



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

Mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento en la carretera Loja-Malacatos-Vilcabamba

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero en
Manejo y Conservación del Medio

Autor:

Pablo Andrés Iníiguez López

Directora:

Aura Paucar-Cabrera, M.Sc., Ph.D.

Loja – Ecuador

2022

Certificación

Loja, 20 de septiembre de 2022

Blga. Aura Paucar Cabrera, Ph.D.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de directora del trabajo de titulación **CERTIFICO** que el Señor **Pablo Andrés Ñiguez López**, portadora de la cédula de ciudadanía N° 1105800369, egresado de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja, ha desarrolladola Tesis de Grado titulada “**Mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento en la carretera Loja-Malacatos-Vilcabamba**”, la misma que ha sido debidamente dirigida y revisada cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido.

Por tal razón, autorizo la presentación y publicación del presente trabajo de titulación.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**AURA DEL
CARMEN PAUCAR
CABRERA**

Blga. Aura Paucar Cabrera, Ph.D.
DIRECTOR/A DE TESIS

Autoría

Yo, **Pablo Andrés Iñiguez López**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **“Mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento en la carretera Loja-Malacatos-Vilcabamba”**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



C.I.: 1105800369

Fecha: 13 de diciembre de 2022

E-mail: pablo.iniguez@unl.edu.ec

Teléfono: 0990978479

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Pablo Andrés Iñiguez López**, declaro ser autor del trabajo de titulación denominado: **“Mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento en la carretera Loja-Malacatos-Vilcabamba”**, como requisito para optar al Grado de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los trece días del mes de diciembre del dos mil veinte, firma el autor.



Firma:

Autor/a: Pablo Andrés Iñiguez López

Cédula de identidad: 1105800369.

Dirección: Loja, Los Geranios

Teléfono: 0990978479

Correo electrónico: Pablo.iniguez@unl.edu.ec

Datos complementarios

Directora del Trabajo de Titulación: Blga. Aura Paucar Cabrera, Ph. D

Dedicatoria

A mis padres Vinicio y Lorena, por ser mi compañía en los momentos más memorables de mi vida, por su cariño, esfuerzo, confianza, paciencia y valores que reflejan hoy el ser humano que soy.

A mis hermanos Byron y Cesar por ser mis compañeros en el transcurso de la vida, del mismo modo a mis familiares y amigos que han aportado estabilidad y resiliencia en todo desafío afrontado.

Pablo Andrés Iñiguez López.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja quien me ayudó de guía para la preparación de un profesional y de forma especial a la docencia de la carrera Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, los cuales impartieron todos los conocimientos que se me ha otorgado.

A mi tutor de trabajo de investigación Aura Paucar-Cabrera, M.Sc., Ph.D, guía de este trabajo investigativo, quien gracias a sus enseñanzas, paciencia y apoyo se logró culminar exitosamente el proyecto. De igual manera, al Ing. Christian Mendoza, Ing. Xavier Rojas y PhD. Pablo Medrano-Vizcaino por sus sugerencias en las partes técnicas del trabajo.

Así mismo, agradezco a mis compañeros de clase y amigos: Aaron, Alejandro, James, Jimmy, Yandri y Harold, quienes me han apoyado en todo el transcurso de la carrera.

Finalmente, mi gratitud a mis padres por ser el ejemplo de fortaleza, dedicación y esfuerzo durante toda la vida.

Pablo Andrés Iñiguez López.

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	viii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Revisión de literatura	6
4.1. Las carreteras como vía de desarrollo.....	6
4.1.1. <i>Efectos ecológicos de las carretera</i>	6
4.2. Atropellamiento de la fauna.....	7
4.3. Mortalidad de la fauna por atropellamiento.....	7
4.3.1. <i>Mortalidad de la fauna por atropellamiento en Ecuador</i>	8
4.4. Levantamiento de información.....	9
5. Metodología	11
5.1. Área de estudio.....	11
5.1.1. <i>Recopilación y registro de Información sobre atropellamiento de la fauna silvestre</i>	12
5.1.2. <i>Efecto de las coberturas vegetales sobre los eventos de atropellamiento y atributos del paisaje</i>	13
5.1.3. <i>Medición de la densidad vehicular como factor de mortalidad de la fauna</i> ...13	
5.2. Ubicaciones idóneas para medidas de mitigación.....	13

5.3. Análisis estadístico.....	14
6. Resultados.....	15
6.1. Recopilación y registro de Información sobre atropellamiento de la fauna silvestre.....	15
6.2. Efecto de las coberturas vegetales sobre los eventos de atropellamiento y atributos del paisaje.....	18
6.3. Medición de la densidad vehicular como factor de mortalidad de la fauna.....	21
6.4. Medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el impacto en contra de las especies silvestres.....	23
6.4.1. <i>Ubicaciones idóneas para medidas de mitigación</i>	23
6.4.2. <i>Medidas de prevención, mitigación y control</i>	27
7. Discusión.....	33
8. Conclusiones.....	40
9. Recomendaciones.....	41
10. Referencias.....	42
11. Anexos.....	43

Índice de tablas

Tabla 1. Registro de individuos atropellados mediante 16 muestreos entre los meses de abril, mayo y junio del 2022	17
Tabla 2. Prueba de Kruskal Wallis para las 3 variables de cobertura vegetal seleccionadas. 20	
Tabla 3. Ubicaciones de los puntos rojos de incidencia de atropellamiento de especies en el tramo Loja-Vilcabamba.....	24
Tabla 4. Medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el impacto en contra de las especies silvestres en la vía Loja-Malacatos-Vilcabamba.....	27

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la carretera Loja-Malacatos-Vilcabamba, a) mapa vial del Ecuador donde se indica la provincia de Loja y el cantón Loja, b) mapa del cantón de Loja donde se presenta las parroquias en las que se encuentra la vía Loja–Vilcabamba.....	11
Figura 2. Mapa de cobertura vegetal de la vía Loja-Vilcabamba, se destacan los tres tipos de cobertura vegetal seleccionada para el estudio; Zona antrópica (ZA), tierra agropecuaria (TA) y tierra forestal/arbustiva (TF/A).....	15
Figura 3. Número de animales atropellados en la vía Loja-Vilcabamba, agrupados por clase, entre los meses de abril, mayo y junio del 2022.	16
Figura 4. Abundancia semanal de vertebrados atropellados en los meses de abril, mayo y junio del 2022, en 41,6 km de la vía Loja–Vilcabamba, agrupados por clase.	18
Figura 5. Frecuencia de los individuos atropellados por cobertura vegetal en la vía Loja–Vilcabamba entre los meses de abril, mayo y junio del 2022, las etiquetas en mayúscula presentes en cada tipo de cobertura vegetal, representan la clase de cada especie y el total de individuos de las mismas.	19
Figura 6. Diagrama de flujo de cajas y bigotes donde se representan las medianas de los eventos de atropellamiento en relación a las coberturas vegetales. Zona antrópica (ZA), tierra agropecuaria (TA) y tierra forestal/arbustiva (TF/A).	20

Figura 7. Comparación entre parejas en las coberturas vegetales: Zona Antropica (ZA), Tierra Agropecuaria (TA) y Tierra Forestal y Arbustiva (TF/A), a través de la prueba Dunn.....	21
Figura 8. Índice kilométrico de atropellamiento de vertebrados en la vía Loja–Vilcabamba entre los meses de abril, mayo y junio del 2022	22
Figura 9. Gráfico de correlación de las variables volumen vehicular y número de individuos atropellados en el tramo Loja-Vilcabamba.....	23
Figura 10. Mapa de calor de la vía Loja-Vilcabamba, a) mapa vial del Ecuador donde se indica la provincia de Loja y el cantón Loja.....	32

Índice de anexos

Anexo 1. Registro de individuos atropellados mediante 16 muestreos y volumen vehicular semanal de la vía Loja-Vilcabamba entre marzo-junio del 2022.....	43
Anexo 2. Listado de especies con su número correspondiente de individuos atropellados por semanas en los meses de abril, mayo y junio del 2022.....	46
Anexo 3. Foto tomada en el Km 33 de la vía Loja-Vilcabamba, señalética implementada por el municipio para advertir del cruce de la fauna silvestre.	47
Anexo 4. Fotografías de vertebrados atropellados	47
Anexo 5. Certificación de traducción del Resumen (Abstract).....	51

1. Título

“Mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento en la carretera Loja-Malacatos-Vilcabamba”

2. Resumen

Las carreteras son vías de comunicación terrestre importantes en el desarrollo de una región; sin embargo, son una fuente de presión para la fauna silvestre, de manera directa, por los atropellamientos. El atropellamiento de la fauna silvestre se debe principalmente a factores como la velocidad, el flujo vehicular y el tipo de infraestructura de las carreteras. La presente investigación evaluó el atropellamiento de fauna silvestre ocasionado por los vehículos que circulan por la vía Loja-Malacatos-Vilcabamba (E682), en la provincia de Loja. Vía que tiene 41.6 km de largo, comprende una carretera pavimentada de dos carriles, y está ubicada en una zona aledaña al Parque Nacional Podocarpus. Los objetivos específicos de esta investigación son: (1) Identificar las especies más susceptibles y con mayor incidencia de atropellamiento en el tramo Loja-Malacatos-Vilcabamba en la provincia de Loja y, (2) Plantear medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el impacto en contra de las especies silvestres. El estudio se realizó desde abril hasta junio de 2022, con un total de 16 viajes en auto recorriendo un total de 666 km en 50 días de muestreo. Se encontraron 60 individuos atropellados, pertenecientes a 20 especies, 19 familias y 4 clases. La clase Aves (9 familias, 9 especies), la clase Mammalia (5 familias, 6 especies), la clase Reptilia (4 familias, 4 especies) y la clase Amphibia (1 familia, 1 especie). Las especies con mayor incidencia de atropellamiento fueron las zarigüeyas *Didelphis marsupialis* (n=17; 28,33%) y el ave *Furnarius leucopus* (n=8; 13,33%). La tasa de atropellamiento en 41.6 km de vía fue de 1,44 Ind/Km. La tasa de atropellamiento por día más elevada fue la de los mamíferos con 0.053 Ind/Km/día. Los resultados muestran que la cobertura vegetal tierra agropecuaria (TA) presentó la mayor cantidad de eventos de atropellamiento con 37 individuos muestreados (61,67%). Las coberturas vegetales presentaron diferencias significativas en los atropellamientos de individuos a través del análisis de Kruskal Wallis ($p < 0,0052$). La variable volumen vehicular no mostró una influencia significativa sobre la presencia de los individuos atropellados, la correlación de Pearson presentó una correlación negativa débil (0,549). Se identificaron tres hotspots (dos en Tierra Agropecuaria y uno en Zona Antrópica), donde se sugiere tomar medidas de mitigación como: reductores de velocidad, reflectores luminosos y señalética con el fin de disminuir la mortalidad de la fauna por atropellamiento.

Palabras clave: Mortalidad, cobertura vegetal, hotspot, mitigación

2.1. Abstract

Roads are essential communication routes for the development of a region; however, they are a source of pressure for wildlife, directly due to roadkill. Wildlife roadkill is mainly due to factors such as speed, vehicular flow, and the type of road infrastructure. This study evaluated wildlife roadkill caused by vehicles on the Loja-Malacatos-Vilcabamba road (E682) in the province of Loja. This 41.6 km long, two-lane paved road is located in a close-by area to the Podocarpus National Park. The study was conducted from April to June 2022, where 16 car trips were made at a speed range of 50-60 km/h, covering a total of 666 km in 50 sampling days. Field data was collected through an open-source platform with the help of geographic information management software (Epicollect5). A total amount of 60 roadkill individuals were found, belonging to 20 species, 19 families, and 4 classes. From the class Aves (9 families, 9 species), the class Mammalia (5 families, 6 species), the class Reptilia (4 families, 4 species), and the class Amphibia (1 family, 1 species). The species with the highest incidence of roadkill found were the opossum *Didelphis marsupialis* (n=17; 28.33%) and the bird *Furnarius leucopus* (n=8; 13.33%). The roadkill rate for 41.6 km of road was 1.44 Indv/Km. Mammals obtained the highest per day roadkill rate with a 0.053 Indv/Km/day. The results show that the agricultural land presented the highest number of roadkill events, with 37 individuals sampled (61.67%). The vegetation coverage showed significant differences in the number of roadkill individuals; the Kruskal Wallis analysis shows a significant difference ($p < 0.0052$). The variable "traffic volume" did not show a significant influence on the presence of individuals hit by vehicles, Pearson correlation presented a weak negative correlation (0.549). Three hotspots were identified (two in agricultural land and one in the anthropic zone), where mitigation measures such as speed reducers, luminous reflectors, and signage are suggested to reduce wildlife mortality due to roadkill.

Key words: Mortality, land cover, hotspot, mitigation

3. Introducción

La fauna silvestre es un recurso natural conformado por todo organismo vivo no domesticado, que persiste bajo procesos de selección natural e interactúa libremente, este recurso natural tiene un gran valor intrínseco en el desarrollo de los ecosistemas y de las poblaciones humanas, ya que contribuye al mantenimiento de los servicios ecológicos forestales y al equilibrio ambiental (FAO,2015).

La preservación de la fauna silvestre es un tema de impacto mundial, debido a los roles que desempeñan en los procesos ecológicos y servicios ecosistémicos que brindan (Cervantes-Huerta et al., 2018). Sin embargo, son pocos los países que han planteado políticas sustentables para preservar la fauna, en especial las especies que se encuentran en peligro o casi extintas. En Ecuador el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica promueve campañas como “Protege Ecuador, la responsabilidad es de todos”, con el objetivo de dar a conocer a la población sobre las especies en peligro de extinción y fomentar su protección (MAE, 2017).

