

Efectividad de estructuras para el paso de fauna silvestre en la Ruta Nacional No 4, Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper, Costa Rica.

Yosette Araya-Jiménez¹

¹Licenciatura en Ciencias Biológicas con énfasis en Ecología y Desarrollo Sostenible, Escuela de Ciencias Biológicas. Universidad Latina de Costa Rica. Contacto: yosaj.94@gmail.com

Resumen. La Ruta Nacional No.4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper, es una carretera de reciente construcción que consta de 27,09 km de extensión, cuenta con alcantarillas modificadas con pasarela para el cruce de la fauna silvestre, pasos aéreos y señales de tránsito de paso de fauna. Este estudio se realizó para evaluar la efectividad de las estructuras para el paso de fauna seleccionadas de dicha Ruta. Se dividió en tres etapas: la primera etapa fue monitoreo con cámaras trampa en alcantarillas, alcantarillas modificadas con pasarela, pasos aéreos y bosque, desde julio hasta diciembre del 2017; la segunda fue el monitoreo de atropellos, se realizaron 11 recorridos diurnos y 11 nocturnos de agosto a octubre del 2018. La tercera fue la caracterización de alcantarillas y pasos aéreos. Se realizó la prueba de distribución de Poisson para demostrar efectividad. Se obtuvo que las estructuras evaluadas son efectivas para el paso de fauna (p -valor 2.2×10^{-16}), cuatro especies hacen uso de las alcantarillas, dos especies de las alcantarillas modificadas con pasarela y seis especies de los pasos aéreos, además en el área de bosque se registran 15 especies del grupo aves, reptiles y mamíferos. En cuanto a los recorridos de atropellos se detectaron 151 individuos de 42 especies y 14 avistamientos de anfibios y aves; se realizaron mapas de calor mediante superposición de mapas, para observar la relación de las estructuras con la mortalidad vial. En conclusión, existen variables que influyen en el número de registros por estructura como dimensión, forma y vegetación. Además, los mapas de calor coinciden con las estructuras evaluadas, especialmente especies de mamíferos terrestres - arborícolas. Es necesario reforzar las medidas existentes para obtener completa efectividad, como el uso de mallas y señal de reducción de velocidad.

Abstract. The National Route No. 4, section Bajo de Chilamate - Vuelta Kooper, is of recent construction, has an extension of 27.09 km, modified sewers with walkway for wildlife crossing, canopy crossings and road signs of wildlife crossing. This study was carried out in order to evaluate the effectiveness of the selected wildlife crossings in the Route 4. It was divided in three stages: the first one was monitoring using camera traps in sewers, modified sewers with walkway, canopy crossings and in the forest, from July to December 2017. The second stage was the characterization of the sewer and canopy crossings, 11 daytime and 11 nocturnal tours were made, from August to October 2018. The Poisson Distribution Test was performed to demonstrate effectiveness. It was obtained that evaluated structures are effective for wildlife passage (p -valor 2.2×10^{-16}), four species use the sewers, two species use the modified sewers with walkway and six species use the canopy crossings, also in the woodland 15 species were found including birds, reptiles and mammals. In terms of road mortality, 151 individuals to 42 species and 14 sightings of amphibians and birds were detected. Heat maps were made by superimposing maps to observe the relationship between structures and the road mortality. In conclusion, there are variables that influence the number of records per structure such as size, shape and vegetation. In addition, the heat maps coincide with the structures evaluated, especially species of terrestrial - arboreal mammals. It is necessary to reinforce existing measures to obtain full effectiveness, such as the use of meshes and speed reduction signal.

Palabras clave: Alcantarillas, atropellos, cámaras trampa, pasos de fauna, pasarela.

Introducción

La ecología de caminos es la ciencia que estudia la relación que existe entre el medio natural y la infraestructura vial, esta disciplina ha incrementado su estudio con el pasar de los años y en Costa Rica no ha sido la excepción (Pomareda *et al.*, 2014). Desde el 2011, debido al riesgo que representan las carreteras para la conectividad del jaguar y sus presas, el proyecto Caminos Amigables con los Felinos de Panthera Costa Rica, ha trabajado con la finalidad de definir una metodología para identificar pasos de fauna en los caminos que se encuentran dentro de corredores biológicos o Unidades de Conservación del Jaguar (Araya-Gamboa y Salom-Pérez, 2015; Panthera, 2017).

