cuatro áreas núcleo: Bosques de Perico y Pantanillo, Reserva Forestal del Nare, Corredor del Tigrillo y Escarpe oriental [11], como se muestra en la Fig. 4.

A nivel hidrológico, el municipio está conformada por tres Cuencas, La Ayurá, Las Palmas y La Mina; El Río Medellín recorre el municipio de sur a norte y recoge las aguas de algunas quebradas que atraviesan el área urbana de oriente a occidente al igual que las de las microcuencas La Ayurá y La Mina. Las aguas de la microcuenca las Palmas continúan su recorrido por el municipio de El Retiro donde son represadas en el embalse La Fe, el cual abastece de agua a la zona urbana de los municipios que conforman el Valle de Aburrá. La quebrada la Ayurá es el principal afluente hídrico estructurante del territorio municipal, tiene un área de 38,14 km², que representa el 48,4% del total del territorio municipal [54].

Actualmente el municipio cuenta con un 35,08% (2725.805,5 ha) de su territorio con coberturas boscosas en diferentes grados de sucesión, de los cuales el 27.67% (754.457,1 ha) corresponde a Bosque denso, 28,05% (764.852,6 ha) Bosque fragmentado, 24,90% (678.960,1 ha) Vegetación secundaria alta y 19,35% (527.535,7 ha) vegetación secundaria baja [55].

Se podría decir que el Municipio de Envigado es un área estratégica para la conservación de mamíferos no voladores a nivel nacional, debido a que en estos núcleos establecidos albergan gran diversidad de estos, es decir, en tan solo 78km² en este territorio se encuentra alrededor del 15% de la diversidad de los mamíferos no voladores reportados en Colombia[56], por tal razón, es de vital importancia asegurar la permanencia de estos en dicho territorio.

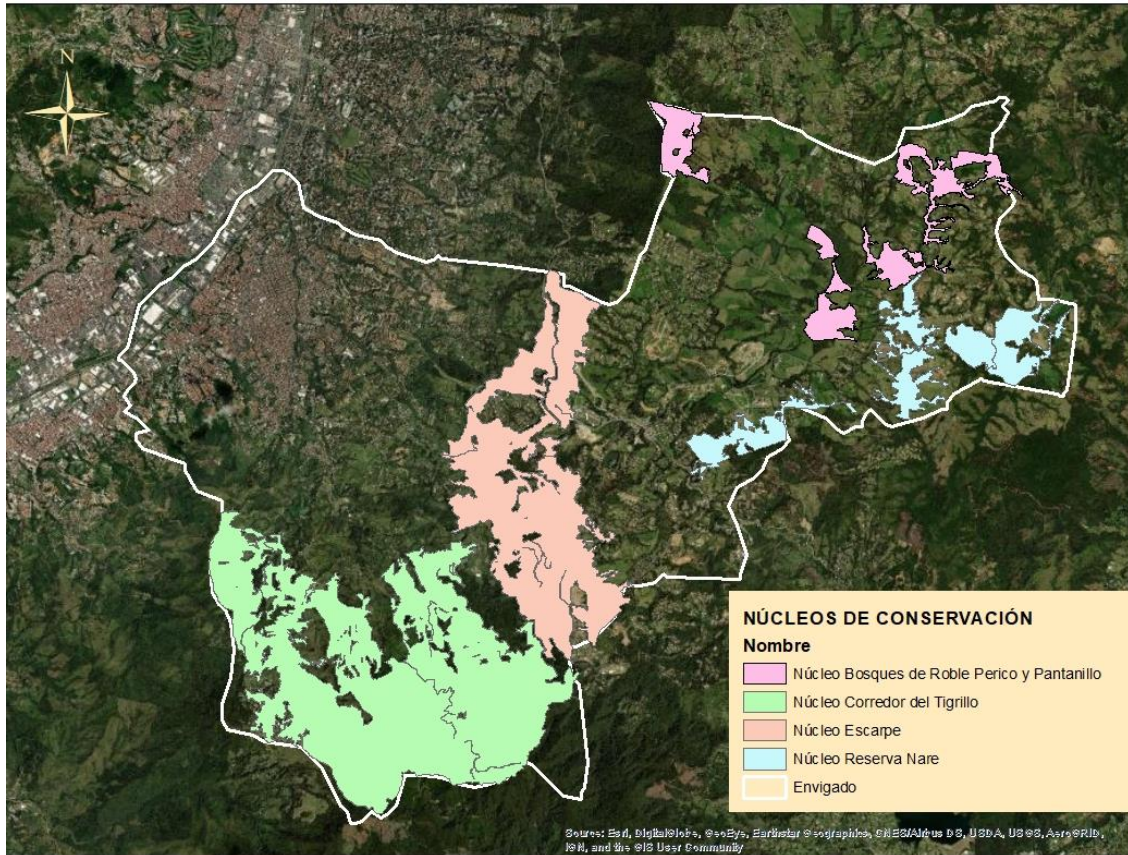


Fig. 4. Núcleos de conservación del Sistema de Áreas Protegidas Locales de Engivado.

IX. METODOLOGÍA

A. Atropellamiento de fauna

Mediante los proyectos ejecutados por la Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario de Envigado encaminados a la conservación de las especies y con ayuda de entidades públicas y privadas, se pudo adquirir los registros de atropellamiento que fueron realizados en el año 2018 en tres principales vías de la zona rural del municipio de Envigado que fragmentan los núcleos de conservación objeto de estudio, estas vías son: escobero, variante de palmas y las palmas. Según lo obtenido de los registros, los recorridos fueron realizados por medio de un vehículo, con una velocidad de aproximadamente 30 km/h, realizados entre marzo y julio del 2018, para un total de 47 recorridos.

Los registros de los atropellamientos se dividieron en clases taxonómicas: mamíferos, aves y reptiles. Posteriormente fueron ubicados a través del sistema de información georreferenciada conocido como ArcMap, puesto que en los registros se presentaban las coordenadas geográficas de cada una de las especies a las que se les realizó la inspección en la vía, donde además se incluyeron las capas de los núcleos de conservación y las vías anteriormente mencionadas, identificando de manera superficial donde era la zona que presentaba de manera más reiterativa los atropellamientos.

B. Tasa de atropellamiento

A partir de las coordenadas geográficas adquiridas de los registros de atropellamientos y recorridos que fueron ejecutados durante el año 2018, se pudo llevar a cabo la cuantificación de la frecuencia con que se sucedieron los atropellamientos. a partir de la tasa de atropellamiento diaria para cada una de las principales vías que presentaba registros de atropellamiento y ser comparadas de manera más objetiva y no solo de manera visual.

$$TA = \frac{\text{índice de atropellamientos}}{\text{longitud de la vía} * \text{días}}$$

TA = Tasa de atropellamiento

Índice de atropellamientos = Cantidad de especies atropelladas

Longitud de la vía = Ancho que posee la vía a evaluar (Km)

Días = Cantidad de recorridos ejecutados

Para el cálculo de la tasa de atropellamiento por vía y por día, se utilizó el total de individuos atropellados para cada una de vías, la longitud de cada una de las principales vías y el número de recorridos o días en los cuales se llevó a cabo los registros de atropellamiento.

La tasa de atropellamiento permite conocer en qué puntos de las carreteras o en que carreteras ocurre de manera más reiterativa estos acontecimientos [51].

C. Dinámicas socioambientales que pueden influir en el atropellamiento

1) Distribución espacial de la fauna silvestre

La Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario de Envigado implementó el monitoreo de fauna silvestre a partir de las 53 cámaras trampa que han instaladas desde el 2015, en los núcleos que conforman el área protegida, y a partir de la información suministrada, se permitió conocer y ubicar las áreas donde hay presencia de mamíferos, dado que estas cámaras trampa captan principalmente estas especies y por los resultados obtenidos a partir de los registros de atropellamientos. A partir de esta información y la herramienta ArcMap se pudo establecer la diversidad de mamíferos que presenta cada uno de los núcleos y además poder determinar la distribución espacial actual de varios de los mamíferos que albergan los núcleos del área protegida.

Para ejecutar esta distribución, La Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario dividió el área rural del municipio en cuadrantes de 1km por 1km de longitud, donde fueron

instaladas una cámara trampa por cada cuadrante, y así realizar el diseño experimental de la distribución de las especies registradas.

2) Organización del territorio rural del municipio

Se realizó una revisión de la estructura del Plan de Ordenamiento Territorial vigente y del Plan de Desarrollo 2016-2019, dado que es el último al que se puede tener acceso a la fecha, donde se le realizó una interpretación con el fin de entender las razones que han llevado al municipio a expandirse de la forma que lo ha efectuado en los últimos años en el área rural.

Además, se analizó el mapa disponible de usos del suelo que se está llevando a cabo actualmente en el municipio, el cual se encuentra disponible en la plataforma oficial del municipio a fin de conocer si todos los núcleos de conservación del área protegida se encuentran de una zona designada como protección.

3) Diagnóstico de la cobertura vegetal en el área rural del municipio a partir de la teledetección

Inicialmente se pretendió dar una mirada general del estado de la cobertura vegetal en el área rural del municipio de Envigado, por ende, se procedió a descargar una imagen satelital actual a través de la plataforma Earth Explorer (USGS), capturada por el satélite LANDSAT 8, con un formato GeoTIFF, dado que de esta manera se descargan todas las bandas que componen la imagen satelital.

Una vez obtenidas, se realizó dos combinaciones de bandas, en una de las combinaciones fue el infrarrojo, dado que indica la presencia o ausencia de cobertura vegetal, por otro lado, se combinó las bandas de manera que permitiera realizar un mayor análisis de la cobertura vegetal, pudiéndose definir por categorías.

Para entrar a un mayor análisis de detalle respecto al estado cobertura vegetal, se utilizó el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), para estimar la cantidad y calidad de la vegetación de los núcleos de conservación, además de compararlos para los años 2013, 2016 y

2020, las imágenes satelitales fueron obtenidas de la misma plataforma mencionada anteriormente y en el mismo formato GeoTIFF, después fueron introducidas al software ArcMap y mediante la opción de calculadora raster, la cual se encuentra ubicada en las herramientas de análisis espacial, se introdujo la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{Float(banda5 - banda4)}{Float (banda5 + banda4)}$$

La imagen que surge de la anterior ecuación, se reclasifica los valores arrojados de manera automática por el software de la siguiente manera:

- -1 – 0 Ausencia de vegetación
- 0 – 3 Área pobre en vegetación, con arbustos o pasturas naturales
- 0,33 – 0,66 Cobertura vegetal medianamente sana
- 0,66 – 1 Cobertura vegetal muy sana

Una vez obtenidas las imágenes finales con la reclasificación, se procede a calcular las hectáreas de cobertura vegetal que se encuentran en estado deteriorado, a partir de la realización de polígonos de manera manual y posteriormente ser cuantificadas por medio de la calculadora geométrica que dispone el programa ArcMap, con la intención de comparar el desarrollo de la cobertura vegetal antes y después de ser declarado área protegida.

Con los resultados obtenidos del número de hectáreas que pasaron a ser categoría “área pobre en vegetación” se ejecutó el cálculo de la tasa promedio anual de degradación del bosque para los años a los cuales se les realizó el índice NDVI con la siguiente formula:

$$TMDB_{t1-t2} = \frac{(AB_{t1} - AB_{t2})}{n}$$

$TMDB_{t1-t2}$ = tasa promedio anual de degradación del municipio, entre t1 y t2

AB_{t1} = Superficie cubierta de bosque sana en el municipio, en t1 (ha)

AB_{t2} = Superficie cubierta de bosque sana en el municipio, en t1 (ha)

n = diferencia de años entre el t1 y t2

4) Pasos de fauna como medidas de mitigación

Gracias a la identificación del número de obras hidráulicas realizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario del municipio de Envigado a partir de los recorridos que llevaron a cabo, identificaron que 14 de las 57 que se encuentran ubicadas en la vía variante de palmas son funcionales.

Dado que las obras hidráulicas presentaban georreferenciación, se realizó un desplazamiento hasta dos de ellas, donde se tomaron medidas tanto del alto como del ancho de cada una de las entradas de la obra hidráulica, al igual que a la zona adyacente de la entrada de dicha obra, utilizando un flexómetro, corroborando que las especies de mamíferos puedan realizar un cruce sin ningún tipo de restricción.

Con base en los resultados obtenidos en el proceso de evaluación de las obras hidráulicas y el reconocimiento de los aspectos a mejorar para ser utilizados como pasos de fauna, se determinaron las recomendaciones de alternativas que mejor se adaptan a la estructura y se pueda asegurar una mayor efectividad que incentive a la especie a realizar el cruce.

X. RESULTADOS

A. *Atropellamiento de fauna en el área rural del municipio de Envigado*

El Sistema Local de Áreas Protegidas de Envigado (SILAPE), es una estrategia fundamental para llevar a cabo la conservación de la biodiversidad, no solo en el municipio sino también para mantener la conectividad ecológica e interacción natural de los ecosistemas del Valle de Aburrá, por lo tanto, es necesario llevar a cabo estrategias que permitan la efectividad de esta conexión en el área protegida y la conservación de las especies de fauna y flora que posee.

Con base en la información recolectada a través de la Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario de Envigado y el seguimiento realizado por otras entidades, se identificaron los núcleos de conservación y las vías principales que fragmentan estos.

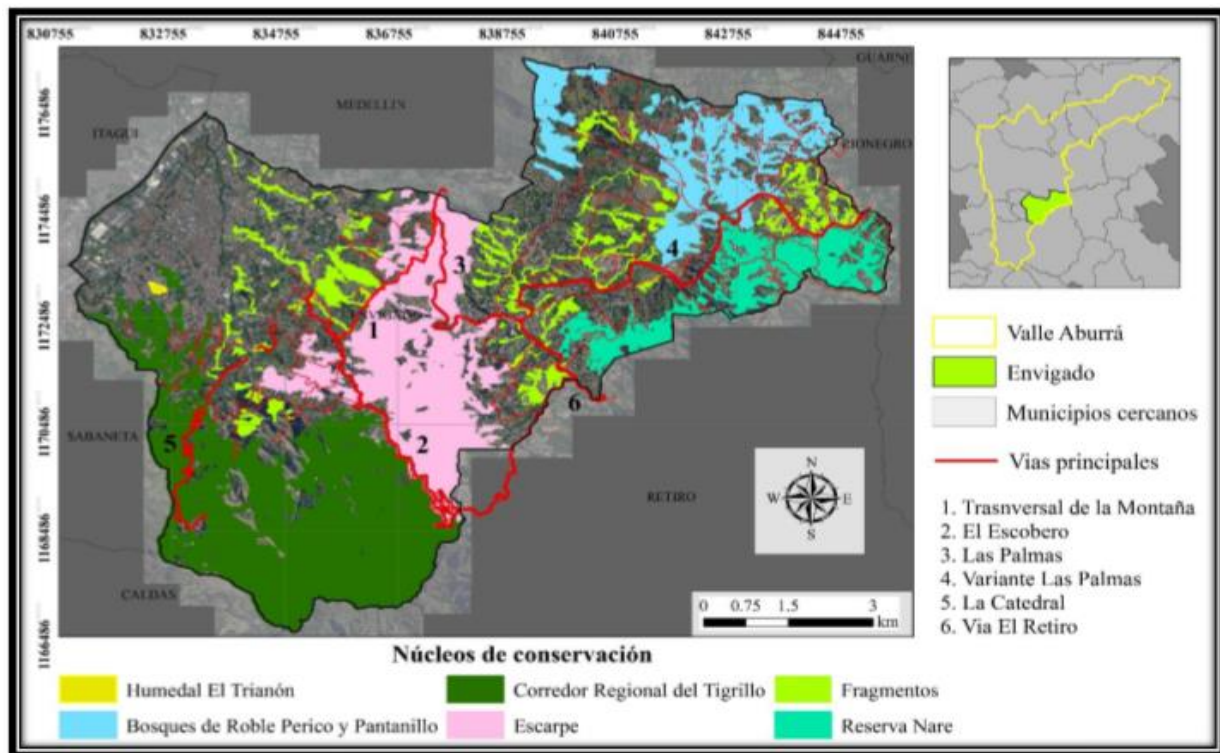


Fig. 5. Principales vías que fragmenta al Sistema Local de Áreas Protegidas.

Nota: Fuente.[11]

Por medio de los datos recolectados en los muestreos llevados a cabo por la secretaria de medio ambiente, se determinó que de las vías principales que fragmentan los núcleos de conservación son el escobero, variante de palmas y las palmas.

Para llevar a cabo el análisis de atropellamiento, solo se tendrá en cuenta los datos recolectados en el año 2018 en las anteriores vías principales mencionadas, debido a que son los más recientes y completos que poseen en la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario, el cual fue ejecutado de marzo a julio.

TABLA III. COORDENADAS Y LONGITUD DE LAS TRES PRINCIPALES VÍAS DONDE SE REALIZARON LOS MUESTREOS DE ATROPELLAMIENTO.