El Ecuador es considerado como un país megadiverso (MINTUR, 2014), a pesar de ello, muchas especies se encuentran en peligro por diferentes razones. Entre la lista de causas directas están la destrucción y fragmentación de hábitats naturales, el tráfico ilegal de especies, el uso desmesurado de los recursos ambientales, la introducción de especies exóticas, el uso de insecticidas y herbicidas, la contaminación de cuerpos de agua superficial y los atropellamientos que provocan la mortalidad de la fauna en las vías (De la Ossa et al., 2015). Ante esto el gobierno ecuatoriano desarrolla políticas para la conservación de su biodiversidad, entre los cuales se puede destacar el objetivo 11: conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales; el 11.1: promover la protección y conservación de los ecosistemas y su biodiversidad; así como, el patrimonio natural y genético nacional; y la política.11.1.E3: regular los asentamientos humanos en las zonas de planificación diferenciada, considerando sus límites biofísicos y patrimonio natural (Consejo Nacional de Planificación, 2021).

Entre las principales amenazas a la biodiversidad se encuentran los efectos negativos de las infraestructuras viales sobre los ecosistemas y vida silvestre, dentro de esto se asocia el atropello de animales (Hernández-Silva et al., 2018). Las carreteras son un elemento fundamental en el desarrollo socioeconómico de un país, que permite la comunicación entre

territorios distantes, mejora la calidad de vida de los habitantes y constituyen un elemento importante de desarrollo, el rápido crecimiento de la población, ha generado un incremento en las infraestructuras viales, que conlleva la mayoría de las veces a la construcción de forma descontrolada y sin una planeación eficiente (Espinosa y Medrano-Vizcaíno, 2015).

La expansión de las redes de transporte al igual que todas las obras de infraestructura y actividades humanas, causa efectos negativos sobre el ambiente (Bauni et al., 2017). Entre los efectos ecológicos directos más significativos de las carreteras tenemos: el efecto barrera, la destrucción de la flora y fauna silvestre al momento de la construcción, la aceleración de cambios en el uso de la tierra, la fragmentación de los ecosistemas, la modificación del comportamiento de las especies y la mortalidad por atropello (Beckmann y Shine, 2012). Estos efectos ecológicos son lo que se presentan con mayor incidencia en la provincia de Loja, debido en priori a la falta de estudios de impacto ambiental y ordenamiento territorial.

La escasa información generada sobre este tema preocupa ya que al no conocer información concreta no se toman las medidas necesarias para solucionar este problema. Datos aislados de investigaciones han muestreado 452 animales silvestres atropellados en una zona de 99 km de vías de la provincia del Tena en un período de 72 días (Medrano-Vizcaíno, 2015). El avistamiento de especímenes atropellados en las diferentes carreteras del país es provocado por la fragmentación de sus hábitats, esto hace que las especies crucen las vías en busca de alimentos, agua, refugio y para realizar actividades de reproducción.

El trabajo investigativo se sustenta en la elaboración de un estudio conceptual de mortalidad de la fauna silvestre en las carreteras, se desarrolló una evaluación actual de los impactos negativos que ocasionan la relación de los diversos actores sociales que interactúan con el recurso natural a través del atropellamiento, detectando las zonas con mayor grado de perturbación.

La provincia de Loja presenta una topografía accidentada conformada por rocas, peñones y terrenos muchas veces de difícil acceso en su 45% de territorio, las carreteras que la conforman se encuentran en su mayoría rodeada de vegetación por lo cual las incidencias con encuentro de fauna son frecuentes (OAS, 1994), el tramo Loja-Malacatos-Vilcabamba en las últimas décadas ha sido un conector de dos poblados de rápido crecimiento y el factor turístico ha ido incrementado cada año el flujo vehicular que transita todos los días por esta vía. Los grupos faunísticos con mayor incidencia de atropellamiento fueron los mamíferos con un

registro de 49 individuos que representaron el 75,38%, seguido por las aves con 10 individuos (15,38%), y los reptiles con 6 individuos (9,23%).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el atropellamiento de fauna silvestre ocasionado por los vehículos que circulan por la ruta Loja-Malacatos-Vilcabamba, en la provincia de Loja. Los objetivos específicos de esta investigación son: (1) Identificar las especies más susceptibles y con mayor incidencia de atropellamiento en el tramo Loja-Malacatos-Vilcabamba en la provincia de Loja y, (2) Plantear medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el impacto en contra de las especies silvestres.

4. Revisión de literatura

4.1. Las carreteras como vía de desarrollo.

Las carreteras son vías de comunicación terrestre para tránsito de vehículos, que constituyen en un elemento importante del desarrollo de una región, representan un beneficio social y económico, mejorando la calidad de vida de los habitantes del sector. La construcción de vías en países subdesarrollados como Ecuador con un rápido crecimiento poblacional, generó infraestructuras viales sin una identificación, evaluación y planeación eficiente. Así, el desarrollo vial puede afectar a los ecosistemas terrestres, siendo las carreteras una de las mayores amenazas a la biodiversidad en regiones tropicales (Piñones y Bravo, 2020).

4.1.1. *Efectos ecológicos de las carreteras.*

Los efectos ecológicos más significativos que ejercen las infraestructuras de transporte sobre la fauna silvestre, comienzan desde su construcción, con modificaciones en el uso del suelo, producción de material particulado, ruido de maquinaria y la consiguiente pérdida de hábitats (MEA, 2005; Souza et al., 2015). Mientras que en la fase de operación, la fragmentación de ecosistemas, efecto barrera, perturbaciones, dispersión de especies nativas, alteración del ciclo hidrológico, funciones ecológicas de los bordes y muerte directa por atropellamiento, siendo esta la más evidente y con mayor mortalidad que la reportada por la caza, y se espera un efecto negativo de las carreteras en la dispersión, el movimiento y la diversidad genética (Forman et al., 2003, Arroyave et al., 2006, Coffin, 2007).`

A pesar de los efectos sociales, culturales y ambientales negativos, que producen las aperturas de vías, principalmente en lugares de alta biodiversidad, los gobiernos continúan

expandiendo vías como un impulsor económico para aumentar el empleo, reducir los costos de transporte y apoyar el intercambio de bienes de una zona (Zapata-Ríos, 2001).

Los impactos directos de una carretera en construcción varían entre los procesos de colonización, mayor deforestación y generación de nuevas actividades que afectan las dinámicas de los bosques. Los impactos indirectos de la apertura de nuevas vías en lugares de alta biodiversidad pueden ocasionar el aumento de la cacería y comercialización ilegal de animales, así también, se generan conflictos sociales y enfrentamientos por temas ambientales y culturales al mando de los pueblos de la zona que connotan más amenazas que beneficios en su construcción (Vilela et al., 2020).

4.2. Atropellamiento de la fauna

Los atropellamientos de la fauna varían de acuerdo con el tipo de especie y la región geográfica (Hobday y Minstrell, 2008). Dentro de los tipos de fauna están la silvestre y la doméstica, la fauna silvestre objeto de este estudio. La fauna silvestre tiende a estar asociada a hábitats específicos, este factor influye de manera directa en la abundancia y distribución de los atropellamientos (D'Amico et al. 2015).

Los factores que influyen en el atropellamiento de especies son principalmente antrópicos, como: la velocidad, el flujo vehicular y la infraestructura de las carreteras; existen otros factores de índole natural como: determinados hábitats, tipos de uso del suelo, el comportamiento natural de las especies y la cobertura vegetal, juegan un rol importante en la determinación de sitios y tasas de atropellamiento (Clevenger et al., 2003 cp. Medrano, 2015). Además, la frecuencia de la mortalidad por atropellamiento se encuentra condicionado a la naturaleza de cada sitio de estudio, este asociado a estaciones de año y patrones de conducta de la fauna como: rutas migratorias, cortejo, reproducción, áreas de campeo y búsqueda de alimentos, generando mayor mortalidad en estos determinados periodos del año (Benítez y Escalona-Segura, 2021).

4.3. Mortalidad de la fauna por atropellamiento

El estudio de la mortalidad de la fauna por atropellamiento, es un tema que ha ido en ascenso en las últimas décadas principalmente en países desarrollados. Estadísticos de mortalidad de fauna silvestre en el mundo señalan que, las colisiones con vehículos podrían

ocasionar la muerte de aproximadamente 194 millones de aves individuales y 29 millones de mamíferos individuales en carreteras pavimentadas (Grilo et al., 2020). En España mueren al menos 10 millones de animales cada año; en Holanda se han registrado anualmente 159 000 mamíferos y 653 000 aves muertos por colisiones vehiculares; en Finlandia, la población de aves terrestres ha decaído, el mismo caso en Bulgaria donde siete millones de aves mueren anualmente por atropellamiento (Rosell et al. 2002). Se estima que anualmente en las carreteras de Alemania mueren 250 000 animales atropellados, de los cuales el 80% son corzos, seguidos del jabalí (15%), gamo (3%) y el ciervo común (2%) (Real Automóvil Club de Cataluña, 2011). En hotspot como el presente en Australia se han estimado la muerte de cinco millones de sapos y reptiles por atropellamiento vehicular cada año, número que va en ascenso, mientras que en Estados Unidos se calcula que un millón de vertebrados son atropellados diariamente en las carreteras (Forman y Alexander, 1998).

En América del sur, en Argentina, los automóviles pueden matar un vertebrado cada 2 horas aproximadamente (Barri, 2010), en Brasil, país caracterizado por su riqueza biológica, se ha documentado ampliamente el efecto de las carreteras sobre la fauna silvestre (Develey y Stouffer, 2001). Así mismo, en México, Grosselet y colaboradores (2008), estimaron una tasa de atropellamiento diaria de vertebrados de hasta 4.5 animales en un tramo carretero de 1.2 km. En latino América, en 2019 se formó el Grupo de Trabajo de Transporte para América Latina y el Caribe (LACTWG), esta iniciativa formada por biólogos y profesionales del transporte, busca disminuir la mortalidad de la fauna haciendo que los sistemas de transporte sean amigables con la biodiversidad de la zona. Así mismo, brindan información científica sobre la ecología vial, siendo una de las plataformas web más completas sobre este tema (LACTWG, 2022).

4.3.1. *Mortalidad de la fauna por atropellamiento en Ecuador*

En Ecuador, este tema ha sido poco abordado y tomado en cuenta a la hora de toma de decisiones, principalmente por las entidades gubernamentales; los limitados estudios han presentado análisis de zonas específicas, pero no existen estudios sistemáticos que evalúen la mortalidad de fauna silvestre a lo largo de las carreteras. En el cantón Tena perteneciente a la provincia del Napo en la zona megadiversa de la región amazónica, Medrano-Vizcaino (2015) encontró en su muestreo 452 animales silvestres atropellados en una zona de 99 km en un

periodo de 72 días; los grupos más afectados encontrados en su estudio fueron los mamíferos (n=214; 47.35%), aves (n=107; 23.67%), reptiles (n=88, 19.47%) y anfibios (n=43; 9.51%), siendo la zarigüeya *Didelphis pernigra* J.A.Allen, 1900 (n=157; 34.73%) la especie con mayor frecuencia de atropellamiento.

En las islas Galápagos se reportaron 106 individuos muertos por colisión con vehículos en la vía principal entre la costa norte y sur de Santa Cruz (Gottdenker et al., 2008). Los estudios de atropellamiento de fauna también son relevantes al momento de mejorar la comprensión de la distribución de las especies en su hábitat, Medrano-Vizcaino (2021) en su artículo sobre nuevos registros de distribución para seis especies de serpientes de Ecuador, realizó nuevos hallazgos sobre límites altitudinales y variaciones en los rangos geográficos de seis especies de serpientes: *Anilius scytale* (Linnaeus, 1758), *Oxyrhopus vanidicus* Lynch, 2009, *Erythrolamprus breviceps* (Cope, 1860), *Drymarchon corais* (Boie, 1827), *Trilepida anthracina* (Bailey, 1946), *Micrurus lemniscatus* (Linnaeus, 1758). Esta información de ecología vías aporta al conocimiento biológico y ecológico en el sitio efectuado, y genera la creación de base de datos y plataformas de conservación de biodiversidad. Desde el 2020, la iniciativa “Red ecuatoriana para el monitoreo de fauna atropellada”, realiza la recopilación de datos a nivel nacional por medio de la ciencia ciudadana, esta información es compartida a través de redes sociales como WhatsApp, Facebook y Twitter; hasta el momento se han hecho 850 observaciones donde las especies más afectadas son: *Didelphis pernigra* J.A.Allen, 1900, *Rhinella marina* (Linnaeus, 1758) y *Didelphis marsupialis* Linnaeus, 1758 (REMFA, 2020).

4.4. Levantamiento de información

El Instituto Nacional de Biodiversidad del Ecuador (INABIO), ha elaborado un programa de ciencia ciudadana que contribuye a la recolección de información sobre la frecuencia de atropellamientos de fauna silvestre en las carreteras de las provincias, a través del uso de la plataforma, iNaturalist. Esta plataforma cuenta con un total de 580 observaciones de animales atropellados, 24 especies registradas por 27 personas de todo el país, las especies con más registros son: Sapo Gigante ((*Rhinella horribilis* (Wiegmann, 1833)) con 43 observaciones y el Tlacuache Sureño (*Didelphis marsupialis* Linnaeus, 1758) con 39 observaciones. Este proyecto fue creado el 5 de abril del 2019 para adoptar medidas de

prevención, mitigación y control para disminuir este impacto en contra de la fauna silvestre (iNaturalist, 2019).

Un trabajo pionero en el país fue el ya mencionado por Medrano-Vizcaino, este proyecto busca desarrollar planes de mitigación en las carreteras para disminuir la mortalidad de la fauna, por medio de una aplicación de acceso abierto llamada Epicollect5v4.2.0, que busca involucrar a la ciudadanía, por medio de la recolección de información de fauna atropellada. El estudio de mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento en la carretera Loja-Malacatos-Vilcabamba, espera ayudar en la obtención de información en la parte sur del país y seguir consolidando la base de datos que contribuya al progreso en temas ambientales a nivel nacional.