En el año 2013, se creó la Guía “Vías Amigables con la Vida Silvestre” (VAVS), la cual tiene como propósito brindar al país un instrumento que, a través de la planificación, ejecución de medidas preventivas, de mitigación y compensación se disminuya el impacto de la infraestructura vial en la vida silvestre (Pomareda *et al.*, 2014). Esta guía fue creada por el Comité Científico de la Comisión de Vías y Vida Silvestre (CVVS), el cual ejercido un papel protagonista en el tema del impacto de las carreteras en la fauna silvestre.

Las vías de transporte son medios de gran importancia social y económica; además mejoran la calidad de vida de los seres humanos; sin embargo, la infraestructura vial tiene efectos negativos ambientales y en este aspecto la calidad de vida de la fauna silvestre se ve comprometida. Los impactos generados a la fauna silvestre se relacionan directamente con la fragmentación del hábitat, reducción de su hábitat, muertes por atropellos, entre otros (Arroyave *et al.*, 2006).

El impacto generado por las carreteras en la fauna silvestre se ha estudiado y evidenciado en países como España, Canadá, Estados Unidos, México y Colombia, incluido Costa Rica (Forman & Alexander, 1998; Delgado *et al.*, 2004; Iuell, *et al.*, 2005; Arroyave *et al.*, 2006; Vargas-Salinas *et al.*, 2011; Puc Sánchez *et al.*, 2013; Arévalo-Huezo, 2015; Artavia Rodríguez, 2015; Araya-Gamboa y Salom-Pérez, 2015). Sin embargo, para el caso de Costa Rica es necesario que se lleven a cabo nuevas investigaciones que además de valorar el impacto de la carretera, se analicen métodos para reducir el impacto, pero que además se dé su posterior monitoreo y evaluación de efectividad, hasta el momento se cuenta con algunas investigaciones enfocadas al uso de las estructuras y efectividad específico a pasos de fauna aéreas (Torres-Tamayo, 2011; Robledo-Bonilla, 2016; Venegas-Vargas, 2018; Lavalle-Valdivia, 2019 sin publicar).

El país cuenta con estrategias de conservación como las Áreas Silvestres Protegidas (ASP), en la actualidad abarcan un 25% de territorio continental, además de los corredores biológicos (CB) los cuales representan un 33% del territorio que resguardan abundante biodiversidad y permiten la conectividad entre un área y otra (SINAC, 2018). Como consecuencia de las carreteras que en algunos casos atraviesan estas ASP o CB, se da la pérdida de conectividad y de hábitat, además del impacto directo a la fauna por atropellos.

Existe evidencia de atropellos a fauna silvestre obtenidos por Arévalo-Huezo (2015) y Artavia (2015) donde se han registrado 671 animales de 55 especies atropellados en la Ruta 1, Cañas Liberia y 1073 registros de al menos 94 especies en la Ruta 32, Rio Frio-Moín; por lo que se han implementado medidas ambientales con el fin de contrarrestar el impacto directo por atropello en Rutas específicas del país (Ecotec, 2010; UGAS-MOPT, 2012; Araya-Gamboa, Arévalo-Huezo y Pomareda-García, 2015; Rojas-Jiménez y Cruz-Lizano, 2015; Rojas-Jiménez, 2016; Venegas-Vargas, 2018). Del mismo modo existe un aporte indirecto al impacto generado por la fragmentación ya que permite la conectividad con las distintas áreas protegidas y cruce de manera segura por parte de la fauna silvestre (Torres, 2011).

En la actualidad en convenio con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), mediante donación de servicios por parte de Panthera Costa Rica al Proceso de Gestión Ambiental y Social (ProGAS) del MOPT, se han realizado proyectos con el fin de valorar el impacto de las carreteras sobre la fauna, así como su respectivo monitoreo para finalmente generar recomendaciones a las medidas ambientales correspondientes, iniciando en la Ruta No.4 Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper.