Vía	Longitud (km)	Coordenada inicial	Coordenada final	Núcleo que fragmenta
El Escobero	10,3	6°9'43.80"N- 75°34'11.47"O	6°8'35.17"N- 75°31'30.47"O	Corredor Regional del Tigrillo y núcleo Escarpe
Variante de Palmas	9,2	6°9'12.78"N- 75°31'57.53"O	6°10'29.49"N- 75°28'32.03"O	Reserva Nare y Bosques de Roble de Perico y Pantanillo
Las Palmas	4,7	6°11'4.62"N- 75°32'44.22"O	6°9'12.45"N- 75°31'59.99"O	Núcleo Escarpe

De los 47 recorridos que se llevaron a cabo por parte de la Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario, se registraron un total de 43 individuos atropellados para las tres principales vías (Tabla III), de los cuales fueron clasificados por clases taxonómicas y 42 fueron identificados hasta la especie (Tabla IV, V, VI).

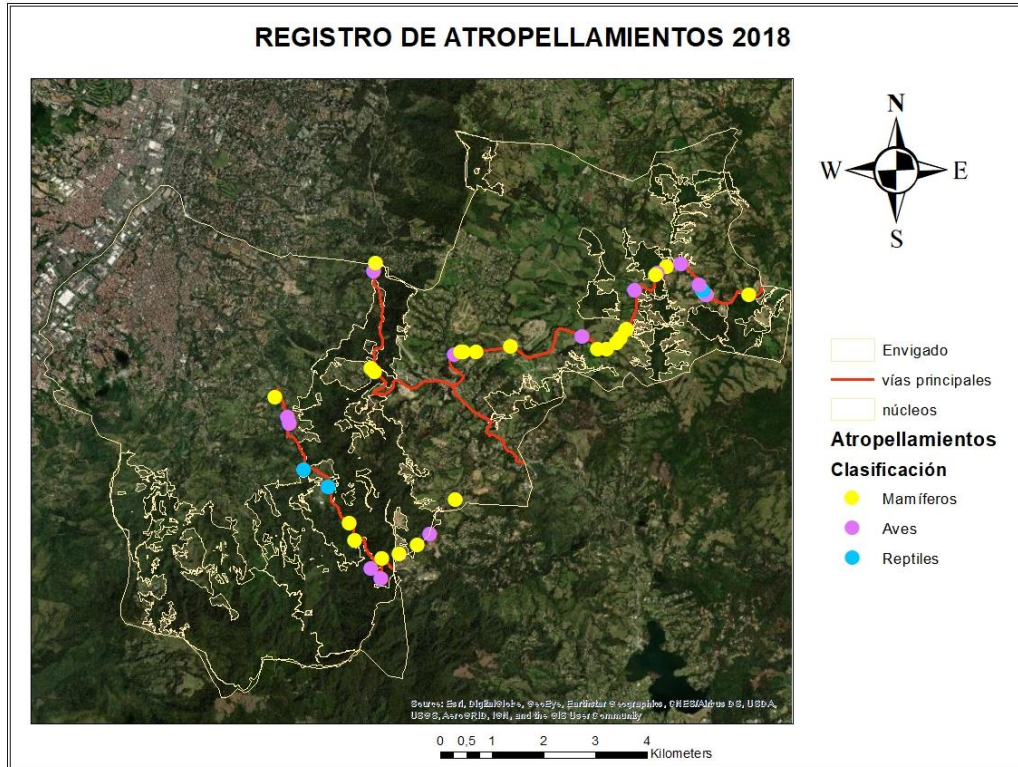


Fig. 6. Ubicación de los registros de atropelloamiento por clases taxonómicas.

TABLA IV. REGISTRO DE MAMÍFEROS SILVESTRES ARROLLADOS EN TRES PRINCIPALES VÍAS RURALES QUE FRAGMENTAN EL ÁREA PROTEGIDA DE ENVIGADO ENTRE MARZO Y JULIO DE 2018.

Familia de Mamíferos			El	Variante	Las	TOTAL
			Escobero	las	Palmas	
				Palmas		
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya común	4	6		10
Dasypodidae	<i>Dasyopus novemcinctus</i>	Armadillo de nueve bandas		2		2
Procyonidae	<i>Nasuella olivácea</i>	Cusumbo andino		2	1	3
Cricetidae	Roedores sin identificar		1			1
Erethizontidae	<i>Coendou rufescens</i>	Puercoespín de cola corta	1			1
Sciuridae	<i>Notosciurus granatensis</i>	Ardilla de cola roja	1	1		2
Leporidae	<i>Sylvilagus sp</i>	Conejo	1	1	2	4
Sin identificar				1		1
Total, mamíferos atropellados			8	13	3	24

Se puede afirmar que, dentro de la categoría de los mamíferos, se establece que la especie más atropellada es la zarigüeya común (*Didelphis marsupialis*) con un 41,67% del total de atropellamientos registrados a mamíferos. (Tabla IV)

TABLA V. REGISTRO DE AVES ARROLLADAS EN DOS PRINCIPALES VÍAS RURALES QUE FRAGMENTAN EL ÁREA PROTEGIDA DE ENVIGADO ENTRE MARZO Y JULIO DE 2018.

Familia de Aves			El	Variante	Las	TOTAL
			Escobero	las	Palmas	
				Palmas		
Cracidae	<i>Chamaepetes</i>	Pava	2			2
	<i>goudotii</i>	maraquera				
	<i>Ortalis</i>	chachalaca			1	1
	<i>columbiana</i>	colombiana				
Passerellidae	<i>Atlapetes</i>	matorralero		1		1
	<i>latinuchus</i>	de pecho amarillo				
	<i>Turdus fuscater</i>	paraulata morera		1		1
Passerifidae	<i>Myiarchus</i>	Atrapa		1		1
	<i>cephalotes</i>	moscas montañoero				
Strigidae	<i>Megascops</i>	currucutú		1	1	2
	<i>choliba</i>	común				
Momotidae	<i>Momotus</i>	momoto		1		1
	<i>aequatorialis</i>	serrano,				
Troglodytidae	<i>Henicorhina</i>	Cucarachero	1			1
	<i>leucophrys</i>	pechigrís				
Icteridae	<i>Hypopyrrhus</i>	cacique	1			1
	<i>pyrohypogaster</i>	candela				
Cuculidae	<i>Piaya cayana</i>	cuco ardilla		1		1
	<i>Crotophaga ani</i>	garrapatero aní		1		1
Sin identificar			1	1		2
Total, aves atropelladas			5	8	2	15

En cuanto a las aves, los registros de la clasificación de las especies fueron muy variada, sin presentar diferencias significativas de unas a otras, dado que las que presentan mayor atropellamiento son las especies pava maraquera (*Chamaepetes goudotti*) y currucutú común (*Megascops choliba*), presentando un individuo de más. (Tabla V)

TABLA VI. REGISTRO DE REPTILES ARROLLADOS EN DOS PRINCIPALES VÍAS RURALES QUE FRAGMENTAN EL ÁREA PROTEGIDA DE ENVIGADO, ENTRE MARZO Y JULIO DE 2018.

Familia de reptiles		El	Variante	Las	TOTAL
		Escobero	las Palmas	Palmas	
Colubridae	<i>Atractus sp.</i>	Serpiente	2		2
	<i>Dipsas sanctijoannis</i>	Caracol tropical	1		1
	<i>Chironius monticola</i>	El verdón	1		1
	Total, reptiles atropellados		2	2	0

Finalmente, los reptiles, que representan la categoría con menor incidencia de atropellamientos, con un total de cuatro registros y tres especies.

Ahora bien, para los tres grupos taxonómicos evaluadas la vía donde más se presentaron registro de atropellamiento de especies fue variante de palmas, además, que la categoría animal más afectada es la de los mamíferos teniendo un 55,81% del total de atropellamientos, seguidos por las aves con un 34,88%, por último, la especie que menos presentó registro de atropellamientos fue la reptilia como se puede observar en la fig. 7.

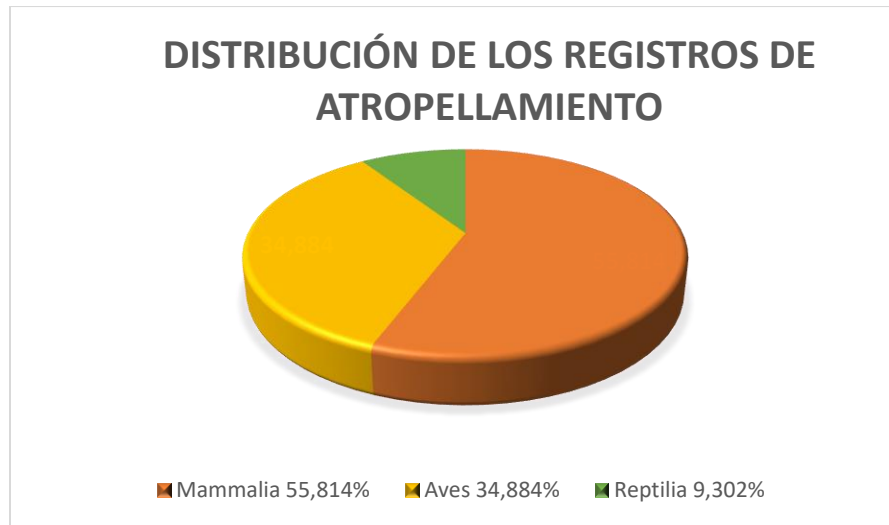


Fig. 7. Distribución por grupos taxonómicos de los registros de atropellamiento de fauna en tres principales vías entre marzo y julio del 2018.

Ahora bien, teniendo en cuenta que se realizaron un total de 47 recorridos o días entre marzo a julio, se calcula la tasa diaria de atropellamiento para cada una de las vías principales.

TABLA VII. CÁLCULO DE LA TASA DE ATROPELLAMIENTO POR VÍA.

Vía	TA (ind/km.día)
El escobero	0,034
Las palmas	0,025
Variante de palmas	0,052

Dado los resultados, se pudo determinar que la vía que presenta una mayor tasa de atropellamiento es la variante de palmas con 0,051 ind/(km*día).

B. Distribución espacial de los mamíferos

Por otra parte, también es fundamental comprender si la distribución espacial puede convertirse en un factor que influya en el atropellamiento de fauna, puesto que esta es la fracción que ocupan las especies dentro de un ecosistema o espacio geográfico, donde se presenta una interacción entre esa especie y el medio[57], y que, se puede ver alterado a causa de actividades humanas que se desarrollen dentro del ecosistema y por ende, también altere el comportamiento de la especie que se encuentre dentro de dicho ecosistema.

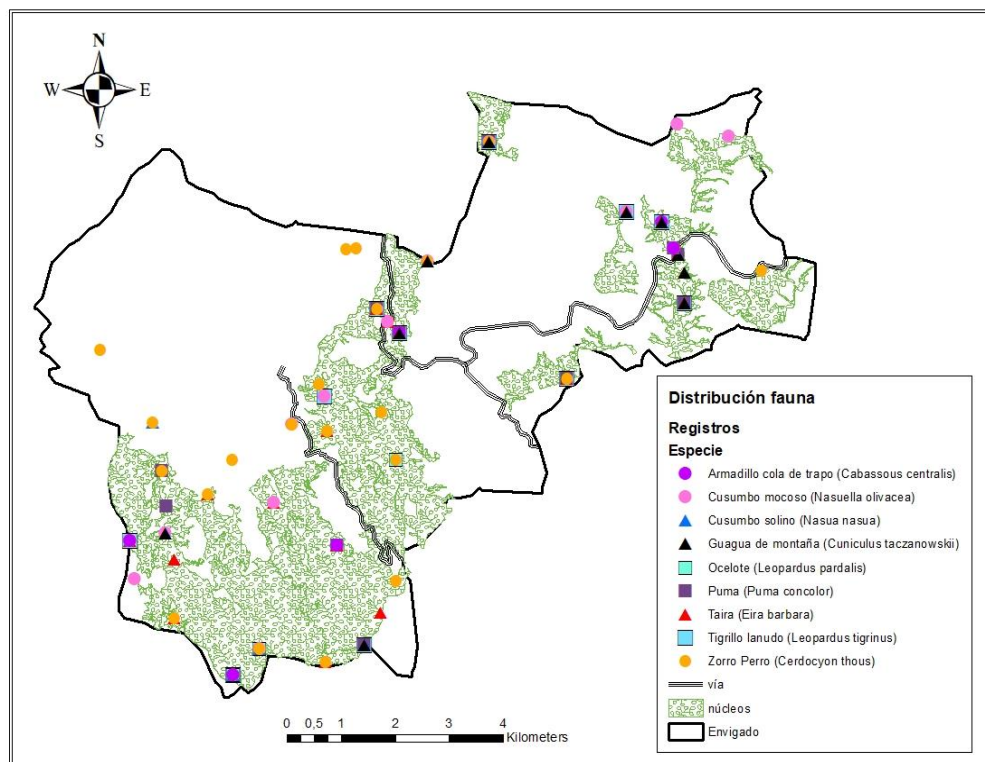


Fig. 8. Mapa de localización de especies faunísticas en el Municipio de Envigado.

La fig. 8 indica avistamiento de variedad de especies mamíferas, sin contar aquellas que no se tomaron en cuenta dentro de la distribución, puesto que por su comportamiento y número de individuos se registraron en todas las cámaras trampa, como es el caso de la zarigüeya común.

Adicionalmente, se realizaron ocho mapas de distribución a partir de la información que fue recolectada con la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario, con el fin de entender más a fondo la distribución local de algunos de los mamíferos que se presentan en esa zona y, su comportamiento en el entono en relación con el desplazamiento que efectúan dentro del área protegida.

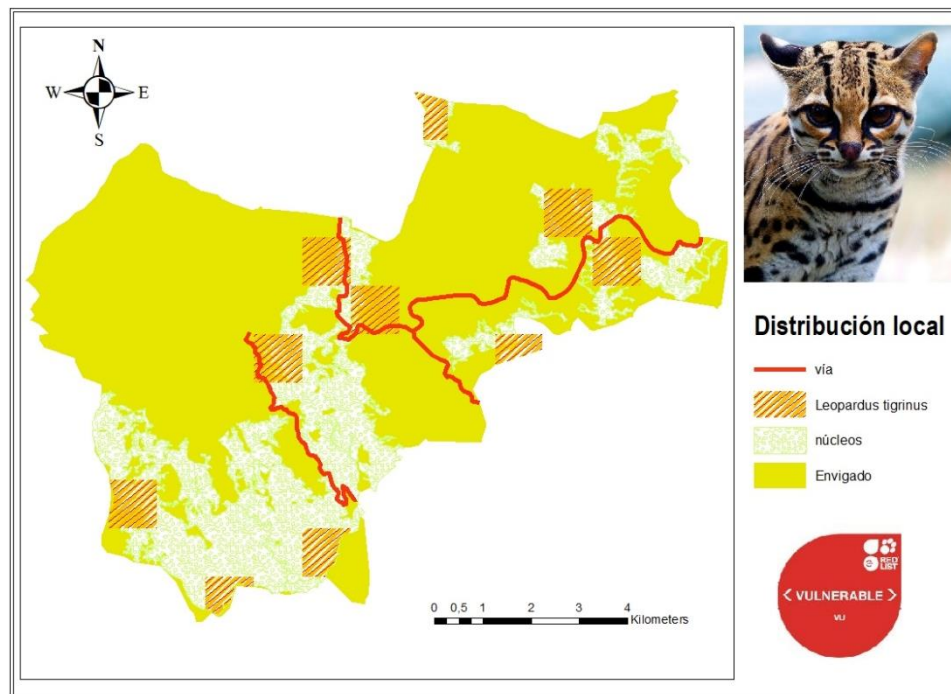


Fig. 9. Distribución espacial del Tigrillo Lanudo (*Leopardus tigrinus*) a escala local en el municipio de Envigado.