Para llevar a cabo el levantamiento de información, se debe examinar las características de los componentes de la vía y sus alrededores, se tomó en cuenta las técnicas utilizadas por Medrano-Vizcaino (2015), en donde para identificar la zona y forma se realiza una cartografía de la zona de estudio, que por medio de programas de sistemas de información geográfico como ArcGIS o QGIS se digitaliza y procesa, el control de aspectos como de cobertura vegetal, pendiente, y altitud se localiza a través de mediciones con Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) y Landsat Imagery de ArcGIS (Gaspari et al., 2012). La importancia del análisis radica también en que los datos presentados dan una visión holística de todos los factores que intervienen en la mortalidad por atropellamiento, los componentes que se observan perturbados son causa en su mayoría de actividades antrópicas que alteran la funcionalidad de la misma.

La identificación de los animales se lleva a cabo con un software de recolección de datos, esta herramienta permite la recolección y el almacenamiento de datos cualitativos y cuantitativos en un sistema electrónico a manera de formulario, exportando los datos del muestreo para su análisis y presentación (Sánchez, 2017). Mediante el análisis de estos datos se pueden identificar las especies más afectadas, y las zonas en las que los atropellamientos son más frecuentes, lo cual es indispensable para desarrollar planes para reducir la cantidad de animales que mueren en las carreteras del Ecuador. La búsqueda de medios para conservación y protección de los recursos en áreas prioritarias es fundamental en la actualidad, generar nueva información para promover planes de mitigación es el mecanismo para lograr un equilibrio ambiental.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

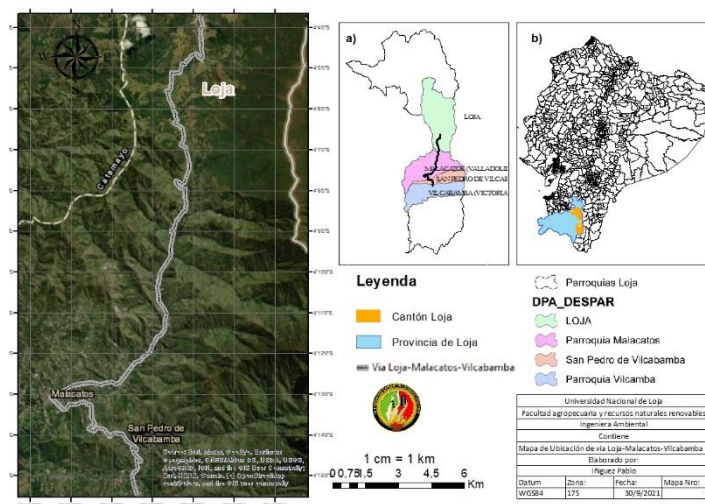
El estudio se realizó en el cantón Loja, en las parroquias rurales: Malacatos y Vilcabamba, en un área de 41.6 km que comprende 2 tramos de la carretera pavimentada de dos carriles E682, las mismas que se ubican en el área protegida del Parque Nacional Podocarpus (Figura 1). El área de estudio está rodeada de zonas de Bosque siempreverde piemontano y bosque siempreverde montano bajo, la matriz del paisaje que bordea la carretera está compuesta por áreas de pastoreo, cultivos, bosque, arbustos y poblados (MAE, 2013).

El tramo de carretera Loja-Malacatos, se encuentra a una altitud de 2010-1470 m s.n.m y el segmento Malacatos-Vilcabamba está dentro de 1470-1700 m s.n.m. Todos los tramos de carretera tienen dos carriles, uno en cada sentido direccional y los límites de velocidad varían de 30 a 90 km/h. Aproximadamente 23 km de vía se encuentran aledaños a áreas boscosas, y los restantes corresponden a áreas intervenidas con poblados y suelos con fines agropecuarios (Municipio de Loja, 2013).

De acuerdo con datos de la estación meteorológica más cercana a este estudio, Loja - La Argelia (M0033), la precipitación media anual de las parroquias Malacatos-Vilcabamba es de 733mm y 1622 mm y la temperatura media anual es de 20.3 °C y 20.6 °C, respectivamente (INAMHI, 2014).

Figura 1

Mapa de ubicación de la carretera Loja-Malacatos-Vilcabamba, a) mapa vial del Ecuador donde se indica la provincia de Loja y el cantón Loja, b) mapa del cantón de Loja donde se presenta las parroquias en las que se encuentra la vía Loja-Vilcabamba.



5.1.1. *Recopilación y registro de Información sobre atropellamiento de la fauna silvestre*

Para la identificación de las especies más susceptibles y con mayor incidencia de atropellamiento en el tramo Loja-Malacatos-Vilcabamba en la provincia de Loja. Se reconocieron vertebrados que hayan sufrido colisiones con vehículos desde abril hasta junio del 2022, por 60 días (Anexo 1). Se revisaron dos segmentos de las carreteras: Loja-Malacatos y Malacatos-Vilcabamba, en periodos de dos o tres días a la semana. Esta vía fue elegida por encontrarse en el área de amortiguamiento el Parque Nacional Podocarpus, y por ser una zona de alto nivel de densidad vehicular por lo turístico que se ha convertido las parroquias de Malacatos-Vilcabamba.

Las horas de monitoreo variaron entre las 08h00 a las 17h00 dependiendo de las condiciones del clima y topografía del sector, se priorizó la buena visibilidad de los individuos, por lo cual se evitó el muestreo en días lluviosos, al interferir con la eficiencia de las observaciones y provocar un grado de peligro al ser una zona de deslaves y crecidas de quebradas secas. No se consideró el monitoreo en los periodos nocturnos por la falta de visibilidad, peligrosidad de la vía y por lo que los ejemplares atropellados permanecieron en la vía al día siguiente. Para evitar sesgos en los resultados, el muestreo se realizó en un vehículo particular a una velocidad constante de 40 km/h, siendo el observador la misma persona en cada ocasión y deteniéndose donde se detecte la presencia de algún animal muerto.

Se siguió la metodología de Medrano-Vizcaíno (2015), la información para cada individuo se registró en un formato de plataformas abiertas de recolección de datos en campo y con la ayuda de programas de manejo de información geográfica, donde se fotografió y georreferenció cada individuo con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en ingles). En la aplicación Epicollect5 v4.2.0 se generó un proyecto para ingresar los registros de animales atropellados en Ecuador, permite crear entradas en donde se registra cada individuo atropellado y se puede exportar a una base de datos con todas las observaciones creadas (Epicollect5, 2022). La identificación taxonómica de especies de cada individuo se llevó a cabo por medio de fotografías de los animales atropellados y mediante revisión de literatura especializada (e.g., Ridgely y Greenfield, 2001; Tirira, 2007; Albuja et al., 2012; Valencia y Garzón, 2011).

5.1.2. Efecto de las coberturas vegetales sobre los eventos de atropellamiento y atributos del paisaje.

Se obtuvieron datos especiales de los atributos del paisaje que podrían explicar los atropellamientos, a través del Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológicas (MAE, 2013) (Figura 2), las principales variables de atributos de paisaje son: anchura de la vía, acercamiento a zonas pobladas, distancia a puentes, proximidad a afluentes y cobertura vegetal. La cobertura vegetal es la variable que se examinó en el alcance de este trabajo, las coberturas seleccionadas para el estudio fueron la zona antrópica (ZA), la tierra agropecuaria (TA) y la tierra forestal/arbustiva (TF/A), se consideraron estas variables para entender los efectos de la disponibilidad de recursos, refugio e intervención humana en la mortalidad de fauna. Las coberturas de tierra se obtuvieron con la ayuda del shape de cobertura de tierra (nivel 1), los mismos se obtuvieron del centro geomático virtual del Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica-SIGTIERRAS.

5.1.3. Medición de la densidad vehicular como factor de mortalidad de la fauna.

La densidad del tráfico vehicular se determinó con los valores extrapolados de la base de datos brindada por el observatorio de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), esta base de datos reúne información referente a las variables de tráfico del cantón y la provincia de Loja, a través de un sensor ubicado en el sector de Nangora, que consta de contadores neumáticos y visor en plataforma web (SmartLand UTPL, 2019).

La categorización de la intensidad vehicular se llevó a cabo a través de los niveles de tráfico promedio diario (TPD), bajo: <2500 vehículos/día; medio: 2500 a 10000 vehículos/día y Alto: >10000 vehículos/día. Con ellos se podrá determinar que, en tráfico menor, existe menor impacto y se da mejor el cruce animal o en un tráfico medio aumenta considerablemente la muerte de los individuos (Clevenger y Huijser 2011). El análisis se describe en la sección 5.3 sobre análisis estadístico.

5.2. Ubicaciones idóneas para medidas de mitigación

El planteo de las medidas de prevención, mitigación y control, para disminuir el impacto en contra de las especies silvestres, se llevó a cabo determinando las áreas claves de mitigación tomando en cuenta los problemas abordados en este trabajo y las oportunidades que presentan los recursos naturales. Las medidas de mitigación se aplicaron adaptadas a las características

paisajísticas de cada zona, cada medida de acoplarse en conjunto, para disminuir los efectos negativos de la carretera, la velocidad de circulación de los vehículos es la principal causa de la mortalidad en las carreteras (Nigro y Lodeiro Ocampo 2009).

La recopilación y análisis de datos permitió la realización de un mapa de calor, este recurso gráfico plasma la densidad y distribución de caracteres muestreados en un área determinada. Las áreas con mayor densidad de atropellamientos representadas con puntos rojos (3 o más atropellamientos). Estos hotspots se clasificaron como sitios idóneos que facilitaron la toma de decisiones de proyectos que mitiguen el atropellamiento de fauna. Este análisis se elaboró mediante un mapa con una capa de cobertura de tierra a una escala paisajística de 300 m (Figura 10), los shapes de cobertura vegetal que se necesitaron para este mapa se obtuvieron del SIGTIERRAS, se reconocieron 3 tipos de cobertura vegetal para este estudio; la zona antrópica (ZA), tierra forestal/arbustiva (TF/A) y tierra agropecuaria (TA). El acoplamiento de los datos de muestreo al mapa se logró a través de la extrapolación de los datos ingresados en la aplicación Epicollect5 v4.2.0 en el programa Qgis versión 2.14 (QGIS Team Developer, 2014), este programa cuenta con las herramientas para realizar las agrupaciones de los individuos por cobertura vegetal, así se calculó la densidad de los individuos atropellados en la vía, siendo las áreas que presentaron la mayor agrupación de estos incidentes las determinadas como puntos calientes.

5.3. Análisis estadístico

Para determinar si existe diferencias en el número de vertebrados atropellados entre las coberturas de tierra y las colisiones vehiculares y las colisiones vehiculares a la fauna silvestre, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis, con corrección de Bonferroni con nivel de confianza de 95 % en el software estadístico IBM SPSS Statistics 25 (IBM Support, 2022), debido a que los datos son no paramétricos y no presentan normalidad. El valor de p (Sig.) determina si las variables provienen o no de la misma población, por lo tanto, si es menor que 0,05 (nivel de significancia), se infiere que alguna de las tres coberturas es diferente entre ellas. Complementario a esto se realizó una Prueba de Dunn para determinar qué grupos de variables son distintas entre ellas, y determinar qué cobertura vegetal es la que más influye en los atropellamientos de individuos (Berlanga Silvestre y Rubio Hurtado, 2012).

Para identificar si las variables densidad vehicular e individuos atropellados ejercen una influencia entre ellas, se implementó el diagrama de dispersión de Pearson, el coeficiente de

correlación toma valores comprendidos entre -1 y 1 . Cuanto más próximo a 0 el coeficiente de correlación lineal (r), menor será la relación entre los datos, y mientras más se acerque a 1 mayor será dicha relación; su signo indica si se da una relación positiva o negativa entre las variables x e y (Hernández-Lalinde. et al., 2018). Al obtener el número de vehículos que atraviesan los tramos Loja-Malacatos-Vilcabamba en la unidad de tiempo previsto, se ilustra a través del diagrama de dispersión, la asociación de estas variables continuas es positiva o negativa y remarca la asociación de las mismas, mientras más dispersos estén los puntos de la línea de tendencia menor es la correlación entre las variables, este análisis se llevó a cabo utilizando el software estadístico IBM SPSS Statistics 25 (IBM Support, 2022).