Costa Rica es un país en desarrollo; por lo tanto, requiere de condiciones adecuadas en infraestructura vial para el libre tránsito de vehículos y de este modo favorecer el comercio. La Ruta No. 4 Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper, es una ruta estratégica de comercio para el país, ya que articula el Pacífico con el Caribe, convirtiéndose en un corredor para el tránsito de productos del país; para minimizar los impactos generados, se han implementado medidas ambientales y estructuras específicamente para el paso de fauna aérea, alcantarillas como alternativas de paso y como primer proyecto en incluir alcantarillas modificadas con pasarelas, además de señales de tránsito de paso de fauna (Ecotec, 2010).

Esta investigación se centra en evaluar las estructuras de pasos de fauna y alcantarillas, de manera que permita generar línea base para la aplicación de metodologías eficientes y replicables en la evaluación y monitoreo de estructuras de paso

Objetivo: El objetivo general de esta investigación es evaluar la efectividad de las estructuras de pasos de fauna y alcantarillas en la Ruta No. 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. Los objetivos específicos son: 1. Registrar las especies que hacen uso de los pasos de fauna, así como las que se encuentran en las inmediaciones de las estructuras. 2. Caracterizar las estructuras implementadas como pasos de fauna y relacionar con la composición de especies registradas y la frecuencia de uso. 3. Identificar puntos de atropello y realizar mapas de calor con los registros obtenidos para comparar con los sitios donde se ubican las estructuras de paso.

Marco teórico

La infraestructura vial es un medio de gran importancia para el desarrollo social y económico de un área determinada, si bien puede generar beneficios a los seres humanos, también es un medio que afecta indiscriminadamente el medio ambiente (Arroyave *et al.*, 2006). A través de los años, las investigaciones en ecología de caminos han ido en aumento, esto favorece la identificación de impactos asociados a las vías, utilizando métodos eficaces; además de la aplicación de medidas pertinentes a cada situación. El término de ecología de caminos ha sido utilizado para abordar el tema de los efectos ecológicos provocados por las carreteras especialmente sobre la fauna silvestre (van der Ree *et al.*, 2011).

Efectos de las carreteras sobre la vida silvestre

Las carreteras provocan impactos a los ecosistemas terrestres y acuáticos, Quintero (2015), categoriza los impactos en directos, indirectos y acumulativos, de los cuales los impactos directos, son los más estudiados y compartidos por diferentes autores, los indirectos son la consecuencia de los directos, asociados a la actividad humana, como la extracción ilegal de los recursos, cambios de uso de suelo, tala y cacería ilegal, etc., y los acumulativos, viene siendo los cambios causados por la combinación de factores o acciones pasadas, presentes o futuras, así como el desarrollo conjunto de proyectos similares dentro de una misma zona.

Los impactos directos son los de mayor relevancia en este análisis, en cuanto a la afectación directa a la fauna silvestre, dentro de ellos se mencionan, la fragmentación del hábitat a su vez tiene dos

efectos, efecto barrera y efecto de borde; transformación, degradación y reducción del hábitat. Por otro lado, la colisión o atropellos de animales silvestre en los grupos de mamíferos, aves, anfibios y reptiles, mayor influencia humana, aumento del ruido, polvo, iluminación, afectación del recurso hídrico, cambio en las condiciones micro climáticas, entre otras (Arroyave *et al.*, 2006; Pomareda *et al.*, 2014; Quintero, 2015).

- **Fragmentación de hábitat**

La fragmentación del hábitat es un efecto muy significativo asociado a la infraestructura vial; las redes viales dividen los hábitats naturales de la vida silvestre, generando otra serie de afectaciones como la creación de barreras, reducción del espacio de distribución, pérdida de diversidad, reducción del flujo de genes, cambio en la composición de flora y fauna, entre otras (Iuell, *et al.*, 2005; Arroyave *et al.*, 2006; Quintero, 2015.)

De acuerdo con Arroyave *et al* (2006), la fragmentación tiene dos efectos que amenazan la estabilidad de la fauna silvestre, se denominan efecto barrera y efecto de borde. Por medio del efecto barrera, la capacidad de dispersión y colonización de las especies de flora y fauna se ven perjudicadas, la capacidad de desplazamiento, búsqueda de alimento, refugio, pareja, se ven afectadas por el aislamiento directo de las poblaciones, este efecto se visualiza no solo a nivel de fauna o flora terrestre, sino que rompen la conectividad florística y faunística de dosel como en el caso de los primates. (Iuell, *et al.*, 2005; Arroyave *et al.*, 2006).