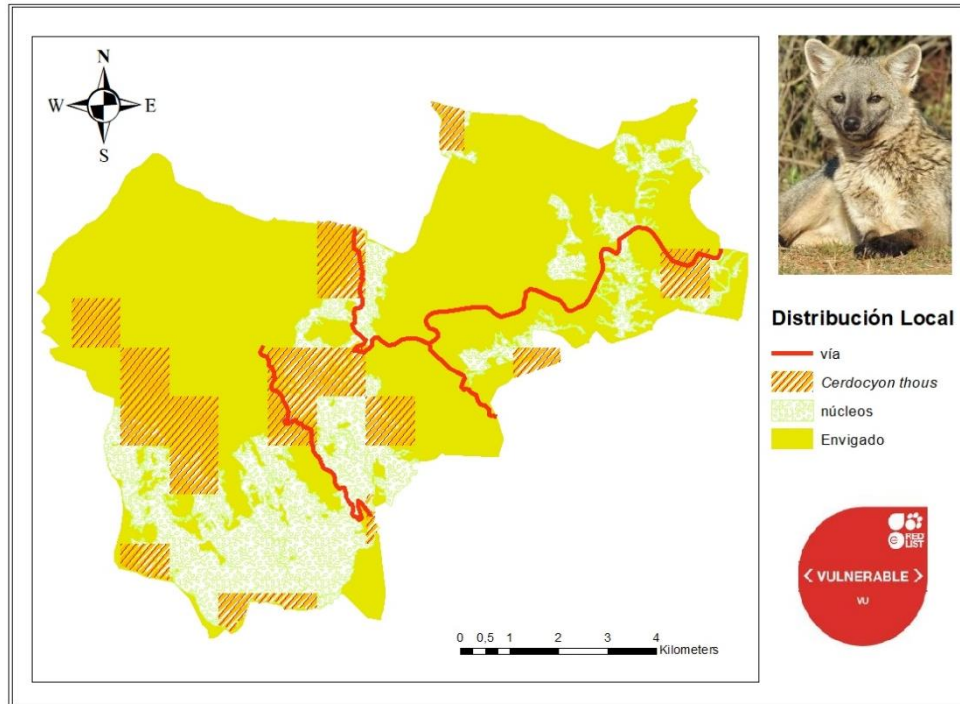


Fig. 10. Distribución espacial del zorro perro (*cerdocyon thous*) a escala local en el municipio de Envigado.

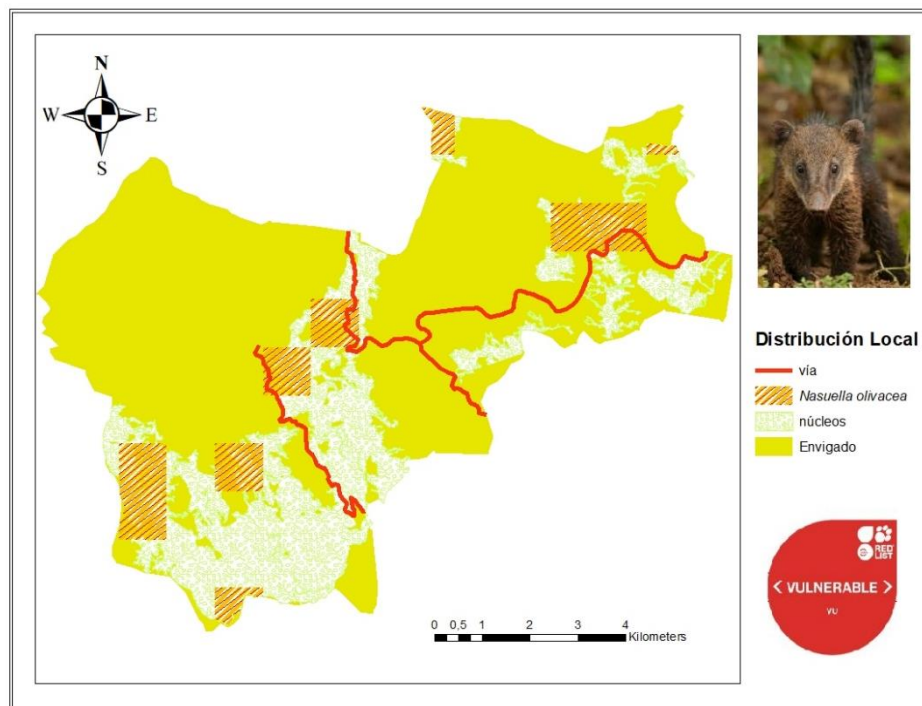


Fig. 11. Distribución espacial del cusumbo andino (*Nasuella olivacea*) a escala local en el municipio de Envigado.

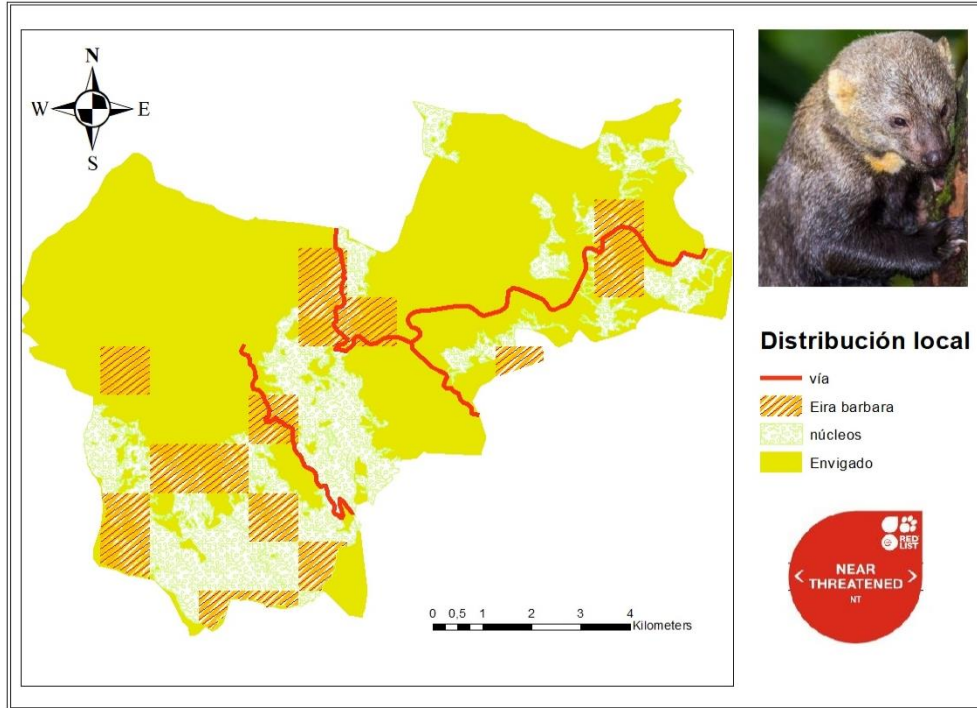


Fig. 12. Distribución espacial de la Tayra (*Eira barbara*) a escala local en el municipio de Envigado.

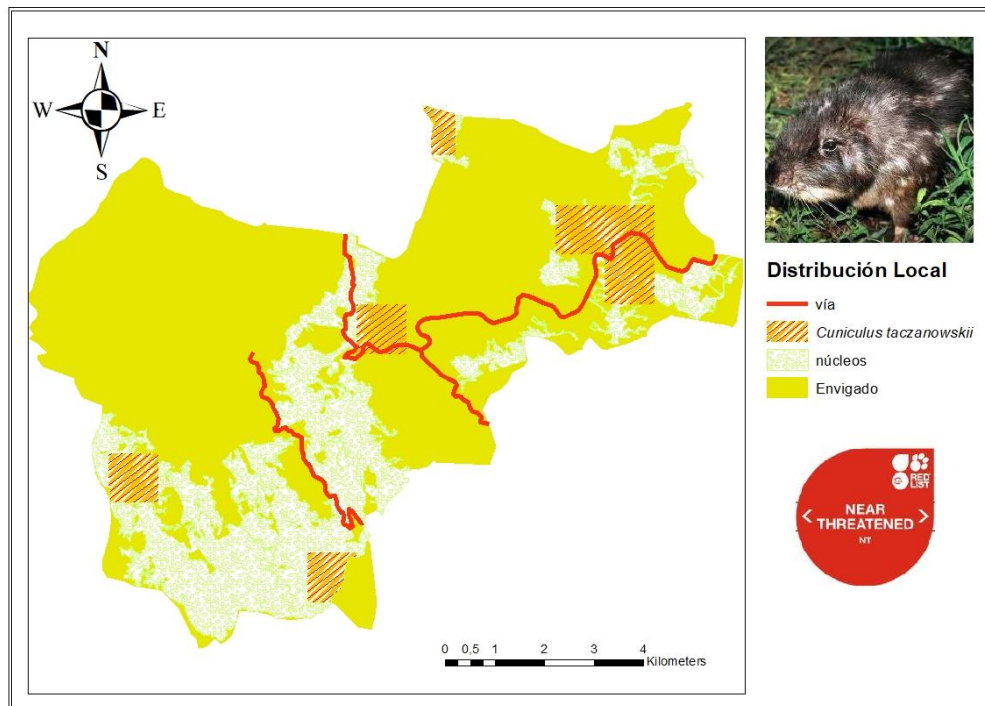


Fig. 13. Distribución espacial de la Guagua de montaña (*cuniculus taczanowskii*) a escala local en el municipio de Envigado.

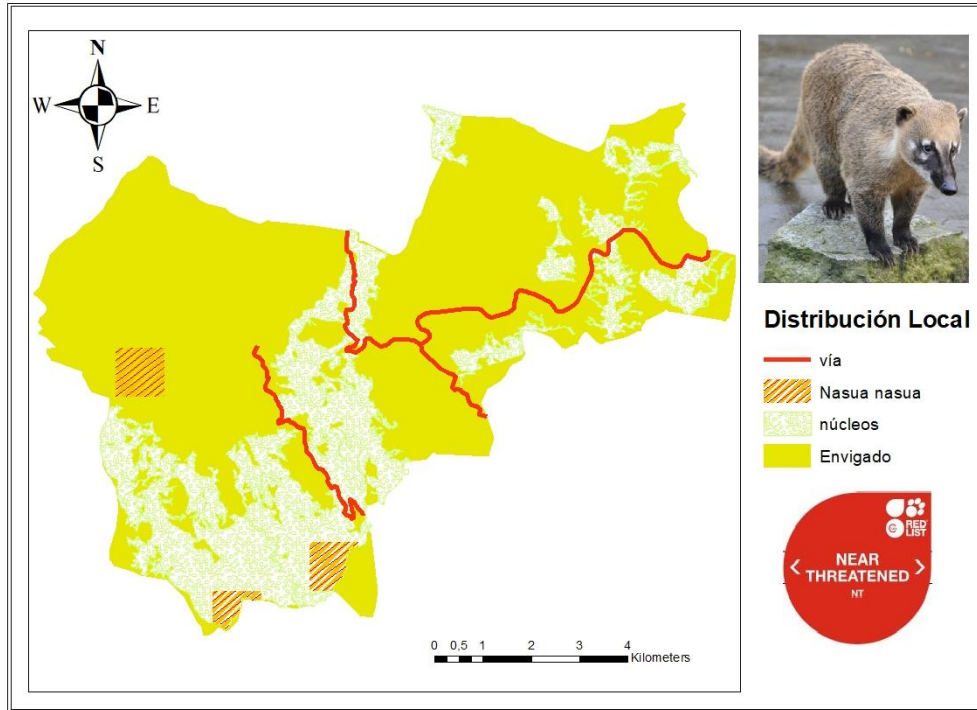


Fig. 14. Distribución espacial del Cusumbo solino (*Nasua nasua*) a escala local en el municipio de Envigado.

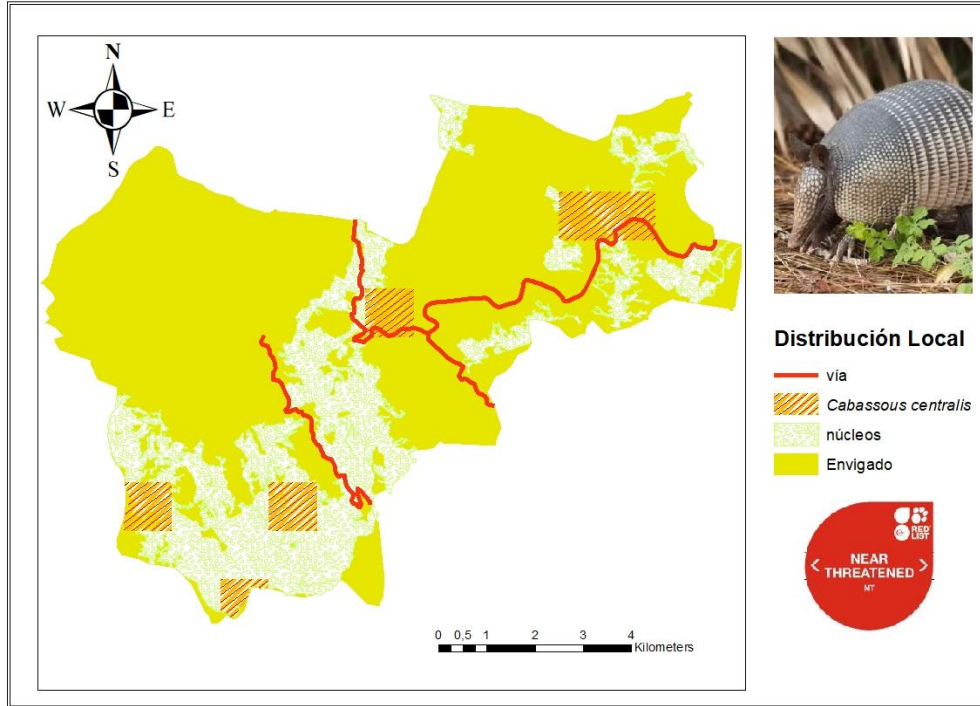


Fig. 15. Distribución espacial del Armadillo cola de trapo (*Cabassous centralis*) a escala local en el municipio de Envigado.

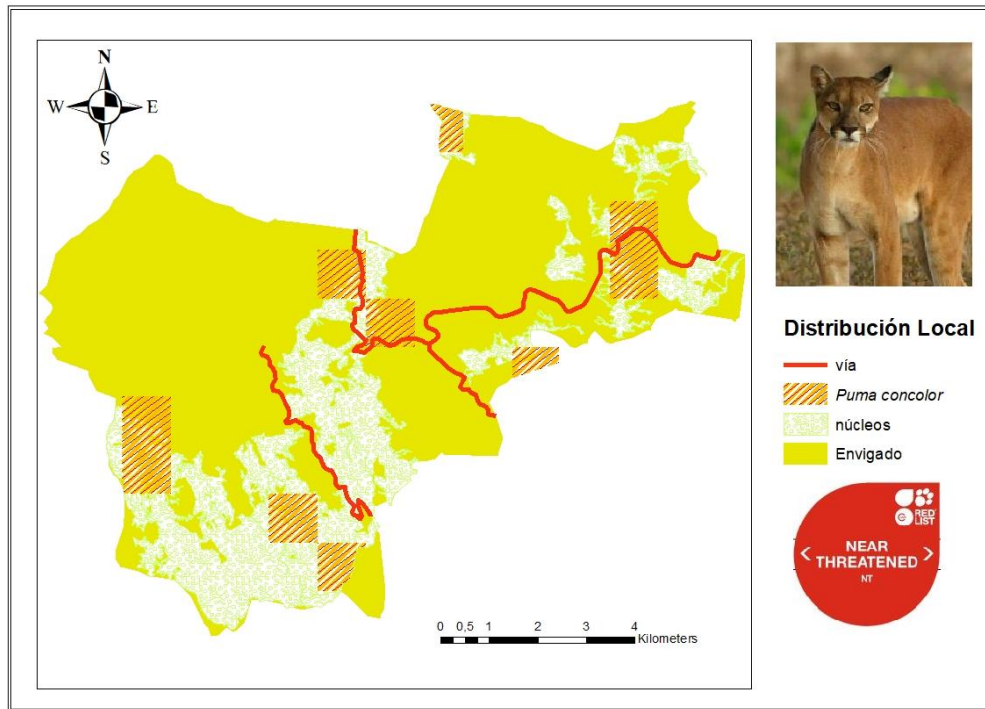


Fig. 16. Distribución espacial del puma (*puma concolor*) a escala local en el municipio de Envigado.

Con respecto a los registros de distribución individual de los mamíferos se puede afirmar que de las cámaras trampa ubicadas en la zona rural del municipio de Envigado capturaron presencia de la especie en cada uno de los núcleos de conservación.

C. Influencias socioambientales

1) Planificación territorial

Como se mencionada anteriormente, la cobertura vegetal también es un aspecto que puede llegar a influir en el atropellamiento de las especies, por ende, es necesario comprender los sucesos que han llevado a que se presente o no vegetación en la zona adyacente de las vías principales analizadas, puesto que en el acuerdo No. 010-2011, dentro de los componentes del suelo territorial tienen a la ruralidad del municipio como una opción para la parcelación para viviendas campestres como alternativas de ocupación[58], así pues, muchas constructoras han aprovechado esta opción y se ha presentado el aumento de este tipo de casas en el área, al punto de estar de manera contigua a los núcleos de conservación Reserva Nare y Bosques de Roble Perico y Pantanillo, que se encuentran fragmentados por la vía variante de palmas. Por otra parte, los núcleos de conservación restantes, que se encuentran entre las vías el escobero y variante de palmas se encuentran dentro de la categoría cobertura vegetal protectora, como se puede evidenciar en el siguiente mapa.