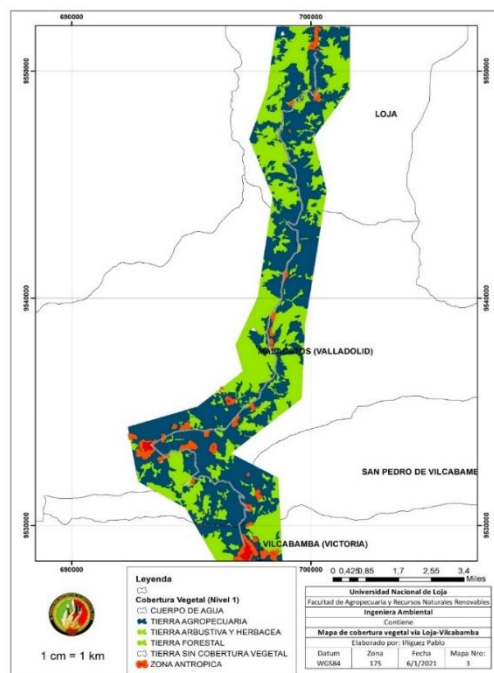
6. Resultados

6.1. Recopilación y registro de Información sobre atropellamiento de la fauna silvestre

Se obtuvo un mapa de uso de suelo, para el área de estudio donde se pudo identificar tres tipos de uso de cobertura vegetal seleccionadas para el estudio (Figura 2):

Figura 2

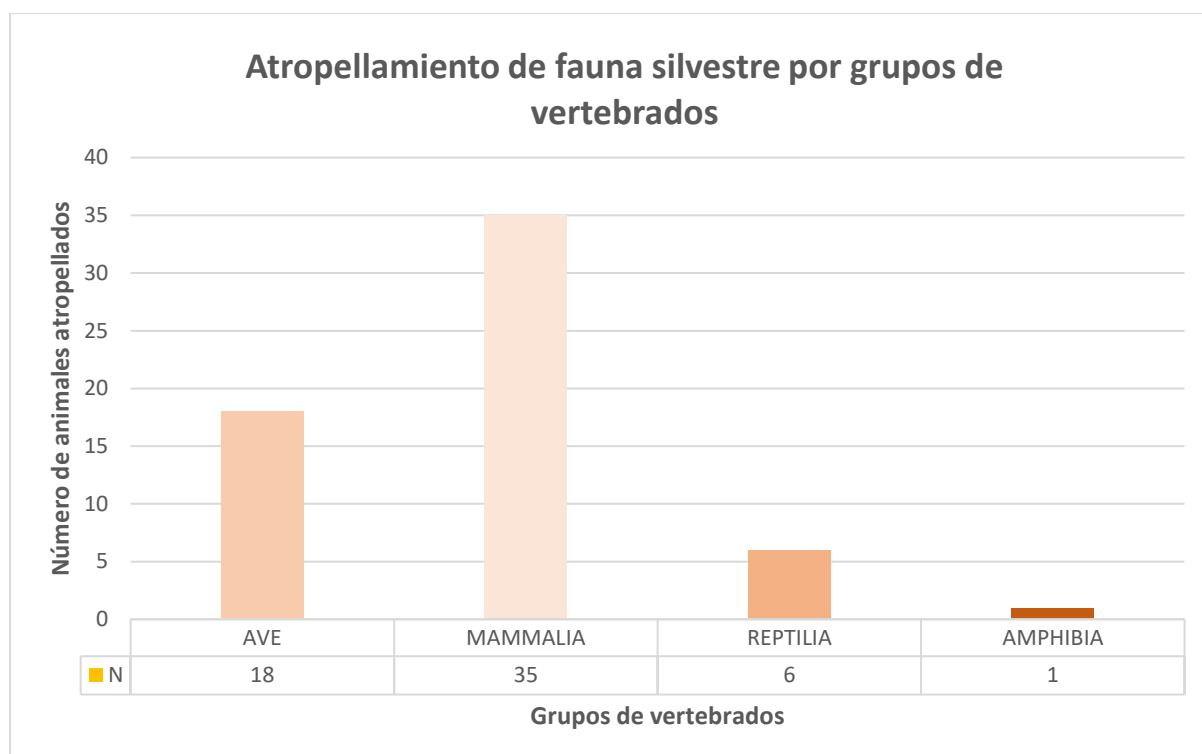
Mapa de cobertura vegetal de la vía Loja-Vilcabamba, se destacan los tres tipos de cobertura vegetal seleccionada para el estudio; Zona antrópica (ZA), tierra agropecuaria (TA) y tierra forestal/arbustiva (TF/A).



En el estudio realizado en la vía Loja-Vilcabamba, se registraron 60 individuos atropellados, pertenecientes a 20 especies, 19 familias y 4 clases. La clase aves con 9 familias y 9 especies, la clase Mammalia con 5 familias y 6 especies, la clase Reptilia con 4 familias y 4 especies, la clase Amphibia con 1 familia y 1 especie (Figura 3).

Figura 3

Número de animales atropellados en la vía Loja-Vilcabamba, agrupados por clase, entre los meses de abril, mayo y junio del 2022



Mammalia fue la clase con mayor incidencia de atropellos (n=35; 58.33%), seguido por las aves (n=18; 30%), reptiles (n=6; 10%) y, anfibios (n=1; 1.66), las especies que fueron registradas en el muestreo se indican en la tabla 1, las especies con mayor incidencia de atropellamiento fueron: *Didelphis marsupialis* Linnaeus, 1758 (n=17; 28.33%), *Cricetidae* sp (n=6; 10%) de la clase Mammalia, *Furnarius leucopus* Swainson, 1838 (n=8; 13.33%), *Turdus fuscater* Orbigny y Lafresnaye, 1837 (n=2; 3.33%) de la clase aves; *Bothrops* sp (n=3; 5%) de la clase Reptilia y; *Leptodactylus* sp (n=1; 1.66) de la clase Amphibia (orden Anura).

Tabla 1

Registro de individuos atropellados y porcentaje correspondiente mediante 16 muestreos entre los meses de abril, mayo y junio del 2022

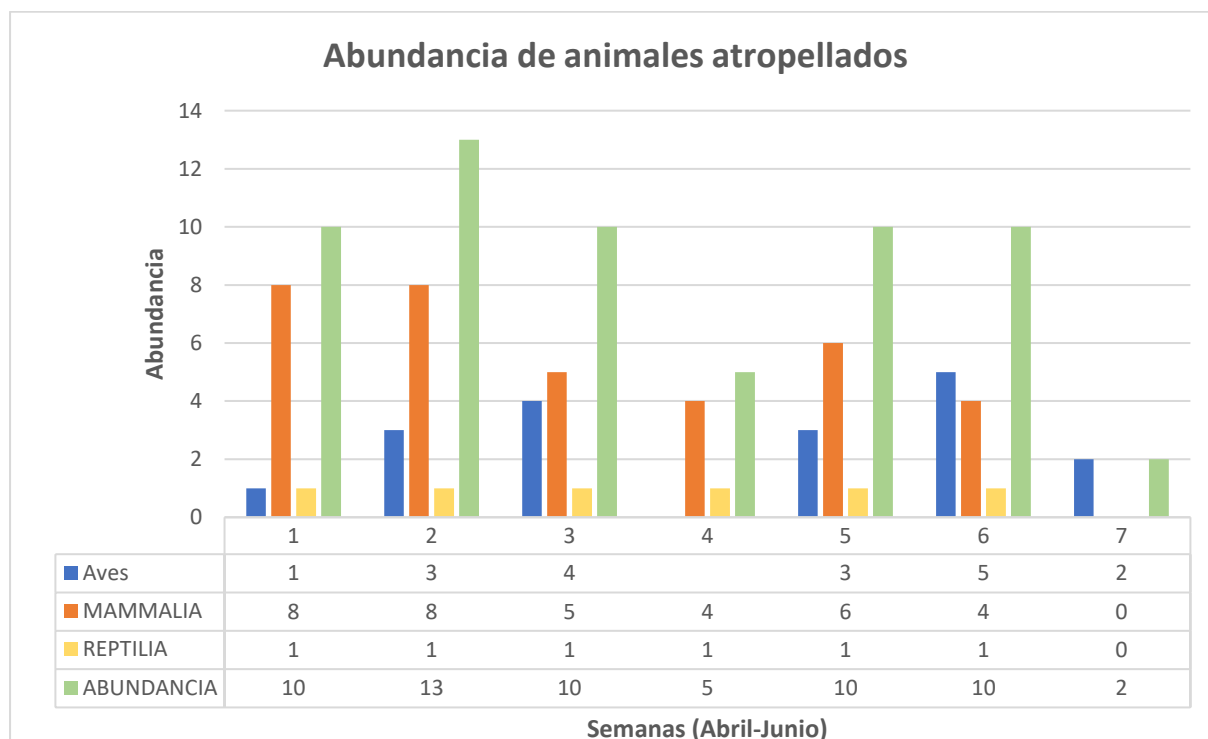
	Taxón	N	Porcentaje de individuos atropellados
Familia	Especie		
Aves		18	30,00
Cardinalidae	<i>Pheucticus chrysopheplus</i> (Vigors, 1832)	1	1,67
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i> (Bechstein, 1793)	1	1,67
Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i> Swainson, 1827	1	1,67
Turdidae	<i>Turdus fuscater</i> Orbigny y Lafresnaye, 1837	2	3,33
Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	8	13,33
Icteridae	<i>Dives warczewiczi</i> (Cabanis, 1861)	2	3,33
Psittacidae	<i>Forpus coelestis</i> (Lesson, 1847)	1	1,67
Thraupidae	<i>Sicalis flaveola</i> (Linnaeus, 1766)	1	1,67
Troglodytidae	<i>Campylorhynchus fasciatus</i> (Swainson, 1838)	1	1,67
Mammalia		35	58,33
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	17	28,33
	<i>Didelphis pernigra</i> J.A.Allen, 1900	5	8,33
Cricetidae	Cricetidae sp.	6	10,00
Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i> (Linnaeus, 1758)	3	5,00
Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i> (Boddaert, 1785)	1	1,67
Sciuridae	<i>Simosciurus stramineus</i> (P. Gervais, 1841)	3	5,00
Reptilia		6	10,00
Elapidae	<i>Micrurus mipartitus</i> (Duméril, Bibron & Duméril, 1854)	1	1,67
Dipsadinae	<i>Atractus carrioni</i> Parker, 1930	1	1,67
Viperidae	<i>Bothrops</i> sp.	3	5,00
Gymnophthalmidae	Gymnophthalmidae sp.	1	1,67
Amphibia		1	1,67
Leptodactylidae	<i>Leptodactylus</i> sp.	1	1,67
Total		60	100,00

El registro de individuos atropellados no presentó una distribución anómala de atropellamientos entre semanas, obteniendo un número de individuos similar en 5 de las 7

semanas de muestreo, a excepción de la semana 4 y 7 con un total de 5 y 2 individuos respectivamente, la semana con mayor incidencia fue la segunda perteneciente al mes de mayo con un total de 13 individuos muestreados (Figura 4).

Figura 4

Abundancia semanal de vertebrados atropellados en los meses de abril, mayo y junio del 2022, en 41,6 km de la vía Loja-Vilcabamba, agrupados por clase.



Los individuos muestreados por semanas se indican en el anexo 2, las especies *Didelphis marsupialis* y *Furnarius leucopus* presentaron el mayor número de ejemplares por semana con 5 atropellamientos en la semana 2 y 6, respectivamente.

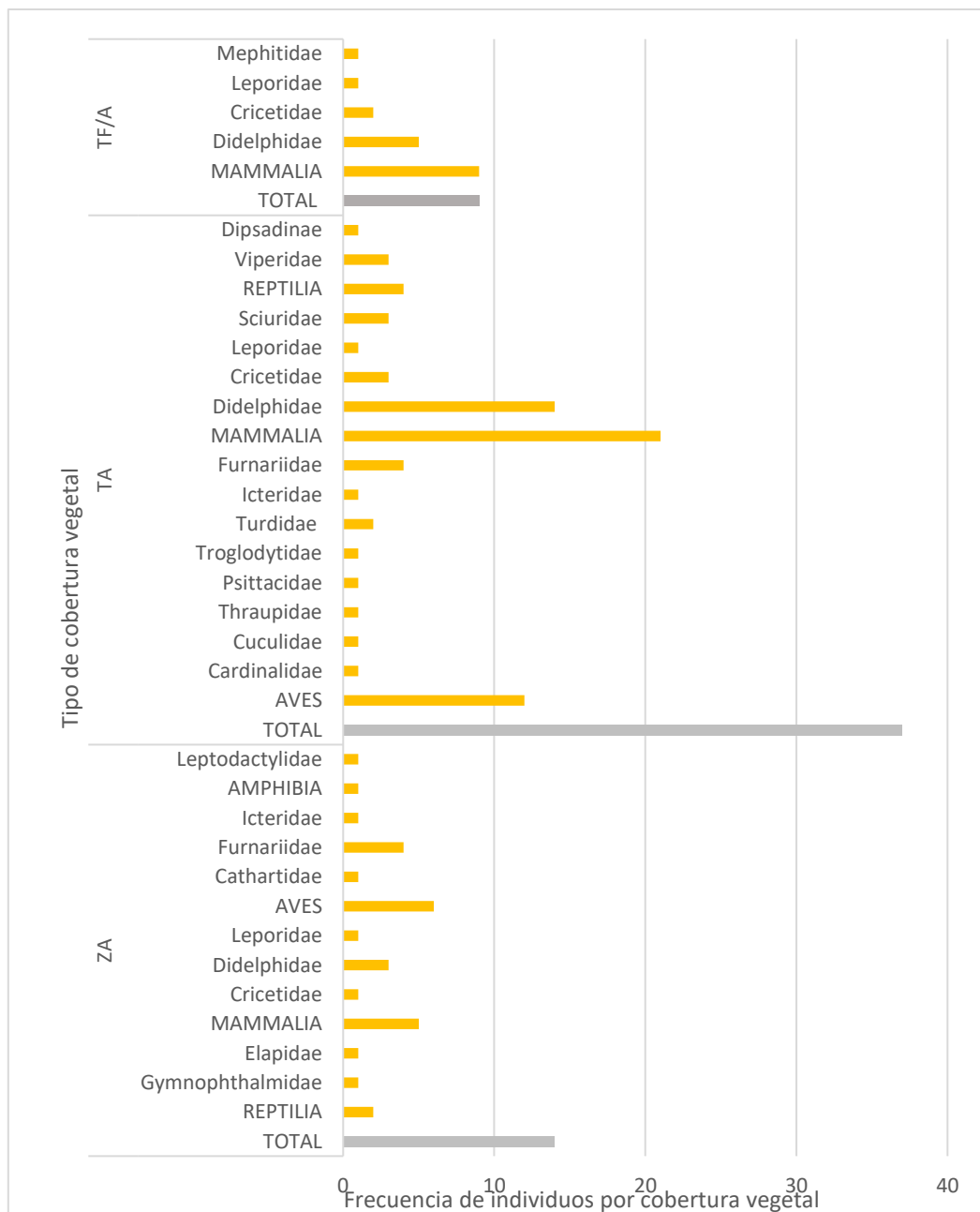
6.2.Efecto de las coberturas vegetales sobre los eventos de atropellamiento y atributos del paisaje

Las coberturas vegetales analizadas fueron la zona antrópica (ZA), la tierra agropecuaria (TA) y la tierra forestal/arbustiva (TF/A). Se observó que la tierra agropecuaria (TA) presentó la mayor cantidad de eventos de atropellamiento con 37 individuos muestreados (61.67%), seguida por la cobertura zona antrópica donde se encontraron 14 individuos (23.33%) y finalmente cobertura tierra forestal/arbustiva presentó la menor cantidad de individuos atropellados con 9 ejemplares (15%) (Figura 5), cada cobertura vegetal presentó un

tipo de orden predominante; la zona antrópica por el orden aves (6), la zona tierra agropecuaria y la zona tierra forestal/arbustiva por el orden Mammalia (21 y 9 respectivamente).