El efecto de borde al igual que el efecto barrera, provoca cambios a nivel de biótica, pero también se dan modificaciones en la condiciones abióticas; Delgado *et al.*, (2004) y Arroyave *et al.*, (2006) concuerdan en que el efecto de borde provoca cambios de temperatura, humedad, radiación, viento, ruido; además trae consigo aumento en la diversidad de especies generalistas, invasoras o especies introducidas desplazando las especies nativas en flora y fauna, en el caso de la avifauna pierde calidad de hábitat para cría, aumento del parasitismo y depredación.

- **Colisión con animales silvestres – atropellos**

El impacto generado por las carreteras es limitante para la correcta permeabilidad y funcionamiento de los ecosistemas; al igual que la fragmentación y sus efectos, la colisión o atropellos de fauna silvestre es uno de los impactos directos más negativos, ya que existen especies que deciden movilizarse de acuerdo con sus necesidades (Iuell, *et al.*, 2005; Arroyave *et al.*, 2006). Los

animales más jóvenes son los más susceptibles de ser atropellados, al igual que las aves, especies de rapaces o paseriformes, se ven atraídos por el alimento disponible en las cercanías de la carretera, ya sea la vegetación, insectos, roedores o animales muertos (Forman y Alexander 1998; Iuell, *et al.*, 2005; Puc Sánchez *et al.*, 2013). De acuerdo con Carvajal Alfaro y Díaz Quesada (2016), los mamíferos de pequeño y mediano tamaño son frecuentemente atropellados, ejemplo de estos son los zorros y ratones; además de especies arbóreas como los perezosos y osos hormigueros que tienen movimiento lento en tierra, especialmente por la susceptibilidad que poseen en carreteras amplias y de alta velocidad (Forman y Alexander, 1998).

Los anfibios y reptiles pueden verse inhibidos al cruzar las carreteras, pero aquellas que no se vean inhibidas cruzaran con el riesgo de morir atropellados. En el caso de especies comunes como el sapo, se les atribuye a su capacidad de dispersión y su comportamiento oportunista; por otro lado, en el grupo de los reptiles, las muertes por atropellos dependerán de su rango de actividad para encontrar pareja, alimento o refugio, así como su comportamiento de termorregulación en el caso de las serpientes (Forman y Alexander, 1998; Vargas-Salinas *et al.*, 2011).

Métodos de identificación de pasos de fauna

Como se ha mencionado en apartados anteriores, la conectividad entre poblaciones de fauna silvestre se ha visto disminuida por los impactos ocasionados por la infraestructura vial; por lo tanto, se han definido metodologías para la identificación del paso de fauna silvestre, como es la propuesta por Araya-Gamboa y Salom-Pérez (2015), así como la definida en la Guía Ambiental “Vías Amigables con la Vida Silvestre (Pomareda *et al.*, 2014). Ambas propuestas consideran de importancia, realizar recorridos para la detección de atropellos, modelos sobre conectividad estructural, componente social por medio de entrevistas y el uso de cámaras trampas.

Medidas de mitigación aplicables

Una vez definidos e identificados los puntos de mayor afectación a la fauna silvestre, se han estudiado medidas con el fin de ser implementadas en presentes y futuras carreteras, de manera que el impacto se vea reducido y exista mejor funcionalidad y conectividad en la fauna silvestre. Dentro de las medidas aplicables, se pueden citar, pasos de fauna inferiores, superiores, drenajes, ecoductos, viaductos, etc., los cuales son descritos por el Ministerio de Medio Ambiente (2006); en Costa Rica, las medidas que son mayormente implementadas son los pasos inferiores, superiores

o aéreos y drenajes en algunos casos adaptados. Se describen a continuación según el Ministerio de Medio Ambiente (2006):