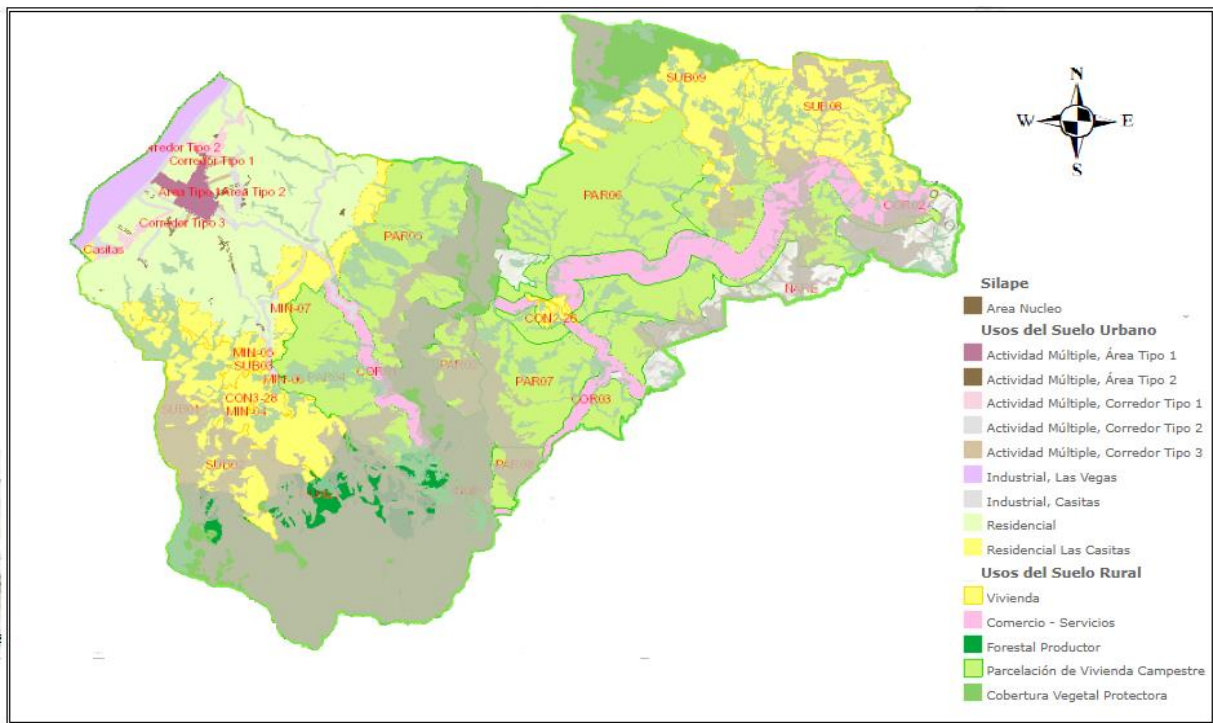


Fig. 17. Usos del suelo del municipio de Envigado con la capa de núcleos de conservación.

Fuente. Tomado y adaptado de MapGIS5

En el acuerdo No. 010-2011 anteriormente mencionado, se establece un plan de Ordenamiento desde el año 2011 hasta 2023, donde se planteó un modelo, que, según ellos, es pensado en la comunidad y que se basa en ajustar urbano de forma compacta, articulado con el suelo rural, evitando la conurbación de los Valles de Aburrá y de San Nicolás y buscando la preservación ambiental en el municipio, por eso, en el documento se propone consolidar el sistema de áreas protegidas municipal, que incluyera áreas de especial importancia.

No obstante, ese Plan de Ordenamiento Territorial presentó falencias y por consecuencia, molestias a los envigadeños, al punto de querer que se modificara con respecto a temas como usos del suelo, ocupación de la ladera para uso residencial, conservación y protección ambiental de los recursos naturales[59]. Se pretende que las modificaciones conlleven a proteger más la ruralidad y el medio ambiente, que a promover la construcción en la zona rural del municipio.

Ahora bien, el Plan de Desarrollo disponible a la fecha (2016-2019), se basa en “Vivir mejor, un compromiso con Envigado”, en este documento se plantea un urbanismo ecológico y sostenible que tenga una adaptabilidad al cambio climático, donde se reconoce que existe un problema de espacio público verde y pérdidas de coberturas naturales propias de la zona de vida, presentándose una insostenibilidad ambiental y territorial, que impacta sobre todo la flora y fauna que se presenta en ese municipio y que, a pesar de que se establece que los constructores deben buscar nuevas estrategias para un desarrollo ambiental responsable y sostenible [60] pero, no se presenta evidencia de esto, puesto que cada vez se presenta un mayor deterioro del medio ambiente y persiste la desconexión entre la población de especies y un crecimiento de infraestructuras en el área rural.

2) Teledetección

El crecimiento de infraestructuras se ha reconocido como la principal causa de la deforestación y como impulsor de la degradación forestal[61], causando pérdidas de hábitat y fragmentación, siendo una amenaza para la preservación de las especies de fauna y flora, y como se planteó anteriormente, han surgido varias problemáticas a raíz del Plan de Ordenamiento territorial con respecto a los usos del suelo, presentando un crecimiento estructural de manera desmedida en el área rural del municipio de Envigado, primando los intereses sociales, sin tener en cuenta los

posibles impactos ambientales negativos que trae este crecimiento entre ellos la reducción o degradación de la cobertura vegetal.

Es importante comprender el estado de las zonas verdes en el área rural puesto que es allí donde se encuentran ubicados los núcleos de conservación y es uno de los aspectos que puede llegar a influir en el atropellamiento, además muchas de las especies ubicadas en los núcleos son de comportamiento arbóreo.

A partir de la teledetección se puede identificar la situación en la que se encuentra el área rural del municipio de Envigado con respecto a su vegetación, dado que es de gran importancia conocer el estado en el que se encuentra la vegetación de los núcleos de conservación, puesto que, como se mencionó anteriormente, la cobertura vegetal es un factor importante para el desarrollo y comportamiento de la fauna que allí se encuentra.

Para conocer el estado de la cobertura vegetal en los núcleos, se inicia con la combinación de bandas 5,4,3, donde el resultado es una imagen aérea infrarrojo color, resultado muy útil para conocer las áreas donde se encuentra cobertura vegetal, la cual se refleja en diferentes tonalidades de rojo, dependiendo del estado en el que se halle [62], como se presenta a continuación.

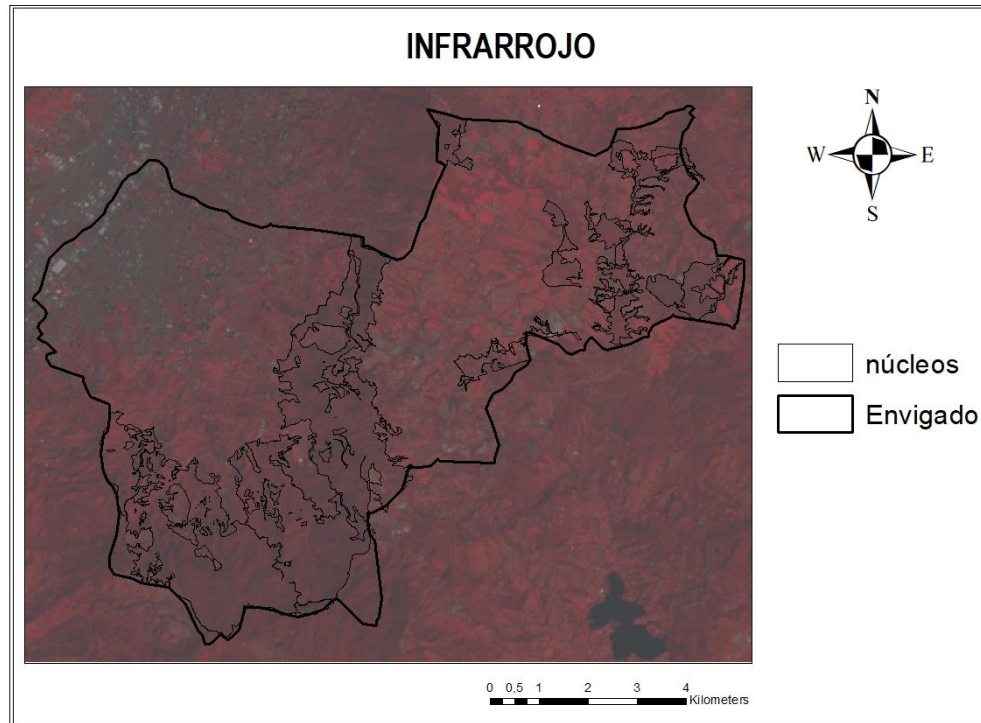


Fig. 18. Infrarrojo en el municipio de Envigado y núcleos de conservación.

De acuerdo con la fig. anterior, se puede deducir que el área rural aún contiene altos índices de vegetación, pero, la vegetación saludable solo es aquella que presenta un color rojizo brillante[62], por ende, se puede observar que es muy poca la que se encuentra presente en el municipio, y está distribuida en pequeños parches, donde actualmente ninguna de esta vegetación saludable se localiza dentro de los núcleos del área protegida.

De acuerdo con la fig. 17 de usos del suelo en el municipio de Envigado, la zona brillante pertenece a la categoría de parcelación de vivienda campestre.

Con ayuda de la calculadora geométrica del software Arcgis, se pudo estimar que alrededor de 368,2 ha de vegetación, es decir, 3,682 km², se hallan en estado saludable dentro del área de estudio. Convirtiéndose en una cifra preocupante, puesto que, como se mencionó anteriormente, el área rural son 65,95 km² y la vegetación es uno de los componentes más importantes en un ecosistema, dado que no solo ayuda con el equilibrio hidrológico, sino que la pérdida o degradación de la

cobertura vegetal afecta a la flora y hace que las especies emigren a otros lugares o que no se adapten a los cambios que generan la deforestación y terminen extinguiéndose a escala local [63].

A pesar de que el infrarrojo es una buena alternativa para conocer el estado de vegetación en el que se encuentra el área de estudio, es una forma de observar de una manera muy superficial, puesto que no se puede diferenciar los tipos de cobertura vegetal, por esta razón, se procede a realizar la composición de las bandas 5,6,2, dado que el resultado de esta composición de bandas refleja los tipos de coberturas vegetales que se pueden presentar [64].

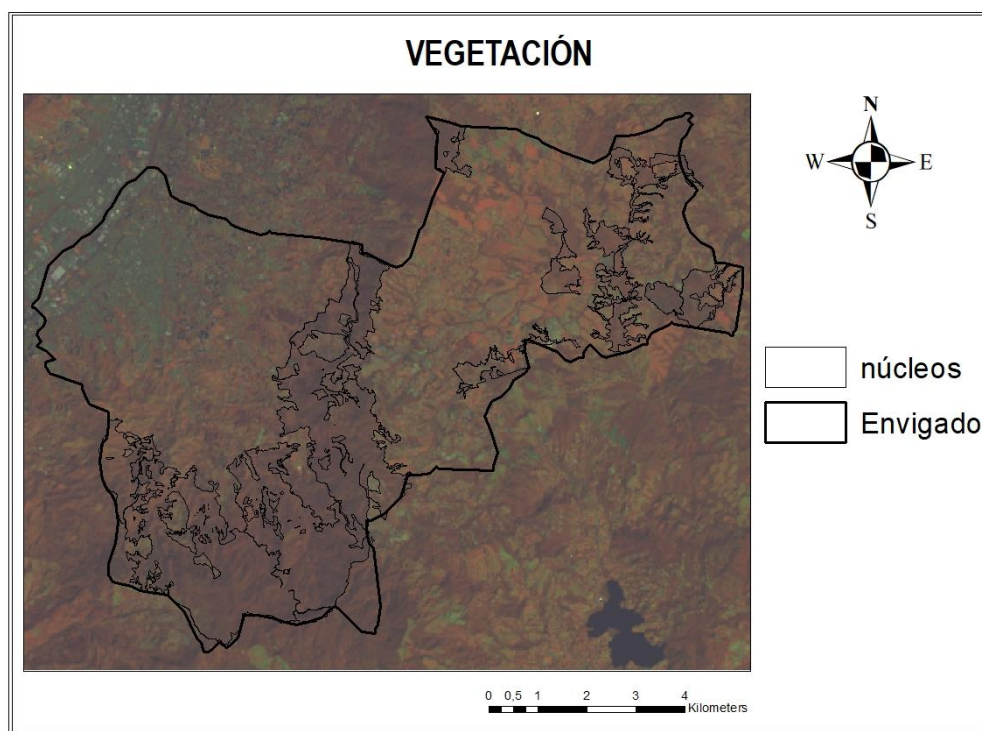


Fig. 19. Análisis de vegetación en el municipio de Envigado y núcleos de conservación.

Efectivamente se identifica que se posee variedad de cobertura vegetal, donde los núcleos de conservación se encuentran en rojo con una tonalidad muy oscura, indicando que hay presencia de bosque, por otra parte, en el resto del área rural presenta tonalidades naranjas y verdes, las tonalidades naranjas reflejan que hay gran cantidad de vegetación herbácea y cultivos [64], siendo un reflejo de las actividades económicas que se desarrollan en el área rural, dando que el área rural del municipio de Envigado se identifica gran producción agropecuaria, puesto que en total están

reportadas 433 unidades productivas que pertenecen a sectores como el lechero, morero, hortícola y piscícola, donde también se cuenta con huertas para el autoconsumo[60]. Por otra parte, las tonalidades de verde indican la ausencia de cobertura vegetal, derivado de la construcción de infraestructuras.

a) Índice normalizado diferencial de la vegetación

Para continuar con el análisis de uno de los factores que influyen en el atropellamiento de fauna como lo es la cobertura vegetal, se lleva a cabo por medio del índice normalizado diferencial de la vegetación (NDVI), puesto que sirve como un indicador de la degradación de los bosques mediante las imágenes satelitales[46], así pues, se convierte en una herramienta que permite realizar un comparativo de series temporales del estado de los bosques en el área rural del municipio de Envigado, llevando a cabo un análisis de los cambios en el área protegida,

Se empieza por la ejecución en el año 2013, dado que a partir de este es que inicia funcionamiento del satélite LANSAT-8, por ende, es el año más antiguo del que se poseen datos para realizar el comparativo, donde la realización del NDVI para el año 2013 es con el propósito de identificar el estado en el que se encontraban las zonas que posteriormente se convertirían en parte del Sistema Local de Áreas Protegidas de Envigado.

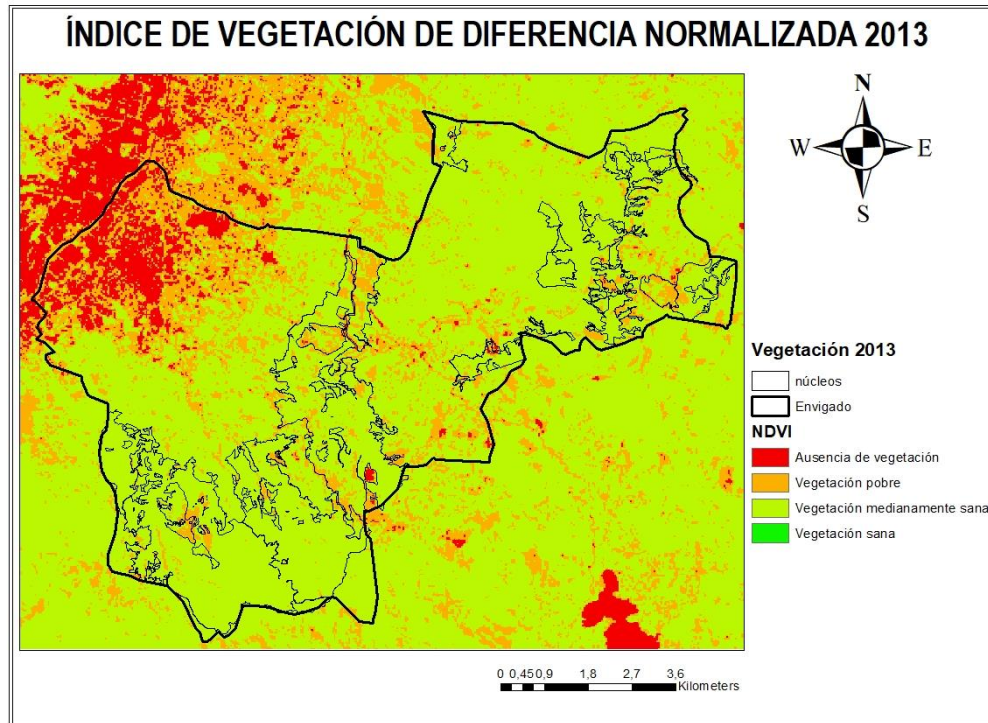


Fig. 20. Índice de vegetación de diferencia normalizada en el municipio de Envigado para el año 2013.

Como se puede observar en la fig. anterior, desde el año 2013 el municipio de Envigado ya no posee cobertura vegetal completamente sana, pero, para ese año se evidencia la presencia de vegetación en toda el área rural, abundando la vegetación medianamente sana, teniendo pequeñas zonas con vegetación en estado de deterioro.

Los núcleos de conservación suman en total 2271,79 ha, de las cuales a través de la calculadora geométrica del software se pudo determinar que 221,88 ha se encuentran en estado de vegetación deteriorada, es decir, para el año 2013 el 9,8% de las hectáreas de bosque en los núcleos. Aunque, para este año aún no se tenía consolidado el sistema de áreas protegidas en el municipio de Envigado, ya se estaban llevando a cabo proyectos que tenían como objetivo la conservación y preservación de la biodiversidad.