Figura 5.

Frecuencia de los individuos atopados por cobertura vegetal en la vía Loja–Vilcabamba entre los meses de abril, mayo y junio del 2022, las etiquetas en mayúscula presentes en cada tipo de cobertura vegetal, representan la clase de cada especie registrada y el total de individuos de las mismas.



Nota. Zona antrópica (ZA), tierra agropecuaria (TA) y tierra forestal/arbustiva (TF/A).

Las coberturas vegetales presentaron diferencias significativas en los atropellamientos de individuos, el análisis de Kruskal Wallis muestra una diferencia significativa ($p < 0.0052$), demuestra que existe diferencia entre la distribución de los atropellamientos de individuos por cobertura vegetal (Tabla 2). Existe por lo tanto una influencia moderada con la frecuencia de atropellamientos habiendo una variabilidad entre las coberturas, representado con el $p < \text{valor}$ que indica la probabilidad de que sugiera de manera al azar los atropellamientos en las coberturas del estudio, lo que sugiere que las coberturas con alteración del hábitat, en el tramo Loja-Malacatos-Vilcabamba, inciden en la cantidad de atropellamiento a diferencia de las zonas más conservadas.

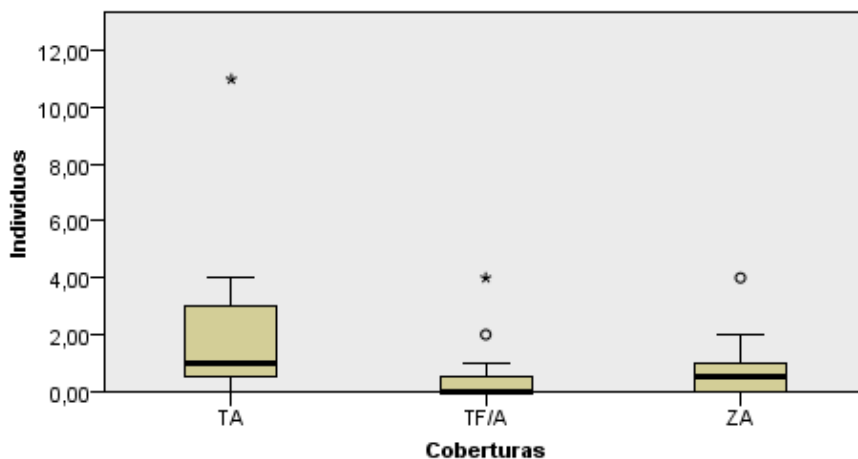
Tabla 2

Prueba de Kruskal Wallis para las 3 variables de cobertura vegetal seleccionadas.

Variable	N	Medias	H	p
TA	20	1,85	8,72	0,0052
TF/A	20	0,45		
ZA	20	0,7		

Figura 6

Diagrama de flujo de cajas y bigotes donde se representan las medianas de los eventos de atropellamiento en relación a las coberturas vegetales. Zona antrópica (ZA), tierra agropecuaria (TA) y tierra forestal/arbustiva (TF/A)

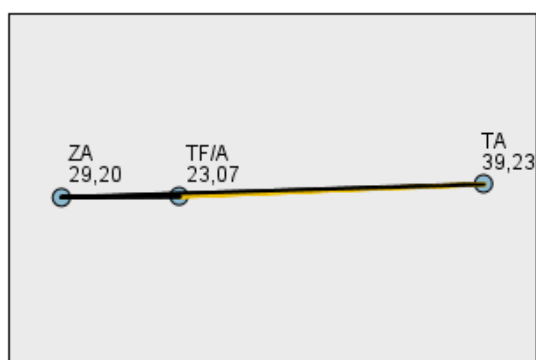


La comparación de medias de las coberturas indica que la tierra forestal/arbustiva y tierra agropecuaria presenta la mayor diferencia significativa entre las coberturas, siendo TA

la cobertura con mayor número de atropellamientos (37), y es donde se presenta dos de los tres hotspots de atropellamiento, mientras que TF/A presentó el menor número de individuos (9) (Figura 7).

Figura 7

Comparación entre parejas en las coberturas vegetales: Zona Antrópica (ZA), Tierra Agropecuaria (TA) y Tierra Forestal y Arbustiva (TF/A), a través de la prueba Dunn



Cada nodo muestra el rango promedio de muestras de Coberturas.

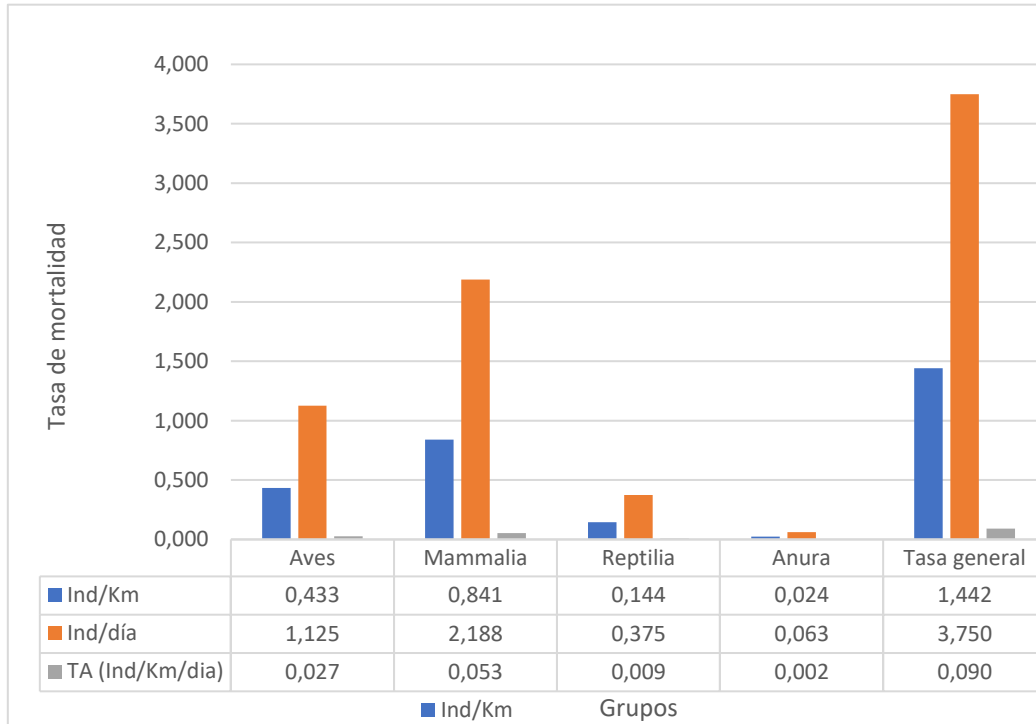
Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
TF/A-ZA	-6,125	5,070	-1,208	,227	,681
TF/A-TA	16,150	5,070	3,185	,001	,004
ZA-TA	10,025	5,070	1,977	,048	,144

6.3. Medición de la densidad vehicular como factor de mortalidad de la fauna

La tasa de atropellamiento de la vía Loja–Vilcabamba que consta de 41,6 km fue de 1,442 Ind/Km, los índices kilométricos también obtenidos fueron, Individuo/día (3,75) e Individuo/Km/día con una tasa general de 0,090. La tasa de atropellamiento más alta registrada pertenece a los mamíferos 0,053 Ind/Km/día, seguida por las aves 0,027 Ind/Km/día, reptiles 0.009 Ind/Km/día y en menor cantidad los anfibios con 0,002 Ind/Km/día (Figura 8).

Figura 8

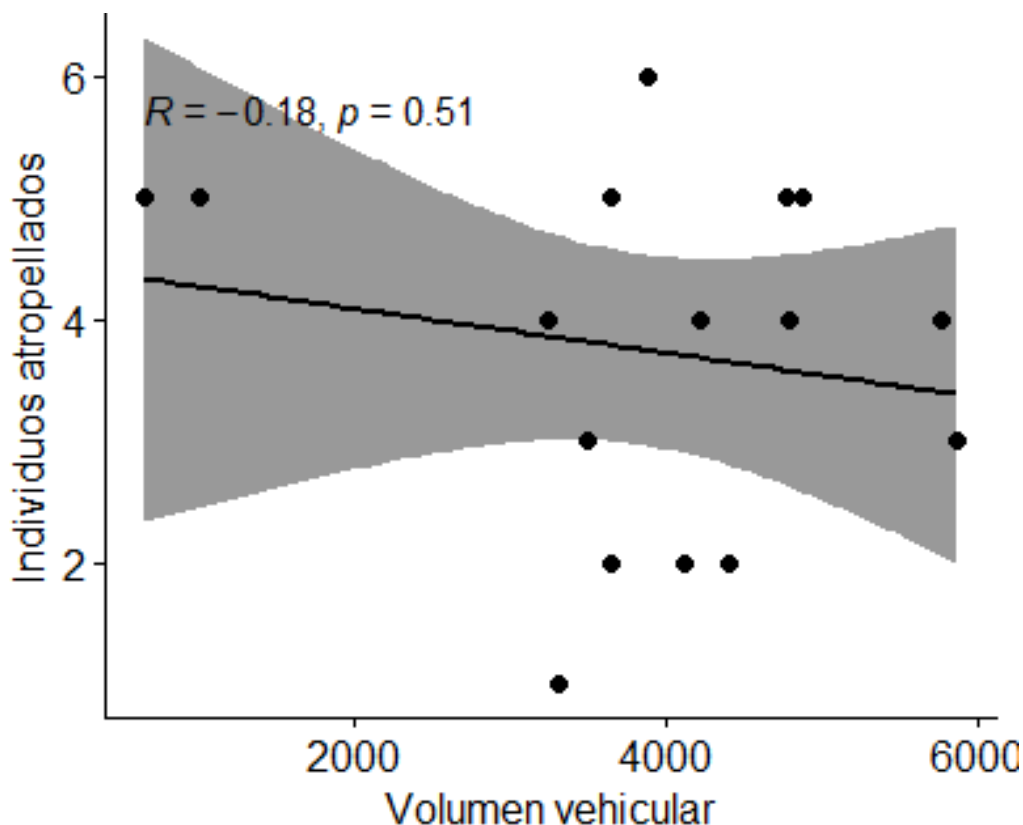
Índice kilométrico de atropellamiento de vertebrados en la vía Loja–Vilcabamba entre los meses de abril, mayo y junio del 2022



Por otra parte, en la variable volumen vehicular podemos concluir que las variables no están significativamente correlacionadas sobre la presencia de los individuos atropellados, el valor p de la prueba es mayor que el nivel de significación alfa ($p < 0,05 = 0,51$) (figura 9), la correlación de Pearson presentó una correlación negativa muy débil ($r = -0,18$). El mayor número de individuos atropellados se presentaron entre el rango de 3000 a 5000 vehículos (figura 9), no se demostró una relación en el alza del volumen vehicular con el aumento de individuos atropellados, esto se evidencia principalmente en el muestreo 13 (5871 vehículos: 3 individuos atropellados), al ser el muestreo con mayor flujo vehicular también fue el muestreo con uno de los menores números de animales atropellados (Anexo 1). El gráfico de correlación de las variables, refleja lo disperso de los puntos hacia la línea central, mostrando una leve inclinación negativa.

Figura 9

Gráfico de correlación de las variables volumen vehicular y número de individuos atropellados en el tramo Loja-Vilcabamba



Nota. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

6.4. Medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el impacto en contra de las especies silvestres.

6.4.1. Ubicaciones idóneas para medidas de mitigación

El análisis de las zonas de mayor incidencia de atropellamiento, se llevó a cabo a una escala de 500 metros, se identificaron 3 puntos rojos (Figura 10). El primer punto rojo está ubicado en el Km 8 de la vía Malacatos-Vilcabamba (E682), esta área posee una cobertura predominante de tierra agropecuaria, ubicada en el barrio Rumishitana, esta área es una recta de aproximadamente 500 metros que se encuentra rodeada por los dos lados de la vía por especies arbustivas, en este punto se identificaron cinco individuos atropellados: tres zarigüeyas (*Didelphis marsupialis* y *Didelphis pernigra*), una serpiente (*Bothrops* sp.), y un ave (*Furnarius leucopus*). El segundo punto rojo fue identificado a la salida de Malacatos en km 33

de la vía de Vilcabamba (E682), esta área fue identificada también como cobertura de tierra agropecuaria, situada en el barrio Cabianga a la salida de Taxiche, este segmento de la vía es una recta de unos 400 metros que se encuentra rodeada por asentamientos humanos con cercos vivos al filo de la vía y áreas arbustivas, aquí se encontraron seis atropellamientos: 1 zarigüeya (*Didelphis marsupialis*) y, cinco aves (*Furnarius leucopus*, *Forpus coelestis*, *Dives warczewiczi*, *Campylorhynchus fasciatus* y *Crotophaga sulcirostris*). El tercer punto se ubicó en la entrada a Vilcabamba en el Km 41 de la vía (E682), la cobertura predominante en esta zona se identificó como Zona Antrópica, este segmento se encuentra en una recta de 800 metros en donde el lado derecho de la vía se encuentra ocupado por áreas arbustivas y el lado izquierdo por asentamientos humanos, se registraron cinco atropellamientos: una zarigüeya (*Didelphis marsupialis*), un conejo (*Sylvilagus brasiliensis*), dos aves (*Dives warczewiczi* y *Coragyps atratus*) y, una lagartija (*Gymnophthalmidae* sp) (Tabla 3).