- Pasos de fauna inferior: este paso es aplicable a todo tipo de fauna silvestre, especialmente mamíferos. Idealmente, son estructuras tipo cajón, su ubicación deberá coincidir con rutas de paso de fauna.
- Pasos de fauna aéreos: este tipo de estructura es específico para especies de mamíferos arborícolas; consiste en la colocación de cuerdas o cables instalados en plataformas elevadas, de manera que permita el paso de la fauna entre las ramas de los árboles ubicados a ambos lados de la infraestructura.
- Drenajes adaptados: es una estructura funcional para el cruce de fauna, pero además funciona como drenaje. La forma de modificar esta estructura es mediante la construcción de tipo aceras laterales a una altura considerable para mantenerlas secas y evitar la inundación completa; así como asegurarse el paso seguro de la fauna.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Este estudio se realizó en la Ruta Nacional No. 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper, el tramo de carretera tiene una extensión de 27,09 km, los cuales inician en el poblado de Bajos de Chilamate (ubicado entre las coordenadas 10.44784 y -84.11028) y finaliza en Vuelta Kooper (ubicado entre las coordenadas 10.43953 y -84.34395) (Figura 1).

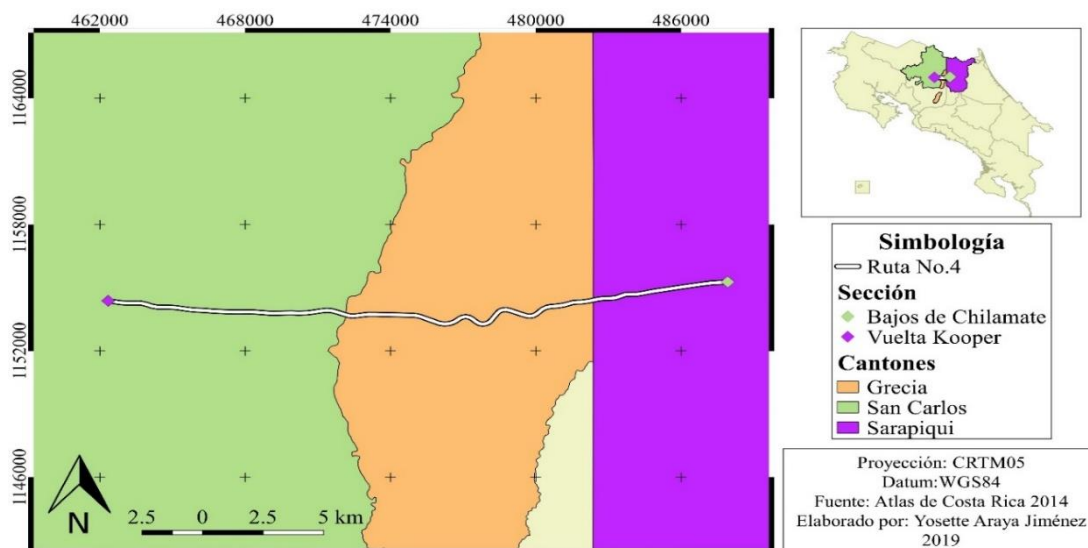


Figura 1. Mapa de ubicación Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

De acuerdo con el Estudio de Impacto Ambiental (Ecotec, 2010) realizado en la Ruta No. 4, la división territorial administrativa localiza a esta carretera en la provincia de Alajuela, en el Cantón de San Carlos, distrito de Aguas Zarcas y Pital; en el Cantón de Grecia, en el distrito de Río Cuarto; además forma parte de la provincia de Heredia, en el cantón de Sarapiquí en el Distrito de La Virgen.

La Ruta Nacional No 4, es un proyecto de gran importancia social y económica, ya que su idea estratégica es articular el Pacífico con el Caribe, como corredor para el tránsito de productos desde o hacia Moín, como principal puerto de salida de muchos productos del país. Con el motivo de disminuir el alto volumen de tránsito vehicular en vías con servicios deficientes (Ecotec, 2010)

Como toda obra, el nivel de impactos ocasionados es elevado, especialmente al ser una carretera completamente nueva; estos impactos fueron valorados en las distintas etapas del Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), en la fase de construcción, operación y cierre. En lo que respecta a este estudio, se analizaron los impactos dirigidos a la fauna silvestre, para lo cual se detecta disminución de la biodiversidad y afectación a los procesos ecológicos; la fragmentación del hábitat y accidentes por atropellos de fauna.