Para este año, a pesar de que ya se tiene un porcentaje de vegetación deteriorada del 9,8% no es un porcentaje relativamente alto, puesto que como se observa en la fig. 20, prima una vegetación medianamente sana en el área rural del municipio.

El siguiente NDVI ejecutado es el del año 2016, dado que para este año se aprueba el Sistema Local de Áreas Protegidas en el municipio de Envigado mediante el Acuerdo del Concejo Municipal 009 de 2016, definiendo las zonas donde se encuentran los núcleos para la conservación de la biodiversidad.

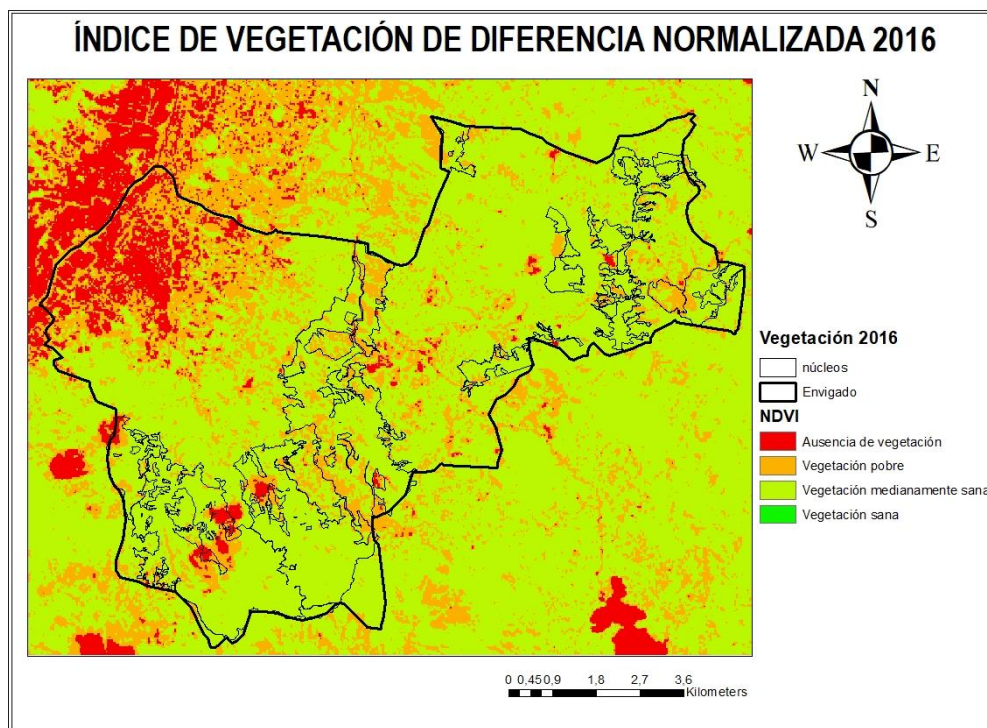


Fig. 21. Índice de vegetación de diferencia normalizada en el municipio de Envigado para el año 2016.

Como se citaba anteriormente, el NDVI indica la relación entre la energía que es emitida y absorbida por los objetos terrestres. En la imagen satelital se presentó nubes en el núcleo Corredor Regional de Tigrillo, reflejándose como área con ausencia de vegetación, por este motivo no se tuvo en cuenta estas áreas para el cálculo total de la degradación.

Ahora bien, a partir del cálculo realizado para determinar las hectáreas de vegetación en estado de degradación, se identificó que se presenta un aumento, puesto que para el año 2013 se determinó que 221,88 ha ya se encontraba en un estado de vegetación pobre, mientras que para el año 2016 aumentó a 320,16 ha, es decir, se presentó un aumento del 4,3%, además se observa un aumento también en las áreas adyacentes a los núcleos de conservación.

Para el año 2016, se reconoce que ya dentro del área rural se hace presencia de pequeños parches de color rojo, indicando que ya en esa zona no hay presencia vegetal, por ende, se determina que esa zona se ejecutó la construcción de infraestructuras cercanos al núcleo Escarpe.

Por último, se realiza el NDVI para el año 2020, con el fin de conocer el estado actual en el que se encuentra la cobertura vegetal de los núcleos de conservación.

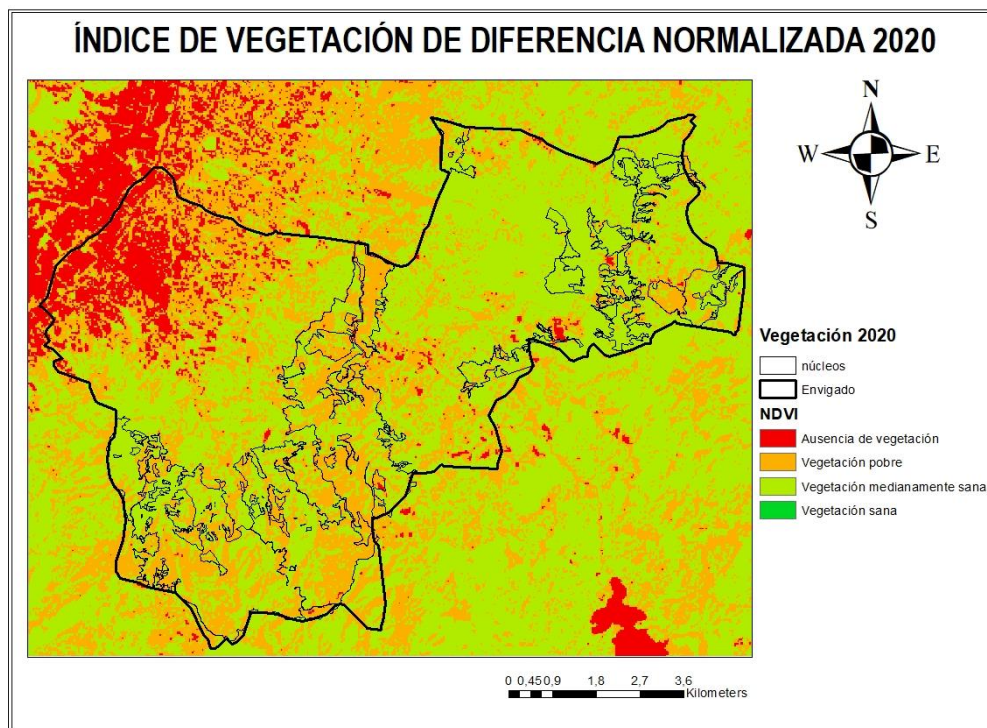


Fig. 22. Índice de vegetación de diferencia normalizada en el municipio de Envigado para el año 2020.

A simple vista se puede observar la transformación de la cobertura vegetal en toda el área rural del municipio de Envigado, puesto que se evidencia un aumento significativo de vegetación deteriorada, sobre todo en el núcleo Escarpe y Corredor del Tigrillo. Se calculó que actualmente 1003,84 de las 2271,79 ha de cobertura vegetal en los núcleos de conservación se encuentran en estado de deterioro, es decir, el 44,2% de la vegetación ya se encuentra deteriorada.

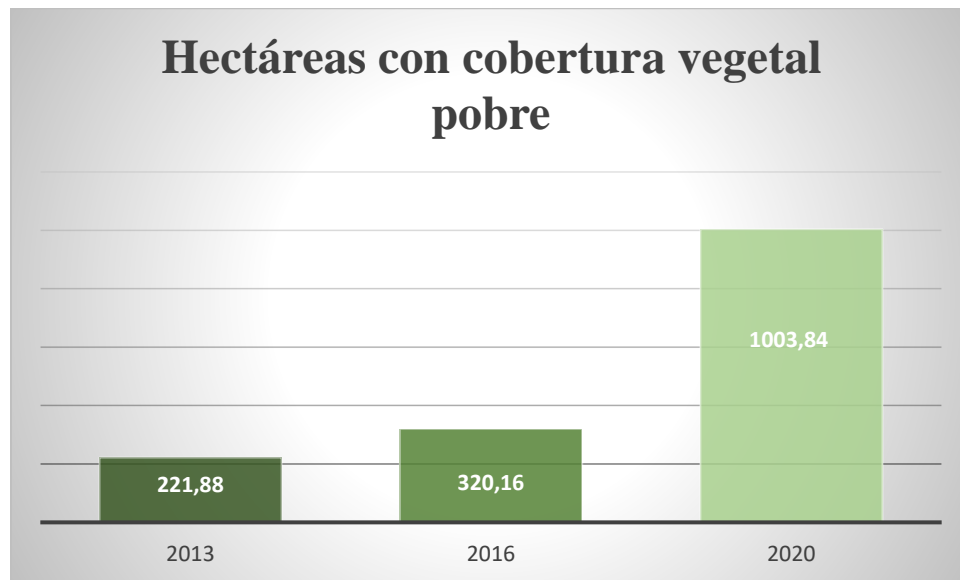


Fig. 23. Hectáreas de cobertura vegetal en categoría pobre en los tres años analizados.

Se presenta un aumento en el número de hectáreas que presentan una cobertura vegetal desmejorada, puesto que es evidente que al pasar de los años se ha aumentado el número de hectáreas que pertenecen a la categoría de “área con poca cobertura vegetal”, perdiendo así cobertura vegetal medianamente sana.

Con el número de hectáreas que se halladas que se encuentran desmejoradas se puede determinar la tasa anual de degradación en los bosques que conforman los núcleos de conservación.

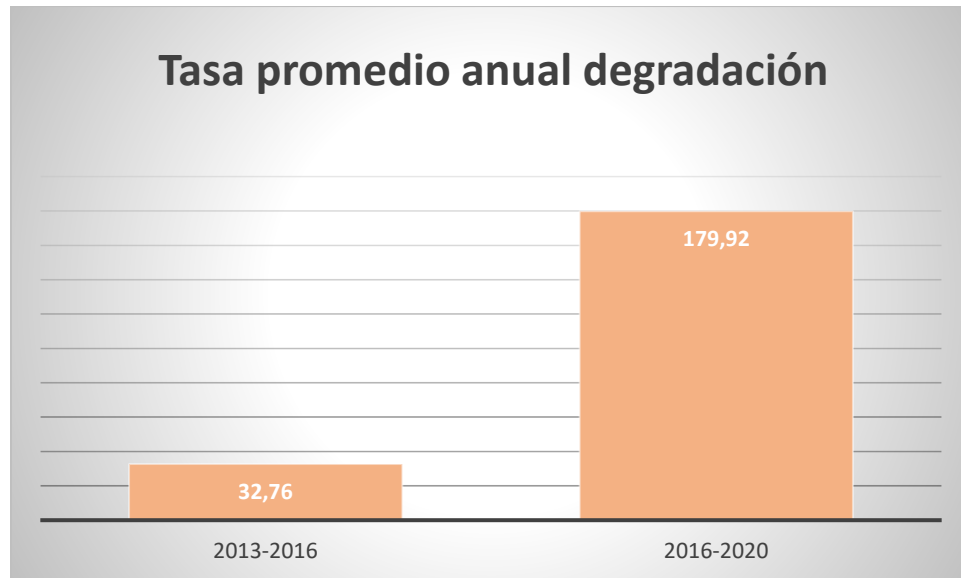


Fig. 24. Tasa promedio anual de degradación en hectáreas.

Con respecto a la fig. 24, se confirma que para los años posteriores al 2016 se presenta un mayor número de hectáreas en degradación.

3) *Medidas de mitigación*

A causa de los eventos de atropellamiento que se han estado presentando cerca a los núcleos de conservación, sobre todo a los que se encuentran limitantes con la vía variante de palmas, que es la que más registros de atropellamiento y que afectan a las poblaciones de fauna que se pretenden preservar, por ende, se deben implementar medidas que atenúen esta problemática.

Como primera solución o medio de mitigación al problema de atropellamiento y pérdida de conexión de las especies, es la implementación de pasos de fauna, debido a que representan un paso seguro para las especies a través de la vía, permitiendo una conexión entre los parches que se han formado a causa de dicha vía. Es una alternativa estructural que reduce muchas de las alteraciones ambientales causadas por la construcción de infraestructuras, en este caso, lo que se recomienda es aprovechar las estructuras ya existentes, que básicamente son unas ductos u obras hidráulicas subterráneas.

Como se mencionó anteriormente, son 14 las estructuras que se encuentran funcionales para ser utilizadas como pasos de fauna, a las cuales se les puede implementar las mejoras. A pesar de que están construidas más obras hidráulicas subterráneas, las demás quedaron descartadas debido a que no permiten realizar los cruces a los animales o no poseen relevancia de conectividad ecológica dado que no conectan núcleos de conservación o áreas con cobertura vegetal y, por el contrario, terminan dirigiendo a las especies a predios o zonas que presentan algún tipo de desarrollo social[52]. Pero, una vez implementadas las mejoras en aquellas que requieren menos trabajo, se pueden llegar a mejorar las demás estructuras, dado que requiere una mayor inversión de dinero.

A continuación, se puede observar la ubicación de las estructuras hidráulicas subterráneas que se encuentran en estado factible de posibles implementaciones de mejora en la vía variante de palmas.

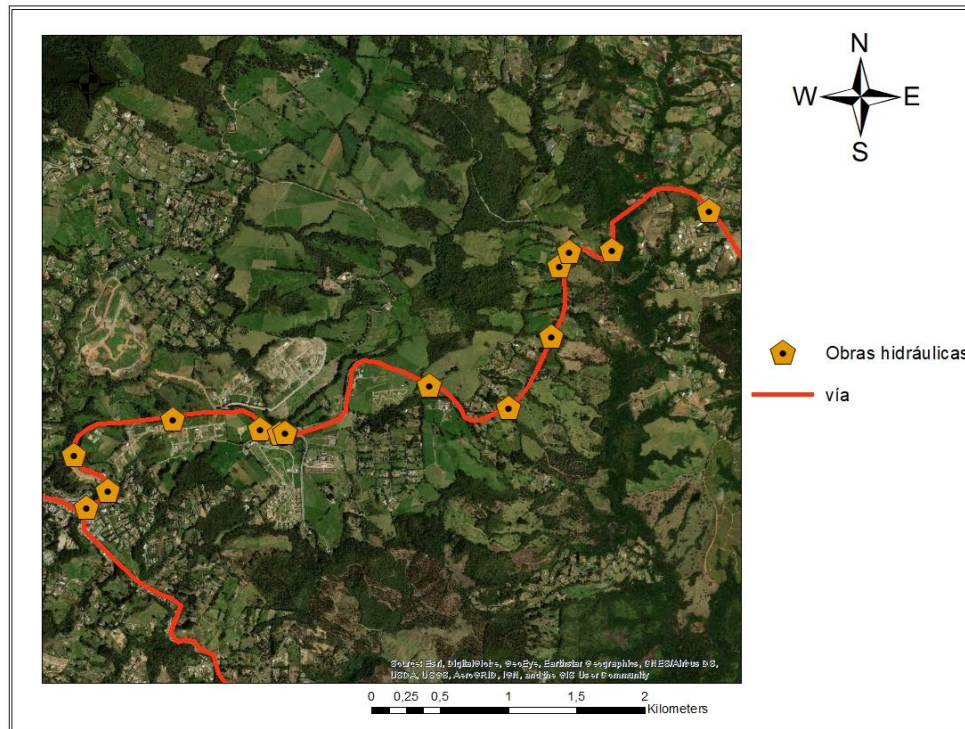


Fig. 25. Ubicación de las obras hidráulicas viables en la vía variante de palmas

Muchas de las obras hidráulicas que se observan en la fig. 25, quedan cercanas a trayectos donde se registran sucesos de atropellamiento, como se observa en la siguiente figura.