Tabla 3

Ubicaciones de los puntos rojos de incidencia de atropellamiento de especies en el tramo Loja-Vilcabamba

PUNTOS ROJOS de incidencia de atropellamiento (vía Malacatos-Vilcabamba; E682)		
Ubicación	Cobertura vegetal	Especies identificadas
Punto 1 (Km 8)	tierra agropecuaria	<i>Didelphis marsupialis</i> y <i>Didelphis pernigra</i> <i>Bothrops</i> sp. <i>Furnarius leucopus</i>
Punto 2 (Km 33)	tierra agropecuaria	<i>Didelphis marsupialis</i> <i>Furnarius leucopus</i> <i>Forpus coelestis</i> <i>Dives warczewiczi</i> <i>Campylorhynchus fasciatus</i> <i>Crotophaga sulcirostris</i>
Punto 3 (Km 41)	Zona Antrópica	<i>Didelphis marsupialis</i> <i>Sylvilagus brasiliensis</i> <i>Dives warczewiczi</i> <i>Coragyps atratus</i> <i>Gymnophthalmidae</i> sp

6.4.2. Medidas de prevención, mitigación y control

En cuanto a las medidas de mitigación directas, estas se ubicarían en los sitios identificados como hotspots (puntos rojos). Para realizar estas acciones se deben integrar sus especificaciones a las características paisajísticas del sector y los alcances financieros del municipio de la zona. Las medidas tomadas están relacionadas directamente a la velocidad de los vehículos que transitan, ya que ésta es la mayor causa de atropellos de individuos, por lo cual se han planteado la implementación de medidas como: (1) reductores de velocidad; (2) reflectores luminosos; y, (3) Señalética (Tabla 4).

Tabla 4

Medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el impacto en contra de las especies silvestres en la vía Loja-Malacatos-Vilcabamba.

Medidas de prevención, mitigación y control						
Objetivo:	Plantear medidas de prevención, mitigación y control para disminuir el impacto en contra de las especies silvestres en la vía Loja-Malacatos-Vilcabamba.					
Área de cobertura	Tierra agropecuaria y Zona Antrópica (3 puntos críticos)					
Ejecutores:	Gad parroquial, Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.					
Identificación	Estrategia propuesta			Coordenada GPS		Frecuencia
Lugar	Medida	Descripción	Inicio		final	
			Latitud	Longitud	Latitud	Longitud

Punto Crítico 1 (Km 8)	Señalética	La señalética debe ser fácil de interpretar y debe brindar el mensaje correcto a la ciudadanía, el pictograma elegido debe reflejar el peligro hacia la diversidad de fauna, como al conductor, reforzada con las medidas de velocidad.	4° 7'59.80"S	79°12'11.78"O	4° 8'12.46"S	79°12'11.88"O	Permanente
Identificación	Estrategia propuesta		Coordenada GPS				Frecuencia
Lugar	Medida	Descripción	Inicio		final		
			Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
		El dimensionamiento de la señalética elegida se regirá con lo estipulado en la RTE INEN 004-1:2011					
		El tramo de estudio presenta características idóneas para su ubicación debido a su planicie y espacios libres en los extremos de los tramos (una recta de aproximadamente 500 metros) , de igual forma, la advertencia debe referirse a tramos menores a 1 Km para evitar la aclimatación de los conductores					
Punto Crítico 2 (Km 33)	Reflectores luminosos	Los reflectores luminosos son dispositivos que se ubican en los márgenes de la carretera, cumplen la función de reflejar la luz de los faros de los autos en dirección a las zonas cercanas inmediatas.	4°13'44.40 "S	79°14'26.50"O	4°13'50.69" S	79°14'34.32" O	Anual

		Este segmento de la vía es una recta de unos 400 metros que se encuentra rodeada por asentamientos humanos con cercos vivos al filo de la vía y áreas arbustivas, se deben ubicar alrededor de los árboles o adheridos a postes u otros elementos que sirvan como base.					
Identificación	Estrategia propuesta		Coordenada GPS				Frecuencia
Lugar	Medida	Descripción	Inicio		final		
			Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
		Para que su eficiencia sea mayor se debe ubicar los reflectores en distintas locaciones después de algún periodo de tiempo, ya que los animales se acostumbran a su función y no son percibidos como una alerta					
	Señalética	La señalética debe ser fácil de interpretar y debe brindar el mensaje correcto a la ciudadanía, el pictograma elegido debe reflejar el peligro hacia la diversidad de fauna, como al conductor, reforzada con las medidas de velocidad.	4°13'44.40 "S	79°14'26.50"O	4°13'50.69" S	79°14'34.32" O	Permanente
		El dimensionamiento de la señalética elegida se regirá con lo estipulado en la RTE INEN 004-1:2011					

		El tramo de estudio presenta características idóneas para su ubicación debido a su planicie y espacios libres en los extremos de los tramos (recta de unos 400 metros), de igual forma, la advertencia debe referirse a tramos menores a 1 Km para evitar la aclimatación de los conductores					
Identificación	Estrategia propuesta		Coordenada GPS				Frecuencia
Lugar	Medida	Descripción	Inicio		final		
			Latitud	Longitud	Latitud	Longitud	
Punto Crítico 3 (Km 41)	Reductores de velocidad	Instalación de reductores de velocidad identificados como bandas transversales de alerta (BTA), dispuestos por el ministerio de transporte y obras públicas.	4°15'11.55 "S	79°13'28.04" O	4°15'27.87"S	79°13'23.24" O	Permanente
		Las bandas transversales se adaptan a este segmento de vía, ya que se recomiendan ser utilizadas en áreas delimitadas y con contrastes nítidos.					
		Las bandas transversales a causa del producto de difusión ulterior (Material reflectante), alcanzan una visibilidad alta por las noches.					

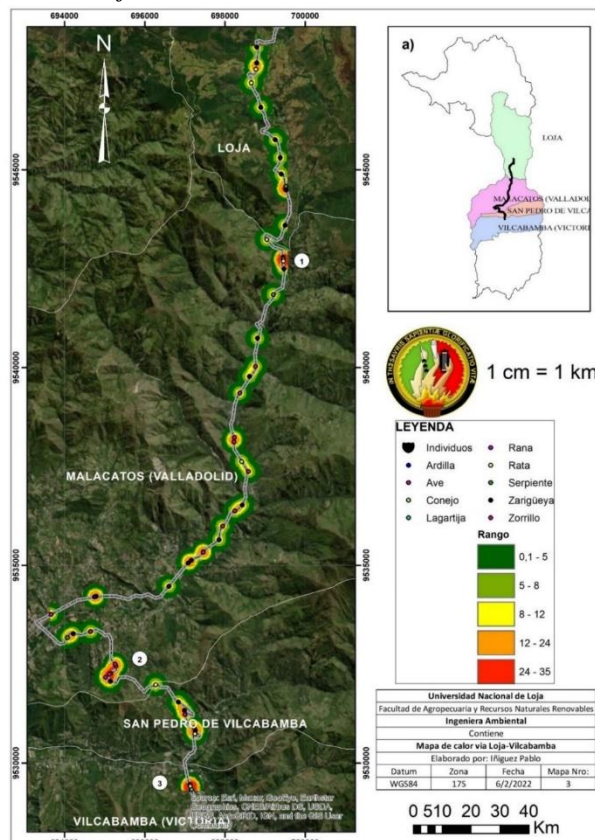
Señalética	<p>La señalética debe ser fácil de interpretar y debe brindar el mensaje correcto a la ciudadanía, el pictograma elegido debe reflejar el peligro hacia la diversidad de fauna, como al conductor, reforzada con las medidas de velocidad.</p>					Permanente
	<p>El dimensionamiento de la señalética elegida se regirá con lo estipulado en la RTE INEN 004-1:2011</p>					
	<p>El tramo de estudio presenta características idóneas para su ubicación debido a su planicie y espacios libres en los extremos de los tramos (recta de unos 800 metros), de igual forma, la advertencia debe referirse a tramos menores a 1 Km para evitar la aclimatación de los conductores</p>					

Una medida que no se aplica de manera directa dentro de los hotspots de la vía, pero que influye a la prevención de incidentes es la educación ambiental, para generar un cambio en la sociedad, se debe generar un conocimiento generacional, la conciencia ambiental sobre la preservación de la fauna silvestre, se debe generar en programas educativos y viales, a cargo del ministerio de Educación de cada país o entidad a cargo y a través del ministerio de transporte y vías; la información ambiental aplicada en los cursos de manejo es de relevancia para generar valores ambientales y reconocimiento de señales de conservación de fauna, la empatía al momento de observar a un animal en la vía y reducir la velocidad genera cambios, por ende, dar a conocer el riesgo, consecuencias y efectos de la muerte de la fauna crea la conciencia y una convivencia compartida.

Se debe analizar las realidades económicas de cada municipio y plantear medidas que sean económicamente factibles, y con un costo-beneficio viable, por ende, se estima que las 3 medidas planteadas (reductores de velocidad, reflectores luminosos y señalética) son las que mejor se acomodan a este tipo de vía.

Figura 10

Mapa de calor de la vía Loja-Vilcabamba, a) mapa vial del Ecuador donde se indica la provincia de Loja y el cantón Loja



7. Discusión

La mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento es una problemática poco abordada en el país. Siendo el Neotrópico un lugar con diferentes condiciones, la generación de información por regiones es relevante para una mejor conceptualización del problema. Se determinó la tasa de mortalidad de fauna silvestre en el tramo Loja-Malacatos-Vilcabamba de 0,090 individuos/Km/día. Este resultado fue mayor a lo reportado por Medrano-Vizcaíno (2015) en la provincia de Napo, en los cantones: Quijos, El Chaco y Archidona (0,063 individuos/km/día).

Difieren nuestros resultados de igual manera con el estudio realizado En Papallacta, Napo-Ecuador, en el tramo vial Baeza durante 72 días se encontraron 445 animales muertos con una tasa diaria promedio de atropellos de 6,24 individuos por cada 100 km (Medrano-Vizcaino y Espinosa, 2021). En el estado de Portuguesa en Venezuela un estudio refleja un índice mayor de individuos atropellados por Km, donde, se encontraron 0,22 individuos/km/día en un transecto de 80 km, el contraste de resultados se debe a las diferentes características de las áreas de estudio, factores como: tipos de hábitats (matriz de pastizales y sabanas, con relictos boscosos, cultivos y otros tipos de cobertura), clima, altitud y latitud; así mismo, varían dependiendo de la metodología utilizada, características geográficas y ecológicas de las áreas de estudio (Seijas et al., 2013).

Se reporto una tasa mayor de atropellamiento en fauna En Magdalena, Colombia, en un transecto de 45 km de la vía Parque Nacional Natural Isla Salamanca y la vía del Parque Nacional Natural Tayrona (34 km), en un total de 18 muestreos por transecto se obtuvo para el segmento 1: 0,16 Ind/km; y para el segmento 2: 0,12 Ind/km (Adárraga-Caballero & Gutiérrez-Moreno, 2019). En el cantón Tena, provincia de Napo-Ecuador, se obtuvieron 593 vertebrados muertos, en 50 días de recorrido de la vía de 15,9 Km, lo que implica una estimación de atropellos de 0,75 Ind/Km/Día (Filius et al., 2020). La tasa de Ind/Km/Día en este muestreo comparada con la de los otros estudios, principalmente de Ecuador es levemente más alta, aun así, todas las especies de individuos muestreadas no se encuentran en peligro, así mismo, el número de individuos por Km varía dependiendo del tamaño del estudio y días de muestreo; al ser mayores estas variables, aunque el registro de individuo sea más prominente, el índice kilométrico disminuye.

Al igual que diversos estudios presentados localizados en el neotrópico, el tipo de carreteras consideradas como las coberturas colindantes crean sesgos en las comparaciones de las investigaciones, esto se visualiza en estudios hasta dentro del mismo país (Ferreira da Cunha et al., 2010).

Nuestros resultados indican que el grupo más vulnerable fue el de los mamíferos (0,053 Ind/Día). La tasa de atropellamientos registrada en este estudio difiere de lo reportado en Bañados del Río, provincia de Córdoba en Argentina, donde se registraron un total de 85 mamíferos en 94 km de transecto por un total de 3 meses (4 muestreos por mes), allí la densidad de atropellos fue de 0,090 ind/día (González-Calderón, 2020). En el estado de Sao Paulo, Brasil, se extrapolaron cifras de atropellamiento de mamíferos de todas las principales carreteras del estado con peaje (6580 Km), durante 2005 hasta 2014 se obtuvieron 0,6 ind/Km/Año (Abra et al., 2021). Esta variación de la tasa de atropellamiento es posible que resulte de las características de la zona como: vegetación alrededor, flujo vehicular y patrones de conducta de las especies, así como la abundancia de las especies atropelladas.

En este estudio, la zarigüeya fue la especie más atropellada (0,033 Ind/Km/día), estos datos coinciden con varios reportes de la región donde la frecuencia de *Didelphis marsupialis* fue la más alta (Payán et al., 2013; Seijas et al., 2013; Artavia, 2015; Castillo et al., 2015). En Napo-Ecuador, Medrano-Vizcaino (2015), también reportó la zarigüeya como la especie con mayor atropellamiento dentro del grupo de los mamíferos (0,02 individuos/km/día).

En el Ecuador *Didelphis marsupialis* se encuentra en todos los hábitats, factores como su abundancia, dieta y variedad de hábitats en donde persiste, explica la cantidad e influencia de esta especie para ser susceptible a atropellos. Debido a sus hábitos nocturnos y su alimentación que incluyen carroña (Castillo-R et al., 2015), al momento de ser alumbrados por las luces del vehículo se quedan inmovilizados, esto sumado a la poca movilidad para evadir los mismos, son componentes que influyen en los altos índices de atropellamiento (Omena et al., 2012). Al ser una especie muy abundante en todos los hábitats, también es percibida como una plaga debido a la depredación de cultivos frutales y animales de corral, por lo que su atropellamiento puede ser de manera intencional en algunos casos (Aponte, 2013).