El proyecto de construcción de la nueva carretera adquiere compromisos ambientales, por lo que, para minimizar el atropello de fauna en la carretera y favorecer la conectividad, se colocaron 48 alcantarillas, 21 de ellas consideradas para el paso de fauna terrestres como alcantarillas modificadas con pasarela y 12 pasos aéreos para especies arborícolas. Cada estructura con características específicas en dimensiones y forma; estos fueron ubicados en sitios estratégicos, los cuales fueron referidos según la zona de mayor vegetación y bosque ripario.

Esta carretera se ubica en el Área de Conservación Arenal Huetar Norte (ACA-HN) y el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCVC). Con respecto a las áreas ambientalmente frágiles (AAF); no se registran áreas específicamente atravesadas por la carretera, al Norte de la ruta se ubica la Reserva de Vida Silvestre Maquenque, al Este se ubica el Corredor Biológico San Juan – La Selva, Reserva de Vida Silvestre Tirimbina y Zona Protectora La Selva y al Sur el Parque Nacional Juan Castro Blanco y Reserva de Vida Silvestre Bosque Alegre.

La Ruta cuenta con mayor fragilidad en las áreas con cobertura boscosa que se localizan en los márgenes de ríos y quebradas, entre ellos Río Sardinal, Río Cuarto, Río Caño Negro y Río Toro

(Figura 2 y 3). Además, según lo indicado por German Retana (comunicación personal, 18 de junio del 2019), la ruta cuenta con un área boscosa perteneciente a una de las piñeras de la zona, en la cual se colocaron dos pasos aéreos.

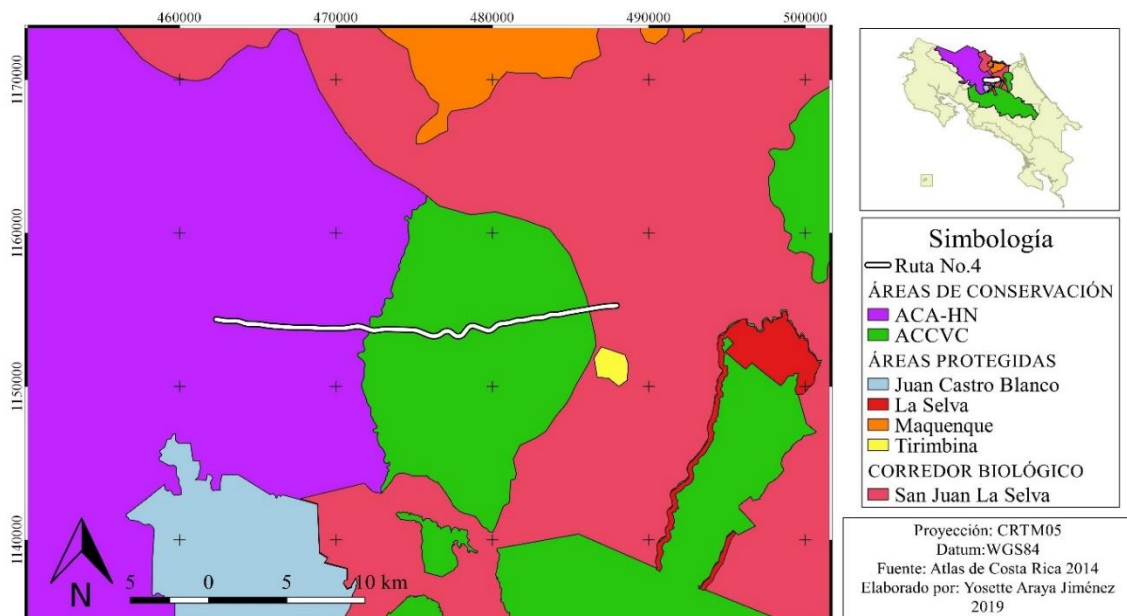


Figura 2. Áreas Ambientalmente Frágiles ubicadas en las cercanías de Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