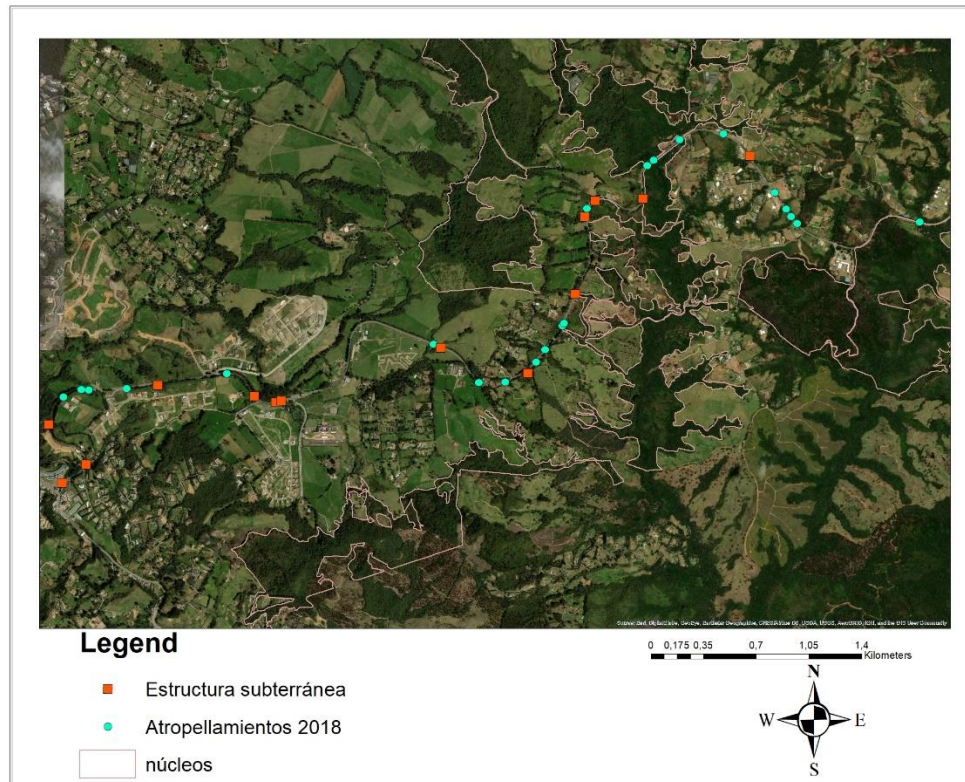


Fig. 26. Ubicación de las obras hidráulicas con los registros de atropellamiento del año 2018.

Por lo anterior, se realizó la evaluación de 2 de las 14 obras funcionales que se encuentran ubicadas en la vía variante de palmas, donde puedo determinar que poseen una altura de alrededor de 1,5 metros y una longitud de 11 metros.



Fig. 27. Obra hidráulica tipo drenaje ubicada en la vía variante de palmas.



Fig. 28. Obra hidráulica tipo “box culvert” ubicada en la variante de palmas.

Esta alternativa de obras hidráulicas como pasos de fauna podría ir enlazada con otras medidas de mitigación como el cambio en el sistema de cercado que se tiene a un lado de la vía Variante de

Palmas, debido a que las que se tienen actualmente permiten el cruce de los pequeños mamíferos a través de la vía y es allí donde terminan siendo arrollados por los vehículos.



Fig. 29. Sistema de cercado actual en la vía variante de palmas

Nota: Fuente. Tomado y adaptado de la herramienta Google Earth.

4) *corredores biológicos en zona rural del municipio*

Hoy en día, la Secretaría de Medio Ambiente de Envigado y Desarrollo Agropecuario, en su compromiso por mantener la conectividad de sus especies entre los núcleos de conservación, estableció una serie de corredores biológicos que faciliten el desplazamiento de las especies, disminuyendo la posibilidad que terminen en predios o parcelaciones que se encuentran cercanos a estos núcleos de conservación.

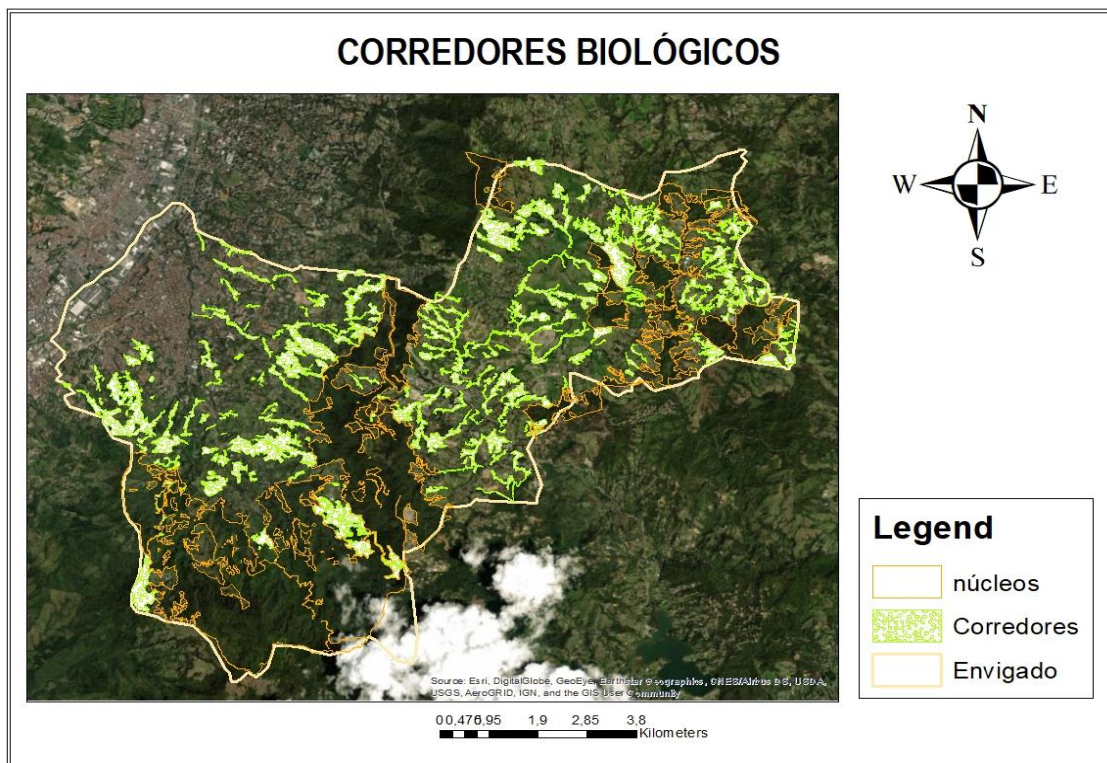


Fig. 30. Ubicación de los corredores biológicos en el municipio de Envigado que conectan las áreas de conservación

A partir de la fig. 30, se pueden identificar los corredores biológicos adyacentes a los núcleos de conservación, donde se determinó que conforman un total de 974,39 ha del área del municipio de Envigado. Algunos de los parches están incluso muy cerca de la zona urbana del municipio.

Se puede observar que gran parte de la zona rural del municipio de Envigado está destinada a corredores biológicos, permitiendo el desplazamiento y migración de la fauna de una zona núcleo a otra.

5) *Análisis de resultados*

Con respecto a la vía se puede afirmar que la variante de Palmas en comparación con las otras dos, posiblemente presenta un mayor flujo vehicular, puesto que se han presentado problemas por el alto flujo vehicular, donde muchas veces supera la capacidad que tiene esa vía presentándose grandes trancones, puesto que es de gran importancia para la región, al permitir la conexión de manera rápida del Valle de Aburrá con el Aeropuerto Internacional José María Córdova, además de dar acceso a los nuevos predios, condominios y el comercio que se han construido en los últimos años alrededor de esta vía.

El índice de atropellamiento también se puede ver influenciado por la velocidad permitida en la vía, y aunque para ninguna de las tres vías se permite el desplazamiento a altas velocidades, puesto que solo se permite un máximo de 40 km/hora en las zonas donde se registraron los atropellamientos, se deduce entonces que las personas no siguen este parámetro de velocidad establecido, dado que si transitaran a una velocidad menor o igual a 40 km/hora no se evidenciarían este número de atropellamientos sino una cifra menor, puesto que al circular a esta velocidad podría observarse la especie que transita por la vía en el día y el conductor reaccionaría y se evitaría la colisión con dicha especie.

A partir de la fig. 7, se puede afirmar que la mayor diversidad de mamíferos se presenta en el Corredor Regional del Tigrillo, cerca de la vía El Escobero, pero, es un área núcleo que posee grandes hectáreas de bosque que no se encuentran tan fragmentadas en comparación con las demás, así que las especies tienen más zonas boscosas donde pueden realizar su desplazamiento por demanda de comida o reproducción sexual sin exponerse a cruzar las vías, mientras que en las áreas núcleo Bosque del Roble Perico y Pantanillo y la Reserva Nare poseen hectáreas de bosque menores, así que las especies que albergan estos núcleos son más propensas a terminar en las vías al realizar su desplazamiento.

De acuerdo con lo obtenido en los mapas, se puede afirmar que los animales que se encuentran asentados en el área protegida tienen una amplia distribución en todos los núcleos de conservación, mostrando que se necesitan alternativas que faciliten la conexión entre estas, para que permitan la movilización disminuyendo el riesgo de que crucen las vías y terminen siendo víctimas de atropellamiento.

En el análisis realizado al Plan de Ordenamiento Territorial, se establece que se debe promover un desarrollo sostenible en el municipio, pero en realidad lo que se tiene es un desarrollo humano, donde lo único que se pretende es mejorar la calidad de vida de los habitantes de este municipio y una busca del progreso económico, sin evaluar los impactos que puede causar en el contexto ambiental sin una adecuada planificación, causando así impactos negativos en el medio ambiente.

Ahora bien, la mayor pérdida de cobertura vegetal se evidencia en los años posteriores a la declaración de esos terrenos como núcleos de conservación, es decir, para el año 2016 se presenta un aumento de un 14,2% de hectáreas deterioradas a un 44,2%. Así pues, en un lapso de tiempo de cuatro años, se presenta un incremento de cobertura deteriorada en un 30%.

Por lo anterior, es importante que la cobertura vegetal en las áreas protegidas se encuentre lo más sana posible, incluyendo las zonas más próximas a estas, puesto que, como se mencionó anteriormente, el efecto borde es una de las consecuencias negativas que resultan de tener un ecosistema fragmentado por las carreteras, presentando una modificación en la distribución de las especies y la abundancia de estas, cambiando también la estructura vegetal y, que puede llegar a disminuir la disponibilidad de alimento para muchas de las especies que se encuentran allí establecidas, por tal razón las especies tienen que desplazarse a buscar alimento en otras zonas y que terminen exponiéndose a ser atropelladas.

Según lo medido, las estructuras subterráneas tienen el suficiente espacio para que pasen las especies faunísticas sin restricción alguna, debido a que muchos de los mamíferos que habitan estas zonas no poseen grandes tamaños, pero se deben mejorar varias condiciones estructurales para facilitar el desplazamiento de las especies y que así aumenten el número de cruces y abstengan en lo posible en realizar dichos cruces por la vía.

Debido a que, en época de lluvias, llega caudal al interior de algunas de las obras hidráulicas, para aquellas que presenten este problema se debe asegurar la instalación de un buen drenaje en el extremo por donde llega la escorrentía, esto con el fin de evitar que el paso se inunde ya que esto puede dificultar el paso de las especies.

Otra opción para esta problemática es la construcción de plataformas en los laterales, puesto que estos ductos requieren la construcción de una zona seca, para facilitar los cruces a la fauna. Al momento de construir la plataforma, esta debe terminar en rampas de acceso que conecten el interior de la estructura con el terreno, se debe tener en cuenta que por la altura de la estructura las rampas no deben tener una gran altura, puesto que puede llegar a disminuir su funcionalidad, dificultado el cruce de la especie.

Existen distintas secciones transversales, por ende, se debe hacer una previa evaluación de cuál de ellas sería la opción más viable para construir.

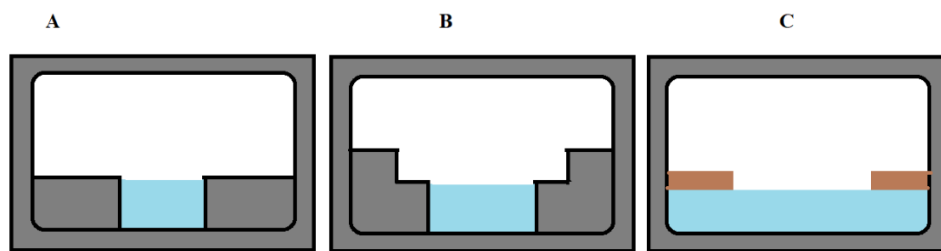


Fig. 31. Tipos de secciones transversales de drenajes que permite el paso de animales de forma seca. (A) Plataforma convencional que puede ser construida de diversas alturas. (B) Se construye esta plataforma donde se tengan variaciones del nivel del agua. (C) Se construyen de manera elevada, permitiendo el paso del agua por toda la zona inferior de la estructura.

Se realiza el siguiente boceto con una de las secciones transversales observadas en la fig. 31, con el fin de observar de manera más clara la implementación de las zonas secas dentro del ducto para facilitar el cruce de la fauna de forma seca, como se aprecia en la fig. 32.



Fig. 32. Boceto de implementación de plataforma convencional que permite la realización de un cruce de manera seca para la fauna.

A partir de la evaluación del ducto, se observa que es una estructura que se encuentra pavimentada, por lo tanto, se debe recubrir con sustrato natural en las entradas, de la misma especie de flora que posee el área, con el fin de que no se presente un cambio abrupto visual para las especies de fauna. La revegetación solo se puede en los tramos más próximos a los extremos, debido a que en el centro no posee las condiciones adecuadas para subsistir.

Realizar una evaluación del nivel de ruido y vibraciones dentro de la obra hidráulica que llegan derivados del tráfico vehicular, con el fin de que no sobrepase los límites que pueden tolerar las especies de fauna, ya que estos se podrían convertir en limitantes a la hora de la realización del cruce, dado que el ruido influye con el comportamiento y habilidades de los animales y a menudo es percibido como una amenaza [65].

Otro aspecto a mejorar es la zona que conecta el terreno adyacente con la estructura, debido a que se presentan una serie de escalones como se puede identificar en la fig. 33, donde se pueden

dificultar el desplazamiento de los animales menos ágiles o que por su tamaño y el tamaño de sus patas se podría presentar algún tipo de dificultad.



Fig. 33. Escala adyacente a una de las obras hidráulicas construidas en cemento.

Por lo mencionado anteriormente, se debe realizar una reconstrucción para disminuir su altura, y evitar la exposición del material, instalando piedras, troncos o ramas secas.

Para el problema del cercado en los laterales de la vía variante de palmas, se sugiere la implementación de un vallado perimetral, en este caso se podría reemplazar la que se tiene actualmente por una malla de alambre de 2x2 o 4x4 cm, la cual se debe instalar en los laterales de la vía y enterrada varios centímetros bajo la tierra, con el fin de evitar que se presente una excavación por parte de especies que posean esta habilidad. Por otra parte, se debe tener presente que la instalación de este cerramiento solo se realiza si anteriormente se les realizaron las adecuaciones necesarias a las estructuras subterráneas como pasos de fauna, con el fin de no perder la conexión que se tiene entre las metapoblaciones y las especies se puedan desplazar a través de

los núcleos, puesto que una valla perimetral sin una estructura que conecte las zonas fragmentadas, causaría un aislamiento definitivo entre las pequeñas poblaciones.



Fig. 34. Mallas de alambre implementadas en Europa para evitar el cruce de animales a través de las carreteras.

Fuente. Tomado y adaptado de [16]

Con base en la figura anterior, se puede determinar que una malla eslabonada es un material viable para el cambio de mallado que se tiene actualmente en los alrededores de la vía variante de palmas, la cual está fabricada en alambre galvanizado por ende, no se deteriora a los cambios meteorológicos que se pueda presentar, puesto que es un material resistente a la oxidación, que está diseñada para la separación y protección de espacios sin presentar afectaciones a la visibilidad de los paisajes [66].

Actualmente, en el mercado colombiano venden gran variedad de mallas eslabonadas, para este caso, una de 1,8 metros de ancho y 10 metros de largo se podría implementar para evitar que los animales crucen por la vía. Una malla de este tipo generalmente está constando alrededor de \$185.000 los 10 metros, así pues, para los 9,2 km que constituyen a la vía variante de palmas constaría \$340.400.000 para cambiar el enmallado de toda la vía, el cual podría ser incluido como

un proyecto en un próximo plan de desarrollo, al no tener un costo desbordado si se compara con el presupuesto que se destinó en el último plan actual disponible para programas ambientales.



Fig. 35. bosquejo de la implementación de la malla eslabonada en los extremos de la vía variante de palmas.

Nota: Fuente. Tomado y adaptado de la herramienta Google Earth.

En la fig. 35, se puede observar cómo quedaría la implementación de una malla eslabonada, y que, por su estructura y material, disminuiría el cruce de las especies a través de la vía.

Con respecto a los corredores biológicos, se ejecuta una proyección más acercada a los corredores que se encuentran adyacentes a la vía con mayor índice de atropellamiento, donde se puede apreciar que algunos presentan una distribución discontinua como se aprecia en la figura 36, es decir, se presentan parches de diferentes tamaños, obteniendo como resultado 305 fragmentos que forman los corredores biológicos del municipio de Envigado algunos de ellos sin conexión entre sí, donde posiblemente, se disminuye la efectividad que poseen estos corredores, dado que parte de los corredores también se encuentran fragmentados por la vía, generando el desplazamiento de las especies por medio de la vía.