La tasa de atropellamiento en este estudio fue de 3,75 individuos por día de muestreo, por lo tanto, se puede deducir siguiendo esta estimación que el promedio anual de atropellamiento de animales es de 1368 individuos en el área de estudio. Esta información durante el transcurso del año puede variar, debido a diferentes factores como estaciones del

año, volumen del tráfico vehicular, periodos de migración, depredadores y carroñeros que pueden causar sesgos en los resultados, así mismo, la visibilidad de los cadáveres depende de variables humanas y del terreno (Santos et al., 2011).

El tráfico vehicular como variable de incidencia sobre los eventos de atropellamiento no tuvo un impacto mayor en el estudio, al tener una significancia moderada no refleja un factor importante en la mortalidad de la fauna, resultados similares con Medrano-Vizcaino (2015) y Clevenger et al. (2003).

En lo referente a la incidencia de la cobertura vegetal sobre los atropellamientos de vertebrados, los resultados reflejaron que la mayoría de individuos muestreados son más frecuentes en áreas agropecuarias que colindan la vía (n=61,66 % de los individuos registrados). Estos datos concuerdan con Samaniego y Machado (2007), donde la mayor cantidad de individuos muestreados están relacionados a zonas que han sido transformadas en zonas de cultivo y pastoreo. De forma similar el estudio de Medrano-Vizcaino (2015), tuvo la mayor cantidad de atropellamientos (n=183; 40% de los individuos registrados) en zonas de pastoreo o agropecuarias. Sin embargo, estos datos difieren a lo encontrado en Orense, España, donde la menor mortalidad se presentó en hábitats más alterados y la mayor influencia de individuos se muestreo en áreas naturales (González-Prieto et al., 1993). En el noreste de la provincia de Córdoba, Argentina, González-Calderón (2020), los resultados demostraron que los tramos de carretera donde se registraron 85 mamíferos se caracterizaron por la presencia de zonas de cultivo. Las áreas agropecuarias donde se evidenció mayor número de casos presentan características viables para hábitats de mamíferos y los reptiles usan estas zonas abiertas para llevar a cabo su termorregulación (Filius et al., 2020), así mismo, diversas especies cruzan estas zonas fragmentadas por las vías para llegar a otros hábitats con mejores condiciones de recurso de alimentos o mejor conservadas, siendo vulnerables al impacto con vehículos (Medrano-Vizcaíno y Espinosa, 2021).

Las áreas con mayor concentración de individuos atropellados (hotspots), presentaron 16 individuos clasificados en 10 especies, en donde 6 mamíferos (5 zarigüeyas [*Didelphis marsupialis* y *Didelphis pernigra*] y 1 conejo [*Sylvilagus brasiliensis*]); 8 aves (2 *Furnarius leucopus*, 2 *Dives warczewiczi*, 1 *Forpus coelestis*, 1 *Campylorhynchus fasciatus*, 1

Crotophaga sulcirostris y 1 *Coragyps atratus*); 1 reptil (lagartija- *Gymnophthalmidae* sp); y se ubicaron en dos de las tres coberturas estudiadas: la zona antrópica y área agropecuaria. Estos datos difieren parcialmente con lo obtenido en Tena-Ecuador, donde los puntos hotspot se ubicaron en áreas de pastoreo únicamente (Medrano-Vizcaino, 2015), mientras que, estudios llevados a cabo al sur de California, los hotspot se presentaron cerca de áreas urbanizadas principalmente (Wilson, 2012), ya que en áreas altamente urbanizadas, su densidad vehicular y de vías es mayor a zonas rurales, generando una alta tasa de mortalidad de los animales que intentan cruzar los caminos a nuevos hábitats ocasionados por los parches de fragmentación.

La tierra agropecuaria fue la zona con mayor presencia de incidentes de fauna, estas zonas al ser formadas con características paisajísticas heterogéneas, en donde el uso de tierra y los patrones de cobertura fueron influenciados por la construcción de carreteras son comunes en las zonas del neotrópico (Freitas et al., 2010), la falta de recursos que se encuentran en estas zonas para la fauna silvestre y la alteración del hábitat son factores que inciden en la mayor cantidad de atropellamiento a diferencia de las zonas más conservadas. La afectación sobre la fauna silvestre es notable al encontrarse en cada muestreo individuos atropellados, sin contar las especies no visibles que caen a las orillas de la vía o son removidas por los aledaños de la zona y carroñeros, siendo posiblemente el número de atropellamientos mayor al registrado (Castillo-R et al., 2015). Por esta razón, el diseño de medidas o estrategias de mitigación para reducir el impacto en la vía son necesarios, para mejorar el movimiento de las especies hacia los parches de hábitats y por seguridad vial.

Los atropellos de la fauna al ser un problema socio-ambiental, están entrelazados a las actitudes ciudadanas, para generar avance en la conservación o actividades de protección, se deben aplicar herramientas de educación ambiental que informen y sensibilicen sobre las estrategias de mitigación. La educación ambiental en la sociedad ecuatoriana está enfocada a la concepción del ambiente como sujeto que debe ser preservado y protegido por hombres y mujeres y consta en el derecho ambiental de la constitución del Ecuador (Calero et al., 2016).

Se pueden replicar estrategias como la desarrollada en el cantón Saripiquí, Costa Rica, Carvajal (2014), donde se creó un programa de educación ambiental dirigida a los niños y padres de las escuelas del cantón; con la presentación de material didáctico y actividades se informó de la problemática con la enseñanza de asociar la muerte por atropello con la fragmentación del hábitat. En Salamanca, Chile, Piñones y Bravo (2020), impulsaron la iniciativa Fauna Impactada; generando relevancia en redes sociales por la cantidad de

voluntarios presentes, ayudando a formar una base de datos a nivel nacional de vertebrados nativos atropellados. En Napo, Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2020), a través de actividades como No más corazones verdes en las vías, informó a los conductores de los lugares sensibles a atropellos de fauna, por medio de corazones verdes pintados en la vía.

Las medidas de mitigación de este estudio se integraron según las características paisajísticas del sector y los alcances financieros del municipio de la zona, por lo cual se han planteado la implementación de medidas como: (1) reductores de velocidad; (2) reflectores luminosos; y, (3) Señalética.

Los reductores de velocidad es de las más utilizadas en el ajuste de la velocidad del vehículo, proporcionando tanto a los animales como a los humanos un mayor tiempo para evitarlos y evitar colisión (Seiler y Helldin, 2006). Los reductores de velocidad son franjas con relieve que se implantan en la superficie para que la vibración al momento del traspaso de vehículo genere una disminución en su velocidad, logrando así un freno exitoso o esquivar al animal silvestre (Benítez & Escalona-Segura, 2021). Esta medida es óptima ya que nuestros hotspots se encuentran en rectas por lo que la velocidad es el factor principal de los incidentes. Así mismo, esta estrategia se adapta principalmente a caminos con un volumen bajo de tráfico y con el apoyo de la comunidad en donde se efectúe (Jackson et al., 2015).

La reducción de velocidad en lugares limitados y rectos a través de obstáculos, ha obtenido resultados positivos en la disminución de atropellos (Jones 2000). Aun así, esta medida no es completamente eficaz para todas las especies, el estudio generado por DeVault, et al (2015), en el condado de Erie, OH, EE.UU., proporcionó ensayos con tordos cabecicafé en donde las aves lograron responder con tal rapidez para evitar colisiones virtuales con vehículos a baja velocidad (inferior a 120 km/h), pero a medida del aumento de la velocidad el tiempo de iniciación del vuelo disminuyó reduciendo la posibilidad de evitar la colisión, por ende, la velocidad en la que ocurren los atropellamientos varía dependiendo del comportamiento de cada individuo y en algunos casos la mortalidad de los animales se da por encuentros accidentales con vehículos (Hobday y Minstrell , 2008).

Los reflectores luminosos son franjas o dispositivos que se ubican dependiendo de las características de la vía, colocados en árboles, postes o algún elemento que sirva como base, cumplen la función de reflejar la luz de los faros de los autos hacia el exterior de la carretera, alertando a los animales aledaños y evitando el cruce de la vía. En España, en la comunidad de

Madrid (Real Automóvil Club de Cataluña, 2011), esta medida ha sido aplicada en las carreteras de Sierra del Rincón y Sierra de Guadarrama, distribuyendo 2000 prismas a lo largo de 27 Km teniendo una efectividad alta en el cruce de la fauna por la carretera.

La señalética que alerta la presencia de animales en la vía Loja–Vilcabamba ha sido instalada en el año 2021 donde se encuentran ubicados dos carteles ubicados en el km 5 y 34 respectivamente (Anexo 2). Este tipo de estrategias funciona para implementar medidas de prevención de manera eficiente, los lugares en los que se han ubicado en reflejo a los resultados de este estudio han sido los incorrectos al no encontrarse en los puntos rojos. La señalética es una de las medidas más eficiente en la prevención de atropellamiento de fauna, esto se evidencia en Suiza donde se redujo la mortalidad en un 80%, se asume que su implementación en nuestro país podría traer resultados positivos, además su costo es bajo (RACC 2011). En Castilla y León, España, (Real Automóvil Club de Cataluña, 2011), se instalaron 294 carteles de señalética en 122 tramos de concentración de accidentes con animales, con ello se logró que en 40 tramos no se registre ningún accidente, mostrando una eficiencia del 100% en un tercio de los tramos.

La ubicación de los hotspot y el flujo vehicular medio que presenta la vía, ayuda a la combinación de los reductores de velocidad y la señalética, estas dos medidas utilizadas de manera simultánea indica al conductor de una manera más clara que se debe disminuir la velocidad (Jackson et al., 2015).

Una medida de mitigación popularizada son los ecoductos o pasos superiores específicos para la fauna, estas estructuras permiten la conexión de hábitat en ambos márgenes de la vía, se construyen principalmente sobre autopistas o grandes líneas férreas, con un grosor recomendado de 30 metros y se los cubre de sustrato vegetal; se han desarrollado estos proyectos con eficiencia en países como: USA, Suiza, Canadá y Argentina, siendo este último el único presente en Latinoamérica (Rincón y Parra, 2016). Esta medida no sería recomendada para aplicar en este proyecto debido a su alto costo de construcción y mantenimiento, así como las condiciones topográficas irregulares de la zona, además se recomiendan ubicar para mayor funcionalidad, en sectores con baja perturbación antrópica, lo cual en zonas turísticas como la examinada en este estudio afectaría su eficiencia (MITMA, 2015).

Los individuos registrados en el estudio no se encuentra en alguna categoría de riesgo determinado en la lista roja de los mamíferos de Ecuador, se destaca la especie *Simosciurus stramineus* o comúnmente llamada Ardilla de Guayaquil por presentar un endemismo en la

región Tumbesina, los datos de su taxón y evaluación en su distribución son insuficientes, aun así, esta especie se suele considerar en el área muestreada como plaga por su dieta aplicada en plantas frutales y cultivos de las zonas urbanas y agrícolas (Aguirre Mendoza et al., 2017). La especie con mayor frecuencia de atropellos fue *Didelphis marsupialis* (Zarigüeya común de orejas negras) se encuentra en una categoría de preocupación menor debido a que son abundantes y de amplia distribución en los hábitats, por lo que no cumple con ninguno de los criterios de riesgo por el momento (Tirira, 2021).

Al generar la información de este transecto también se crearon vacíos de información para siguientes proyectos, así como: la distribución de atropellamientos en las diferentes estaciones climáticas (invierno-verano), los efectos de las diferentes condiciones de paisaje en los atropellamientos; exceptuando la cobertura vegetal aplicada en este estudio.

Los datos obtenidos en este estudio pueden aportar al trabajo de Medrano-Vizcaino (2015), y su base de datos a nivel nacional de individuos atropellados. Su proyecto innovador busca crear planes de mitigación en las carreteras del Ecuador para identificar las especies más susceptibles al atropellamiento en las vías y que se encuentren en categoría de riesgo y analizar las variables que influyen en su mortalidad.

Este estudio de mortalidad de vertebrados forma parte de las pocas investigaciones presentadas en el país, una amplia información del tema podría determinar los factores específicos que conllevan a estos eventos, y así tomar las medidas de mitigación más adecuadas para cada sector, reduciendo el impacto a la biodiversidad y generando información para la creación de nuevos modelos en proyectos viales.

8. Conclusiones

- Las especies con mayor incidencia de atropellamiento fueron la zarigüeya *Didelphis marsupialis* (n=17; 28,33%) y el ave *Furnarius leucopus* (n=8; 13,33%). *Didelphis marsupialis*, perteneciente a la familia Didelphidae, sufre alta incidencia de atropellamiento debido principalmente a que estos mamíferos al ser alumbrados por las luces de los vehículos se quedan paralizados siendo más susceptibles al atropello. La otra especie más susceptible, *Furnarius leucopus*, perteneciente a la familia Furnariidae, es un ave común en la ciudad y sus alrededores, su incidencia de atropellamiento se debe a su hábito alimenticio de conseguir comida en el suelo y por su extensa aparición en las tierras bajas del occidente y región andina. Los reductores de velocidad podrían ser la medida más factible para esta especie debido a que existe evidencia que la mayor incidencia de atropellamiento en aves se debe a la velocidad del vehículo que disminuye el tiempo de iniciación de reacción del ave.
- La tasa de atropellamiento de la vía Loja-Malacatos-Vilcabamba que consta de 41.6 km fue de 1,44 Ind/Km, la tasa de atropellamiento más alta registrada pertenece a los mamíferos 0,053 Ind/Km/día, seguida por las aves 0,027 Ind/Km/día y en menor número los reptiles 0,009 Ind/Km/día.
- La cobertura vegetal tierra agropecuaria (TA) presentó la mayor cantidad de eventos de atropellamiento con 37 individuos registrados (61,67 %), influyendo en los eventos de colisión presentando dos hotspot de individuos atropellados, seguida por la cobertura zona antrópica donde se encontraron 14 individuos (23,33%) y donde se presentó el tercer hotspot, finalmente la cobertura tierra forestal/arbustiva presentó la menor cantidad de individuos atropellados con 9 ejemplares (15%).
- Si bien la mayoría de las especies registradas corresponden a especies con sensibilidad baja y ninguna se encuentra en alguna categoría de riesgo, las medidas de mitigación se ubicaron en los sitios identificados como hotspots. Las medidas tomadas están relacionadas directamente a la velocidad de los vehículos que transitan, ya que está es la mayor causa de atropellos de individuos (Nigro y Lodeiro Ocampo 2009), por lo cual se han planteado la implementación de medidas como: (1) reductores de velocidad; (2) reflectores luminosos; y, (3) señalética.