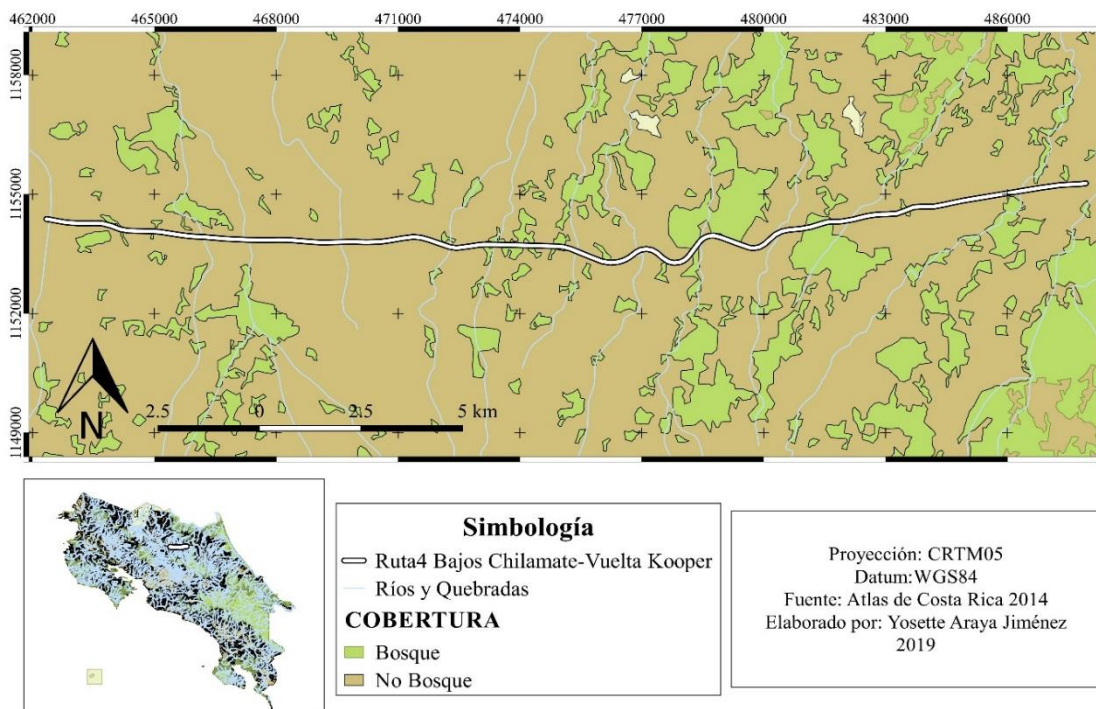


Figura 3. Mapa de cobertura boscosa, asociados a Ríos y quebradas que se encuentran atravesando la Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

El uso de suelo predominante para el área de proyecto es agropecuario, en su mayoría son monocultivos extensos de piña, cultivos de pimienta, así como potreros destinados a la ganadería (Figura 4).



Figura 4. Vista aérea, franjas de bosque y uso de suelo actual de la Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper.

Recopilación de datos

Este estudio se llevó a cabo en tres etapas; monitoreo con cámaras trampa, monitoreo de atropellos y caracterización de estructuras. A continuación, se describe cada etapa y la metodología aplicada en cada caso, utilizando como base la metodología aplicada por Pomareda *et. al*, (2014) y Araya-Gamboa y Salom-Pérez (2015).

- **Cámaras trampas**

El monitoreo con cámaras trampa se realizó de julio a diciembre del año 2017. Del total de estructuras de paso presentes en la carretera se seleccionaron seis alcantarillas y cuatro alcantarillas modificadas con pasarela y 6 pasos aéreos, esta selección se dio siguiendo criterios de conectividad estructural y vegetación circundante en cada paso; además se instalaron 6 cámaras en el área boscosa terrestre aledaña a la carretera (Figura 5).

Se utilizó un GPSmap76Cx para georreferenciar cada sitio y en cada punto seleccionado se colocó una cámara trampa con sensor de movimiento PANTHERA V3-V4, Reconix PC900 Hyperfire, y Bushnell model119576; la revisión de las cámaras se realizó cada 45 días, este tiempo se estableció de acuerdo con la durabilidad de las baterías.