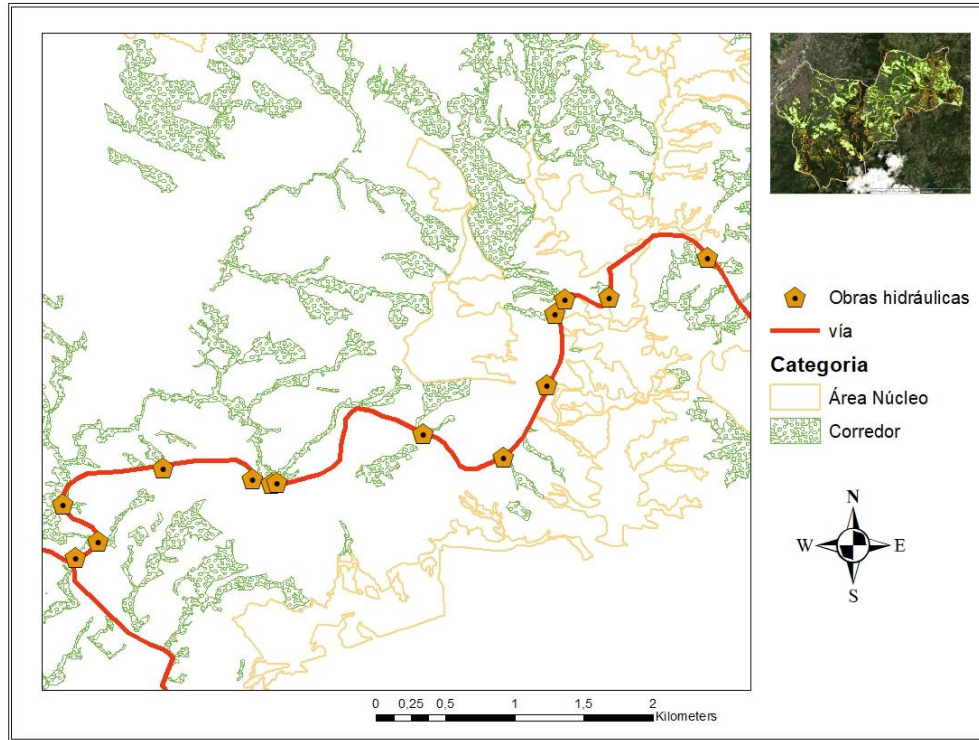


Fig. 36. Ampliación de los corredores biológicos que se encuentran adyacentes a la vía variante de palmas.

El mejoramiento de las obras hidráulicas también es una alternativa que posiblemente mejoraría el funcionamiento de los corredores biológicos, puesto que permite la conexión de algunos de los fragmentos que se encuentran adyacentes a la vía, permitiendo así el desplazamiento de manera más segura hacia otros núcleos de conservación.

XI. DISCUSIÓN

Las especies de mamíferos se consideran las más afectadas por las carreteras, puesto que es la clasificación taxonómica que más presenta víctimas alrededor del mundo[67], debido a que la mayoría de mamíferos presentan alto desplazamiento dentro del territorio donde se encuentren establecidos, por ende, requieren grandes extensiones de terreno para realizar sus conductas de manera usual, como lo es cazar y buscar pareja dentro del mismo territorio[68], y al terreno presentar tanta intervenciones como en las que se encuentra en área rural del municipio de Envigado, evidenciándose la fragmentación entre cada núcleo, al llevar a cabo el desplazamiento de un núcleo a otro por parte de los mamíferos, muchos de ellos terminan encontrándose con las principales vías y colisionando con vehículos.

La especie más atropellada fue la zarigüeya común (*didelphis marsupialis*) con el 41,67% del total de las especies de mamíferos, la cual se reporta como una especie de frecuente atropellamiento en las carreteras de Antioquia[69], puesto que es un marsupial que presenta gran capacidad adaptativa para asentamientos humanos, volviéndose más susceptible a los atropellamientos, además de tener hábitos nocturnos y no ser de gran tamaño, no son muy detectables al momento de realizar los cruces en las carreteras [26]. Pero, a pesar de que, según la IUCN, no se encuentra en estado de amenaza, puesto que se encuentra en la categoría de preocupación menor (LC)[70], es importante implementar medidas que pueda reducir su atropellamiento, para que no entre en una categoría más alta de amenaza, debido a que cumplen una función ecológica importante dentro de su hábitat, puesto que son controladores de plagas entre las cuales están los insectos, culebras y aves, además ayudan a la dispersión de semillas [71].

Las causas de la colisión de las aves con los vehículos en estas tres vías se pueden relacionar con la concentración de vegetación arbórea que se presenta limitante con estas vías y de la deforestación que se ha presentado en las áreas de conservación que generan el desplazamiento de estas especies.

Por otra parte, los registros presentados en la categoría de reptiles todos hacen parte de la familia colubridae, puesto que el comportamiento que poseen de termorregulación hace que se sientan atraídas a la superficie de las carreteras, causando su atropellamiento [72].

La vía variante de palmas fue la que presentó una mayor tasa de atropellamientos del 0,051 ind/(km*día), al ser comparado con otras tasas de atropellamiento realizadas en Colombia, se puede afirmar que el resultado obtenido es bajo, puesto que, las tasas de atropellamiento encontradas son superiores al 0,1 ind/(km*día), con la diferencia que las otras tasas de atropellamiento fueron realizadas para segmentos de una sola carretera[73][7]. Por otro lado, no siempre resultó ser menor, puesto que al ser comparada con una tasa de atropellamiento ejecutada en Argentina (0,037 ind/(km*día)), resultó ser mayor [10].

Con respecto a las distribuciones de las especies en el área rural del municipio de envigado se pudo determinar que, a pesar de que en la vía variante de palmas no se concentra la mayor cantidad de mamíferos, pero es donde más se presentan casos de atropellamiento de este grupo taxonómico, puesto que las áreas adyacentes a esta vida se encuentran muy reducidas y más fragmentadas que las del Corredor Regional del Tigrillo, y las conductas de los mamíferos, como la búsqueda de alimento, reproducción y apareamiento, hace que se desplacen de un parche a otro, y en ese intento de desplazo terminan siendo arrollados [74].

La importancia de disminuir el número de especies atropelladas, radica en que este tipo de amenazas pueden disminuir el número de individuos, tomándose en consideración que el tigrillo lanudo (*leopardus tigrinus*) se encuentra en estado vulnerable (VU)[75], cusumbo mocososo (*nasuella olivacea*) en estado de casi amenazado (NT)[76], al igual que la guagua de montaña (*cuniculus taczanowskii*), por ende, se debe estar atento a esta problemática para no llegar a la extinción local de las especies más vulnerables.

Los resultados obtenidos a partir de la ejecución del NDVI indican que a lo largo del tiempo los núcleos de conservación presentan un deterioro vegetal progresivo, puesto que para el año 2013 solo se tenía un 9,8% de deterioro y actualmente se presenta un deterioro del 44,2% del total de la cobertura vegetal, debido a que se presentan sucesos que causan la degradación de la cobertura vegetal en estas áreas de conservación, como el ingreso de semovientes provenientes de zonas adyacentes dedicadas a actividades pecuarias, además de que se han presentado actividades de tala y rocería [52].

Igualmente, el aumento del cambio climático que se viene evidenciando, está causando la degradación y muerte de bosques en numerosas partes del mundo, resultado de altas temperaturas, y a su vez, esta degradación causa un aumento del cambio climático, creando un vínculo vicioso [77], donde Colombia no es la excepción a esta problemática, puesto que se presentan afectaciones a sus unidades bioclimáticas, además de causar disminución de los ecosistemas, lo cual también se ve contribuido por las actividades agropecuarias [78].

Los bosques son contenedores y generadores de vida, y a su vez son los más amenazados [79], y los que constituyen a las zonas núcleo del área protegida del municipio de Envigado no son la excepción, puesto que albergan gran variedad de animales, pero dadas las problemáticas mencionadas anteriormente que se han estado manifestado en los últimos años, hacen que la calidad de vida de los animales que allí se encuentran, sobre todo para aquellas de comportamiento arborícola, es decir, viven y se desplazan en los árboles[80] y que, al ver la reducción de su hábitat y posible escases de alimento, se trasladan en busca de este y terminan es en las vías.

Por otra parte, la reducción o degradación de la cobertura vegetal despoja a los bosques de su capacidad de bloquear los rayos solares durante el día y mantienen el calor durante la noche, ocasionando cambios de temperatura extremos que pueden ser nocivos para las plantas o animales [81].

El desarrollo rural presenta diversas afectaciones a los núcleos de conservación que se encuentran aledaños, donde el impacto que más fácil se evidencia es los atropellamientos a la fauna silvestre y, para que las especies se adapten pueden pasar meses, incluso años, esto depende de cada especie, aprendizaje y el comportamiento de estas frente a los pasos de fauna [82], por lo tanto, realizar modificaciones permite que el proceso de adaptación no se dificulte en un grado mayor, por el contrario, las obras hidráulicas resulten ser más atractivas para las especies y realicen los cruces sin presentar mayores dificultades.

Con respecto a la vía se puede afirmar que variante de palmas en comparación con las otras dos, posiblemente presenta un mayor flujo vehicular, puesto que se han presentado problemas por el alto flujo vehicular, donde muchas veces supera la capacidad que tiene esa vía presentándose

grandes trancones, puesto que es de gran importancia para la región, al permitir la conexión de manera rápida del Valle de Aburrá con el Aeropuerto Internacional José María Córdova, además de dar acceso a los nuevos predios, condominios y el comercio que se han construido en los últimos años alrededor de esta vía.

El índice de atropellamiento también se puede ver influenciado por la velocidad permitida en la vía, y aunque para ninguna de las tres vías se permite el desplazamiento a altas velocidades, puesto que solo se permite un máximo de 40km/hora en las zonas donde se registraron los atropellamientos, se deduce entonces que las personas no siguen este parámetro de velocidad establecido, dado que si transitaran a una velocidad menor o igual a 40 km/hora no se evidenciarían este número de atropellamientos sino una cifra menor, puesto que al circular a esta velocidad podría observar la especie que transita por la vía en el día y el conductor reaccionaría y se evitaría la colisión con dicha especie.

Ahora bien, poner en funcionamiento las obras hidráulicas como pasos de fauna es una alternativa que puede resultar muy efectiva y la inversión que se debe efectuar es muy poca en comparación de construir pasos de fauna desde el principio. Para las especies de mamíferos está es una medida de mitigación muy viable debido a su desplazamiento, pueden utilizarlas de manera continua e incluso se afirma que pueden transferir este conocimiento a las generaciones futuras [83].

Pese a que los corredores biológicos son estrategias que tienen como objetivo el mantener la conectividad entre los parches como se mencionaba anteriormente, además de fortalecer el funcionamiento de los sistemas de áreas protegidas[84], se deduciría que es una forma segura al momento de realizar los desplazamientos, pero, a pesar de esto, se presentan los acontecimientos de atropellamiento en las vías, es decir, no se está haciendo de uso de estos corredores de una manera totalitaria por parte de las especies, puesto que varias de estas terminan desviándose y llegando a las vías y es cuando se presentan los acontecimientos de atropellamiento.

XII. CONCLUSIONES

Es evidente el impacto negativo sobre la fauna silvestre que puede ocasionar la expansión que se ha venido desarrollando en las áreas rurales, modificando no solo su hábitat sino que también ocasionando muertes debido a las colisiones que se pueden presentar por el volumen del tráfico vehicular en carreteras adyacentes a las zonas de conservación de biodiversidad, siendo este uno de los principales factores que influyen en el número de atropellamientos, puesto que entre más tráfico vehicular se presente o más importante sea la vía, mayores registros de especies atropelladas se presenta. Además, de la velocidad con la que maneja el conductor es un factor que se convierte relevante y decisivo.

Las hectáreas que conforman los núcleos de conservación también juegan un papel importante en el número de especies arrolladas, puesto que, en núcleos de mayor tamaño, las especies están menos tentadas a realizar un desplazamiento de un parche a otro, por el contrario, en los núcleos que presentar una mayor fragmentación y que su tamaño es reducido, es más propenso a que se registren casos de atropellamiento de fauna.

Por otro lado, a pesar de que los corredores biológicos tienen como función la conectividad entre los parches, se está presentando una desviación al momento de realizar el desplazamiento por parte de la fauna silvestre, donde terminan siendo arrollados por los vehículos, dado que al momento de realizar el traslado de un núcleo a otro terminan desviándose y utilizando áreas que no hacen parte de los corredores o, debido a que estos corredores se encuentran limitando con la vía como se aprecia en la figura 33, terminan desplazándose hacia ellas. Lo cual demuestra que no se realizó la más adecuada planificación de las áreas que iban a ser destinadas como corredores biológicos y, por ende, se terminó disminuyendo la efectividad de estos al asignar pequeños parches que poco funcionan como caminos continuos que permitan facilitar los desplazamientos de las especies entre las áreas núcleo.

La tasa de atropellamiento obtenida en las tres vías del área rural del municipio de Envigado al ser comparadas con otros estudios realizados en el país es menor, pero, es importante la implementación de medidas de mitigación puesto que es un municipio que ha estado presentado

un alto desarrollo predial en los últimos años, ocasionando que más personas decidan vivir en su zona rural, alejadas del área urbana, y que se presente una reducción o degradación de vegetación, como se observó en a partir del índice NDVI, reduciendo las zonas boscosas que conforman el área protegida y corredores biológicos, exponiendo a la fauna silvestre a intervenciones humanas, por lo tanto, seguir con la implementación de estrategias permite que el número de atropellamientos no se incremente y que posiblemente, se puedan reducir los registros que ya se tienen.

En este estudio se puede observar la importancia de estructurar adecuadamente un plan de ordenamiento territorial, puesto que lo construcción desenfrenada en el área rural fue uno de los factores que ha influido en el atropellamiento de especies, debido a que no solo se ha incrementado predios y comercio sino también el flujo vehicular en esas zonas para acceder a estos y, por ende, se presenta un aumento en las coberturas vegetales.

El aprovechamiento de estructuras que ya se encuentran construidas y que solo deben ser adecuadas como pasos de fauna subterráneos es una alternativa que no solo mejoraría la calidad de vida de la fauna silvestre, sino que también los costos de inversión serían menores en comparación de la construcción de uno desde el inicio.

XIII. RECOMENDACIONES

Es inevitable pedir o sugerir que un municipio no se expanda en construcciones de infraestructura dentro de su territorio, debido a que siempre estarán en busca de un crecimiento económico y bienestar social a las personas que allí habitan, pero poco se piensa en las consecuencias ambientales que trae consigo dicha expansión urbanística, sobre todo para la fauna silvestre que habita la zona, por ende, para próximos proyectos desarrollados de construcción de carreteras se debe realizar no solo un diagnóstico de la flora y fauna que se encuentra en el área de influencia del proyecto, sino también que la autoridad ambiental competente debe exigirles a las empresas encargadas de la ejecución de carreteras la identificación y evaluación de los posibles impactos negativos que pueden surgir en consecuencia de la construcción de ese proyecto vial, y a partir de allí no solo plantear sino que también sea implementadas las estrategias de prevención y mitigación de estos impactos frente a la fauna silvestre, y no esperar una vez sea construida la vía para identificar los impactos negativos que se está repercutiendo en el desarrollo de esa fauna.

Para aquellas vías que ya han sido construidas y no se puedan implementar alternativas de prevención y que se presentan registros de atropellamientos de fauna, además de tener presencia áreas adyacentes que sirven como albergue de la fauna silvestre, como es el caso del área de estudio, se deben buscar opciones que mejor se adecuen a la zona donde se están presentando estos sucesos y llevarlas a cabo con el fin de mitigar los impactos que ya se están ocasionando.

Desarrollar un documento de orientación que facilite la implementación de medidas de mitigación para evitar los cruces de fauna silvestre en los sistemas viales de transporte, la cual debería ser desarrollada por expertos en las diferentes áreas que constituyen la construcción y desarrollo no solo de la carretera sino también de profesionales que conozcan el comportamiento de la fauna silvestre y como podría afectarla, donde se planteen especificaciones dependiendo de las necesidades que se puedan presentar dependiendo del tipo de especie y determinar opciones que guíen la evaluación del hábitat intervenido. Dado que cada caso de estudio debe mirarse de manera particular, aunque las técnicas de evaluación pueden ser estandarizadas.

Para este estudio en particular, se recomienda que, una vez llevadas a cabo los trabajos de adecuación de las obras hidráulicas, ejecutar un programa de monitoreo periódico, con la intención de darle seguimiento al funcionamiento de estos nuevos pasos de fauna y así determinar la efectividad de estos. Una buena opción es colocar cámaras de fototrampeo, para identificar con más detalle las especies que realizan los cruces. Además, también se debería llevar a cabo seguimiento del estado de la cobertura vegetal en el área rural e implementar proyectos de mejoramiento o restauración de la cobertura vegetal que se encuentra deteriorada, en las áreas donde sea posible.

También se debe tener en cuenta el trabajo con la comunidad, el realizar campañas informativas para concientizar a la gente, donde se pueda dar a conocer la importancia de manejar de una manera prudente por estas zonas donde se encuentra tanta diversidad de fauna.

Es importante llevar una línea de tiempo de la expansión urbanística de los municipios, que permita observar cómo se han estado desarrollando la expansión urbanística en diferentes años y determinar si se ha venido dando de la manera es que se estableció en el Plan de Ordenamiento Territorial y determinar si se han cambiado los usos del suelo. Dado que es una manera de relacionarlo con la pérdida de cobertura vegetal en los municipios, importante para estudios de impactos ambientales.