9. Recomendaciones

- Al momento de realizar el muestreo se debe priorizar las condiciones del clima y topografía del sector, muestrear en días lluviosos puede interferir con la eficiencia de las observaciones, así como provocar un grado de peligro al ser una zona de deslaves y crecidas de quebradas secas.
- El monitoreo en los periodos nocturnos por la falta de visibilidad no se recomienda, debido a la peligrosidad de la vía al momento de detenerse y debido a que los ejemplares atropellados por lo general se mantienen en buenas condiciones hasta el otro día.
- Para lograr cambios a larga escala se debe inculcar educación ambiental en diferentes niveles educativos y también incluirlos como parte de las enseñanzas en las escuelas de conducción y en manuales de normas de tránsito; allí se debe inculcar estos incisos ya que no solo ocasiona pérdidas de animales, sino también, puede causar accidentes vehiculares.
- Aplicar medidas de mitigación en los hotspot es importante en los lugares que presenten casos fuertes de atropellamiento, las medidas deben ser planeadas dependiendo de las condiciones del sitio, como en este trabajo: (1) reductores de velocidad; (2) reflectores luminosos; y, (3) señalética, la vinculación de entidades públicas para la colocación de estas medidas es fundamental, valorando la escala eficiencia-costo de estas medidas.
- Se han reportado casos de atropellamiento de hembras de *Didelphis marsupialis* con crías dentro del marsupio en la ruta del Tlacuache (2019), en este caso se sugiere siempre que se encuentren crías, ponerse en contacto con la autoridad ambiental del sitio de atropellamiento, ya que no son mascotas y deben recibir una dieta especializada para poder llegar a la madurez e independencia.

10. Referencias

- Abra, F. D., Huijser, M. P., Magioli, M., Bovo, A. A. A., & Ferraz, K. M. P. M. de B. (2021). *An estimate of wild mammal roadkill in São Paulo state, Brazil*. *Heliyon*, 7(1), e06015. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06015>
- Adárraga-Caballero, M. A., & Gutiérrez-Moreno, L. C. (2019). *Mortalidad de vertebrados silvestres en la carretera Troncal del Caribe, Magdalena, Colombia*. *Biota Colombiana*, 20(1), 106–119. <https://doi.org/10.21068/c2019.v20n01a07>
- Aguirre Mendoza, Z., Aguirre Mendoza, N., & Muñoz Ch, J. (2017). *Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador Biodiversity of the province of Loja, Ecuador*. *Arnaldoa*, 24(2), 523–542. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a06v24n2.pdf>
- Albuja, L., Almendáriz, A., Barriga, R., Montalvo, L., Cáceres, F. y Román, J. (2012). *Fauna de Vertebrados del Ecuador*. Instituto de Ciencias Biológicas. Quito, Ecuador.
- Alencar, A., Julissa Escobedo Grandez, A., Rojas, A., Laina, A., & Botero, R. (2020). *A better Amazon road network for people and the environment*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(13), 7095 LP – 7102. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910853117>
- Alfaro, V. C., & Quesada, F. D. (2014). *La educación ambiental como herramienta para sensibilizar sobre la muerte atropello de mamíferos silvestres en carretera*. 29, 29–35.
- Aponte, J. D. (2013). *Una revisión de la biología del Didelphis marsupialis y su relación con el mal de Chagas y la leishmaniasis*. Hipótesis, Apuntes Científicos Uniandinos, Número Especial, 96-101.
- Artavia, R. (2015). *Identificación y caracterización de cruces de fauna silvestre en la sección de la ampliación de la carretera nacional Ruta 32, Limón, Costa Rica*. (Tesis de grado). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Barri, F. (2010). *Evaluación preliminar de la mortandad de mastofauna nativa por colisión con vehículos en tres rutas argentinas*. *Ecología Aplicada*, 9, 161. <https://doi.org/10.21704/rea.v9i1-2.406>

Bauni, V., Anfuso, J., & Schivo, F. (2017). *Wildlife roadkill mortality in the Upper Paraná Atlantic forest, Argentina*. *Ecosistemas*, 26(3), 54–66. <https://doi.org/10.7818/ecos.2017.26-3.08>.

Benítez, J. A., & Escalona-Segura, G. (2021). *Impacto de las vías de comunicación sobre la fauna silvestre en áreas protegidas: estudios de caso para el sureste de México*. Campeche, Campeche, México: El Colegio de la Frontera Sur.

Berlanga Silvestre, V., & Rubio Hurtado, M. J. (2012). *Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas*. *Revista d’Innovació i Recerca En Educació*, 5, 101–113. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2528>

11. Anexos

Anexo 1. Registro diario de muestreo de animales atropellados y volumen vehicular semanal de la vía Loja–Vilcabamba entre marzo-junio del 2022.

Nº	Familia	Especie	IND	Codig o_Ind	Fecha del muestre o	UTM Norte	UTM Este	Vol_ veh	Nº _Ind
1	Turdidae	<i>Turdus fuscater</i>	Ave	MI02-16	10/6/2022	9540025	698761	3652	2
2	Troglodytidae	<i>Campylorhynchus fasciatus</i>	Ave	MI01-16	10/6/2022	9532446	695282		
3	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	Ave	MI02-15	7/6/2022	9531223	697006	4121	2
4	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	Ave	MI01-15	7/6/2022	9533754	693669		
5	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI05-14	4/6/2022	9539774	698610	4872	5
6	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	Ave	MI04-14	4/6/2022	9532265	695150		
7	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	Ave	MI03-14	4/6/2022	9536370	698247		
8	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo	MI02-14	4/6/2022	9537623	698416		
9	Dipsadinae	<i>Atractus carrioni</i>	Serpiente	MI01-14	4/6/2022	9542729	699454		
10	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	Ave	MI03-13	1/6/2022	9544510	699517	5871	3
11	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI02-13	1/6/2022	9545762	699255		
12	Cricetidae	Cricetidae sp	Rata	MI01-13	1/6/2022	9547197	698656		

13	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	Ave	MI05-12	29/5/2022	9533320	694650	4779	5
14	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	Ave	MI04-12	29/5/2022	9535335	697463		
15	Turdidae	<i>Turdus fuscater</i>	Ave	MI03-12	29/5/2022	9535987	697941		
16	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI02-12	29/5/2022	9540740	698812		
17	Cricetidae	Cricetidae sp	Rata	MI01-12	29/5/2022	9547540	698775		
18	Cricetidae	Cricetidae sp	Rata	MI01-11	26/5/2022	9530886	697229	3317	1
19	Bothrops sp	<i>Bothrops</i> sp	Serpente	MI04-10	23/5/2022	9544584	699521	5767	4
20	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI03-10	23/5/2022	9542792	699455		
21	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI02-10	23/5/2022	9542494	699472		
22	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI01-10	23/5/2022	9531536	696842		
23	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo	MI03-09	20/5/2022	9543235	699046	3503	3
24	Didelphidae	<i>Didelphis pernigra</i>	Zarigüeya	MI02-09	20/5/2022	9543598	699499		
25	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI01-09	20/5/2022	9545305	699378		
26	Bothrops sp	Bothrops sp	Serpente	MI02-08	17/5/2022	9541843	699208	4409	2
27	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI01-08	17/5/2022	9535124	697161		
28	Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Ave	MI04-07	14/5/2022	9532499	695260	4795	4
29	Icteridae	<i>Dives waczewiczi</i>	Ave	MI03-07	14/5/2022	9529323	697154		
30	Gymnophthalmidae	<i>Gymnophthalmidae</i> sp	Lagartija	MI02-07	14/5/2022	9529326	697169		
31	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI01-07	14/5/2022	9544892	699405		
32	Icteridae	<i>Dives waczewiczi</i>	Ave	MI05-06	11/5/2022	9532165	695028	3655	5
33	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI04-06	11/5/2022	9530822	697263		
34	Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Ave	MI03-06	11/5/2022	9529450	697125		
35	Didelphidae	<i>Didelphis pernigra</i>	Zarigüeya	MI02-06	11/5/2022	9533269	694219		
36	Sciuridae	<i>Sciurus stramineus</i>	Ardilla	MI01-06	11/5/2022	9535642	697853		
37	Thraupidae	<i>Sicalis flaveola</i>	Ave	MI05-05	8/5/2022	9538227	698234	1009	5

38	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI04-05	8/5/2022	9531328	696989		
39	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI03-05	8/5/2022	9529423	697135		
40	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo	MI02-05	8/5/2022	9529407	697137		
41	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI01-05	8/5/2022	9532065	695144		
42	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI04-04	5/5/2022	9534212	694792	3243	4
43	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI03-04	5/5/2022	9536519	698434		
44	Leptodactylus sp	Leptodactylus sp	Rana	MI02-04	5/5/2022	9539352	698371		
45	Didelphidae	<i>Didelphis pernigra</i>	Zarigüeya	MI01-04	5/5/2022	9544488	699526		
46	Psittacidae	<i>Forpus coelestis</i>	Ave	MI05-03	2/5/2022	9532241	695120	665	5
47	Elapidae	<i>Micrurus mipartitus</i>	Serpiente	MI04-03	2/5/2022	9533169	694076		
48	Sciuridae	<i>Sciurus stramineus</i>	Ardilla	MI03-03	2/5/2022	9534464	696605		
49	Mephitidae	<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorrillo	MI02-03	2/5/2022	9537369	698585		
50	Cardinalidae	<i>Pheucticus chrysopleus</i>	Ave	MI01-03	2/5/2022	9538117	698223		
51	Didelphidae	<i>Didelphis pernigra</i>	Zarigüeya	MI06-02	29/4/2022	9546582	698895	3889	6
52	Bothrops sp	Bothrops sp	Serpiente	MI05-02	29/4/2022	9542747	699457		
53	Furnariidae	<i>Furnarius leucopus</i>	Ave	MI04-02	29/4/2022	9535328	697460		
54	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI03-02	29/4/2022	9535053	697083		
55	Cricetidae	Cricetidae sp	Rata	MI02-02	29/4/2022	9531976	696273		
56	Didelphidae	<i>Didelphis pernigra</i>	Zarigüeya	MI01-02	29/4/2022	9548100	698797		
57	Cricetidae	Cricetidae sp	Rata	MI04-01	26/4/2022	9530730	697254	4216	4
58	Sciuridae	<i>Sciurus stramineus</i>	Ardilla	MI03-01	26/4/2022	9534199	694751		
59	Cricetidae	Cricetidae sp	Rata	MI01-01	26/4/2022	9542689	699458		
60	Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	MI02-01	26/4/2022	9547701	698793		

Anexo 2. Listado de especies con su número correspondiente de individuos atropellados por semanas en los meses de abril, mayo y junio del 2022

GRUPOS/AÑOS	2022						
	Abril	Mayo				Junio	
AVES	4	1	2	3	4	1	2
<i>Campylorhynchus fasciatus</i>							1
<i>Coragyps atratus</i>			1				
<i>Crotophaga sulcirostris</i>			1				
<i>Dives waczewiczii</i>			2				
<i>Forpus coelestis</i>		1					
<i>Furnarius leucopus</i>	1				2	5	
<i>Pheucticus chrysopleus</i>		1					
<i>Sicalis flaveola</i>		1					
<i>Turdus fuscater</i>					1		1
MAMMALIA							
<i>Conepatus semistriatus</i>		1					
<i>Cricetidae</i> sp.	3				2	1	
<i>Didelphis marsupialis</i>	2	5	2	2	4	2	
<i>Didelphis pernigra</i>	2	1	1	1			
<i>Sciurus stramineus</i>	1	1	1				
<i>Sylvilagus brasiliensis</i>			1	1		1	
REPTILIA							
<i>Atractus carrioni</i>						1	
<i>Bothrops</i> sp.	1			1	1		
<i>Gymnophthalmidae</i> sp.			1				
<i>Micrurus mipartitus</i>		1					
AMPHIBIA							
<i>Leptodactylus</i> sp.		1					
TOTAL	10	13	10	5	10	10	2

Anexo 3. Foto tomada en el Km 33 de la vía Loja-Vilcabamba, señalética implementada por el municipio para advertir del cruce de la fauna silvestre.



Anexo 4. Fotografías de vertebrados atropellados

A) *Didelphis marsupialis* atropellado en la vía



B) *Bothrops sp* atropellada en la vía



C) *Cricetidae sp* atropellado en la vía



D) *Crotophaga sulcirostris* atropellado en la vía



E) Ardilla (*Notosciurus granatensis*) atropellado en la vía.



F) *Atractus carrioni* atropellado en la vía



Anexo 5. Certificación de traducción del Resumen (Abstract)

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN ESPAÑOL-INGLÉS

Yo, **MICHAEL ALESSANDRO GRANDA PINTA**, con C.I. 1105158255, docente de inglés como lengua extranjera en la Escuela de Educación Básica Municipal “La Pradera” **CERTIFICO:** haber traducido el resumen del idioma español al idioma inglés de la tesis de pregrado denominada “**Mortalidad de la fauna silvestre por atropellamiento en la carretera Loja–Malacatos-Vilcabamba**”, para el Señor **PABLO ANDRÉS IÑIGUEZ LÓPEZ** de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso de éste en lo que estime conveniente.

Loja, 2 de noviembre del 2022

Atentamente.



Firmado electrónicamente por:
**MICHAEL
ALESSANDRO
GRANDA PINTA**



Mgs. Michael Alessandro Granda Pinta.
N° de Registro Senecyt 1031-2020-2243621
DOCENTE DE INGLÉS Y SECRETARIO DE LA E.E.B.M.P.