REFERENCIAS

- [1] A. Bárcena, “Evolución de la urbanización en América Latina y el Caribe en la década de los noventa: desafíos y oportunidades”, *Inf. Comer. Española, ICE Rev. Econ.*, vol. 1, n° 790, pp. 51–61, 2001.
- [2] R. McArthur, J. Desmond, L. Hennings, y L. DeBruyckere, *Wildlife crossings: providing safe passage for urban wildlife*, Segunda Ed., vol. 1, n° August. Portland: Metro, 2009.
- [3] D. C. Dearborn y S. Kark, “Motivations for conserving urban biosiversity”, *Conserv. Biol.*, vol. 24, n° 2, pp. 432–440, 2010.
- [4] M. A. Sierra Vásquez, “Ciudad y fauna urbana, un estudio de caso orientado al reconocimiento de la relación hombre, fauna y hábitat urbano en medellín”, *Bibl. Digit. Unal*, vol. 66, pp. 37–39, 2012.
- [5] S. C. Trombulak y C. A. Frissell, “Review of ecological of roads on terrestrial and aquatic communities”, *Conserv. Biol.*, vol. 14, n° 1, pp. 18–30, 2000.
- [6] C. Gómez *et al.*, “Impactos De Las Carreteras Sobre La Fauna Silvestre Y Sus Principales Medidas De Manejo”, *Rev. EIA*, vol. 5, pp. 45–57, 2006.
- [7] J. De La y O. Silvia, “Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo – ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia”, *Biota Colomb.*, vol. 16, n° 1, pp. 67–77, 2015.
- [8] M. Huijter *et al.*, *Wildlife-Vehicle Collision Reduction Study: Report To Congress*. Estados Unidos: Federal Highway Administration, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2R2EsUk>
- [9] L. Harris y J. Scheck, “Implications to applications: The dispersal corridor principle applied to the conservation of biological diversity”, *Nat. Conserv. 2 role corridors*, pp. 189–220, 1991.
- [10] V. Bauni, J. Anfuso, y F. Schivo, “Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina.”, *Ecosistemas*, vol. 26, n° 3, pp. 54–66, 2017.
- [11] U. CES, Alcaldía del Municipio de Envigado, y Secretaria de medio ambiente y desarrollo agropecuario, “Convenio para el Fortalecimiento y Gestión del Sistema de Áreas Protegidas del Municipio De Envigado. - Proceso contractual No. 15-00-09-31-025-16”, n° 15, p. 213, 2016.

- [12] V. Carvajal Alfaro y F. Díaz Quesada, “Medidas de mitigación para las poblaciones de mamíferos silvestres que sufren atropellos en las carreteras del cantón de la Fortuna Artículos Científicos”, *Repert. Científico*, vol. 18, pp. 5–10, 2015.
- [13] M. Carrere, “UICN actualiza su Lista Roja: más de 28000 especies están en peligro de extinción”, *UICN*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3gzvubF>. [Accedido: 14-abr-2020].
- [14] Redactor de Sustrai, “El 38% de las especies animales del planeta se encuentra en peligro de extinción”, *Sustrai Rev. agropesquera*, vol. 87, pp. 28–29, 2008.
- [15] C. A. Delgado-V., H. Londoño, P. M. Saravia, y M. M. Bedoya-Viana, “Afectaciones a la fauna silvestre en las áreas urbanas andinas de Antioquia”, *Bosques Andin. Estado actual y retos para la Conserv. en Antioquia*, pp. 373–389, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/31MtiJA>
- [16] F. Bank *et al.*, *Wildlife habitat connectivity across european highways*, Washington, 2002.
- [17] National Geographic Society, “Wildlife crossings”, *National Geographic*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2FYEXMV>. [Accedido: 23-feb-2020].
- [18] A. Evans, “The Alberta Story: Wildlife Crossing in Banff”, *National Geographic*, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://on.natgeo.com/2D6aFqA>. [Accedido: 25-feb-2020].
- [19] C. Mata, I. Hervás, J. Herranz, F. Suárez, y J. E. Malo, “Effectiveness of wildlife crossing structures and adapted culverts in a highway in northwest Spain”, en *Habitat connectivity, Monitoring of crossing structures*, Madrid: California Digital Library, 2003, pp. 265–276. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/337dccP>
- [20] A. Sargente, “Forget Sydney and San Francisco, Christmas Island crab bridge helps migrating critters beat the traffic - ABC News (Australian Broadcasting Corporation)”, *ABC News*, 09-dic-2015. [En línea]. Disponible en: <https://ab.co/32K0eBS>. [Accedido: 29-feb-2020].
- [21] A. Bager, C. E. Borghi, y H. Secco, “The Influence of Economics, Politics and Environment on Road Ecology in South America”, en *Handbook of Road Ecology*, Quinta Edi., R. Van der Ree, D. Smith, y C. Grilo, Eds. John Wiley & Sons, Ltd., 2015, pp. 407–413.
- [22] F. Z. Teixeira, R. C. Printes, J. C. G. Fagundes, A. C. Alonso, y A. Kindel, “Canopy bridges as road overpasses for wildlife in urban fragmented landscapes”, *Biota Neotrop.*, vol. 13, n° 1, pp. 117–123, 2013.

- [23] Agencia Nacional de Infraestructura, “En la Ruta del Sol. Pasos de fauna , infraestructura pensada para el bienestar de todos”, *Oficina de comunicaciones ANI*, Bogotá, pp. 1–2, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/32PczEV>
- [24] V. B. Arjona, *Urbanismo, medio ambiente y salud*. 2011. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3bkNHZz>
- [25] K. Soanes, A. C. Taylor, P. Sunnucks, P. A. Vesk, S. Cesarini, y R. van der Ree, “Evaluating the success of wildlife crossing structures using genetic approaches and an experimental design: Lessons from a gliding mammal”, *J. Appl. Ecol.*, vol. 55, n° 1, pp. 129–138, 2018.
- [26] J. Jaramillo, J. González, M. Velásquez, y C. Correa, “Los animales atropellados de Colombia”, *Instituto Humboldt*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/31vi5gf>.
- [27] Y. Rojas Lenis, “La historia de las áreas protegidas en Colombia, sus firmas de gobierno y las alternativas para la gobernanza”, *Rev. Soc. y Econ.*, vol. 27, pp. 155–175, 2014.
- [28] D. M. Ocampo Duque, H. Martínez Carrillo, E. J. Duarte Villamizar, A. Salazar Molano, A. M. Laina Agudelo, y C. López, *Cartilla Áreas protegidas en Colombia*, Fundación. 2006. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/34Yf5v1>
- [29] Coordinador del Sistema Nacional de Áreas Protegidas y Administrador del Registro Único Nacional de Áreas Protegidas., “Registro Único Nacional de Áreas Protegias – RUNAP | Parques Nacionales Naturales de Colombia”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3hy9rmJ>. [Accedido: 11-may-2020].
- [30] Concejo Municipal Envigado, “Acuerdo N° 009 (16 de Marzo de 2016)”, 2016. Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/31TtjLZ> [Accedido: 11-may-2020].
- [31] Colombia. Congreso de la República. “Ley 152 de 1994”, 15-jul-1994. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3hzhFv9>. [Accedido: 11-may-2020].
- [32] Colombia. Congreso de la República. “Ley 388 de 1997”, 1997. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3jlSnRo>. [Accedido: 11-may-2020].
- [33] Colombia. Congreso de la República. “Ley 1454 De 2011”, p. 17, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3hUmdfv>
- [34] A. González Romero, “Capítulo 1. Fauna Silvestre de México: Uso, Manejo y Legislación”, en *Manual de técnicas para el estudio de la fauna*, S. Gallina Tessaro y C. López, Eds. 2011, pp. 169–172. Universidad Autónoma de Querétaro- Instituto de Ecología, A. C. Querétaro, México.

- [35] J. J. Ospina Agudelo, “Diseño Geométrico de Vías”, (Especialización en Vías y Transporte) Nacional de Colombia- Sede Medellín, Facultad de Minas, 2002
- [36] Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, “Manual de diseño geométrico de carreteras”, *Ciencia*, vol. 84, pp. 1–6, 2008.
- [37] O. De la Ossa, J. De la Ossa, y E. Medina, “Atropellamiento de fauna silvestre”, *Rev. Colomb. Cienc. Anim.*, vol. 7, n° 1, pp. 109–116, 2015.
- [38] A. Rajvanshi, V. B. Mathur, G. C. Teleki, y S. K. Mukherjee, *Roads, Sensitive Habitats and Wildlife Roads, Sensitive Habitats and Wildlife Environmental Guideline for India and South Asia*. Toronto: Wildlife Institute of India, 2001.
- [39] J. F. Mendoza Sánchez y O. A. Marcos Palomares, “Observatorio de movilidad y mortalidad de fauna en carreteras en México”. Querétaro: Instituto Mexicano de Transporte, 2016.
- [40] E. Chuvieco, *Fundamentos de la teledetección espacial*, Primera ed. Madrid: RIALP S.A., 1990.
- [41] M. Labrador García, J. Évora Brondo, y M. Arbelo Pérez, *Satélites de teledetección para la gestión del territorio*. Canaria: Consejería De Agricultura, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias, 2012.
- [42] J. Martínez Vega y P. Martín Isabel, *Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente*. Madrid: Red Nacional de Teledetección Ambiental, 2010.
- [43] P. Muñoz Aguayo, “Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación”, *Cent. Inf. Recur. Nat.*, p. 13, abr. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/31TeHMw>
- [44] G. R. J. L. Bernabe, V., Gardezi, A., Riesco J.A. y G. R. F., Giménez Suárez M.C., “La aplicación de la Teledetección en los cambios de la cobertura vegetal. Aplicación al tramo medio del río Jarama (Guadalajara)”, *Cuad. la Soc. Española Ciencias For.*, vol. 41, pp. 305–316, 2015.
- [45] E. Chuvieco, *Fundamentos de la teledetección espacial*, Segunda ed. Madrid: RIALP S.A., 1998.
- [46] C. L. Meneses-Tovar, “El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque”, vol. 62, pp. 39–46, 2011.
- [47] G. Álvarez Jiménez *et al.*, *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales*. O.A. Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2015.

- [48] S. Botero Canola y S. Gonzalez Caro, “Estrategias para mitigar los efectos de las carreteras y el transporte motorizado sobre la fauna silvestre”, 2015.
- [49] N. Aizpurúa, “Medidas preventivas, correctoras y compensatorias del impacto ecológico de carreteras” (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid, 2010.
- [50] G. Leiva Rodríguez, “Hacia la construcción de carreteras sostenibles y resilientes. Revisión de los métodos de estudios de pasos de fauna en Costa Rica con proyección a Latinoamérica y el Caribe”, Instituto Centroamericano de Administración Pública, 2018.
- [51] C. A. Gómez, “Pasos de Fauna” (Especialización en Vías Terrestres), Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.
- [52] U. C. Secretaría de Medio Ambiente de Envigado, “Convenio para el fortalecimiento y la gestión del sistema de áreas protegidas del municipio de Envigado -Informa final: Proceso Contractual No. ENV-12-25-043-18”, *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, n° 9, pp. 1689–1699, 2018.
- [53] Alcaldía de Envigado, “Elaboración del plan de movilidad del municipio de Envigado”, Medellín, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3bkOpWJ>
- [54] Universidad Nacional de Colombia & Instituto Del Agua, “Identificación y clasificación, caracterización hidrogeológicas de los humedales, evaluación de las zonas de recarga y su relación con la geología y las corrientes del municipio de Envigado”, 2005.
- [55] Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Agropecuario, “Informe final del Sistema Local de Áreas Protegidas de Envigado (SILAPE)”, Envigado, 2015.
- [56] Universidad CES y Secretaría de Medio Ambiente de Envigado, *Convenio de protección y conservación de fauna y flora nativas - Proceso contractual No. 15-00-09-31-027-15*. 2015.
- [57] C. Zunino, M. Palestrini, “El concepto de especie y biogeografía”, *An. Biol.*, vol. 17, pp. 85–88, 1991.
- [58] Concejo de Envigado, “Acuerdo No. 010 de 2011”, Envigado, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2QLBQKy>
- [59] C. Trujillo Villa, “Inminente modificación del POT de Envigado”, *El Colombiano*, 30-ene-2018. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2YErTmj>. [Accedido: 30-abr-2020].
- [60] Alcaldía Municipal de Envigado, “Plan De Desarrollo Municipal de Envigado-2016-2019”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2FdpnNe>
- [61] MAGBMA y FAO, *Estudio de las causas de la deforestación y degradación forestal en*

- Guinea Ecuatorial*. República de guinea ecuatorial. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3i8z8e9>
- [62] R. Franco, *Composiciones Landsat en Arcgis*. Bogotá, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2ZeSabg>
- [63] G. López Rivadeneyra, “Impacto ambiental por las actividades extractivas en bosques tropicales”, Bermejo, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3gR89Ch>
- [64] H. Moreno, “Análisis multiespectral mediante imágenes landsat para la identificación de zonas degradadas en el área circundante a la laguna de tota departamento de Boyaca” (Especialización en Geomática), Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería, 2015.
- [65] C. D. Francis y J. R. Barber, “A framework for understanding noise impacts on wildlife: An urgent conservation priority”, *Front. Ecol. Environ.*, vol. 11, n° 6, pp. 305–313, 2013.
- [66] CODIMA SAS, “Malla Eslabonada”. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/31yD6H3>. [Accedido: 14-may-2020].
- [67] J. Pinowski, “Roadkills of vertebrates in Venezuela”, *Rev. Bras. Zool.*, vol. 22, n° 1, pp. 191–196, 2005.
- [68] V. Carvajal, F. Díaz, y R. Gallardo, “Estrategias para la conservación de poblaciones de mamíferos silvestres en rutas turísticas de acceso al cantón de Sarapiquí.” (Informe Final), Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2013.
- [69] C. A. Delgado-V, “Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia”, *Actual. Biológicas Biol*, vol. 29, n° 87, pp. 229–233, 2007.
- [70] D. Astua de Moraes, D. Lew, L. Costa, y R. Pérez Hernández, “Didelphis marsupialis. The IUCN Red List of Threatened Species”, *La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2016*, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3hxFWil>. [Accedido: 25-abr-2020].
- [71] M. C. Rueda, G. F. Ramírez, Y. José, y H. Osorio, “Aproximación a la biología de la zarigüeya común”, vol. 17, n° 2, pp. 141–153, 2013.
- [72] E. Ashley y J. Robinson, “Road mortality of amphibians, reptiles and other wildlife on the Long Point Causeway, Lake Erie, Ontario”, *Can. Field- Nat.*, vol. 110, pp. 403–412, 1996.
- [73] M. A. Adárraga-Caballero y L. C. Gutiérrez-Moreno, “Mortalidad de vertebrados silvestres en la carretera Troncal del Caribe, Magdalena, Colombia”, *Biota Colomb.*, vol. 20, n° 1, pp. 106–119, 2019.

- [74] F. Cupul, “Victimas de la carreteras: fauna apachurrada”. Departamento de ciencias. Centro Universitario de la Costa, México, 2002.
- [75] E. Payan y T. Oliveira, “*Leopardus tigrinus*”, *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/35358MW>. [Accedido: 28-abr-2020].
- [76] J. González Maya, F. Reid, y K. Helgen, “*Nasuella olivacea*”, *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3jExmSk>. [Accedido: 28-abr-2020].
- [77] Greenpeace, “Impactos del cambio climático sobre los bosques”, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/32V8cbp>
- [78] J. Betancourt Mesa, “El Cambio Climático en Colombia”, Universidad del Rosario. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/2EUA86R>
- [79] T. Vargas Villamizar y C. Rosales Salas, “Pérdida de la cobertura vegetal y sus repercusiones ambientales y legales”, vol. 19, n° 1, pp. 61–79, 2014.
- [80] M. Hildebrand, D. Bramble, K. Liem, y D. Wake, *Functional Vertebrate Morphology*. 1985.
- [81] National Geographic, “Deforestación”, 05-sep-2010. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3lpMFQk>. [Accedido: 18-may-2020].
- [82] A. P. Clevenger, B. Chruszcz, y K. Gunson, “Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals”, *J. Appl. Ecol.*, vol. 38, n° 6, pp. 1340–1349, 2001.
- [83] S. D. Jackson y C. R. Griffin, “A Strategy for Mitigating Highway Impacts on Wildlife”, University of Massachusetts, 2000.
- [84] L. Canet-Desanti, B. Herrera, y B. Finegan, “Efectividad de Manejo en Corredores Biológicos: El Caso de Costa Rica”, *Rev. Parques*, vol. 2, pp. 1–14, 2012.

ANEXOS

Anexo 1. Comparativo de imágenes satelitales 2011 que inició la implementación del POT vigente frente al 2020.



Anexo 2. Construcción de una de las varias infraestructuras en zona rural del municipio de Envigado.