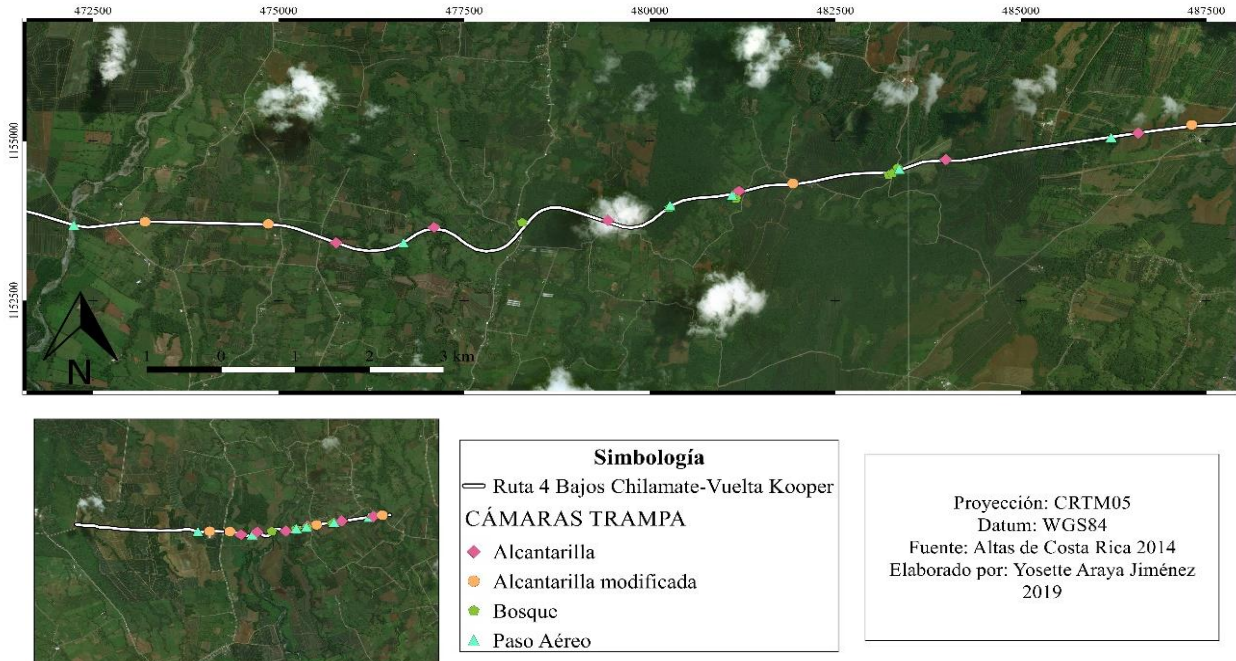


Figura 5. Mapa de ubicación de cámaras trampa instaladas en alcantarillas, pasos aéreos y bosque en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

En las alcantarillas las cámaras trampa se instalaron en la parte superior aproximadamente a 3 metros hacia adentro de la estructura, estas se encontraban sujetas con tornillos de ojo de 8” adheridos a la pared, en los pasos aéreos se colocaron en el poste de soporte de las estructuras de paso; para este procedimiento se solicitó ayuda del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica de Pital de San Carlos y en el bosque cada cámara se instaló entre 150 a 1000 metros de distancia de las estructuras de paso.

- **Monitoreo de atropellos**

Los recorridos se llevaron a cabo de agosto a octubre del 2018, estos se efectuaron en vehículo debido a la distancia por recorrido (27,09 km) así como por motivos de seguridad, se transitó a una velocidad de 30 a 40 km/h, con el fin de tener una mejor visibilidad de la fauna sobre la carretera. La hora de inicio del monitoreo nocturno fue a las 19:00 horas y el recorrido diurno dio inicio a las 5:00 horas.

Cada individuo detectado se georreferenció con GPSmap76Cx y se le asignó un código siendo este el número consecutivo del GPS, además se tomó fotografías del individuo con un teléfono móvil, la información se registró en una hoja de datos que contenía, fecha, hora, coordenada geográfica,

evento (avistamiento de animal vivo o atropello), hábitat, fotografía, especie y observaciones, esta última refiriéndose a anotaciones relevantes para cada evento (Anexo 1).

Cada animal atropellado se retiró de la carretera con ayuda de una pala, de manera que no se realizara un segundo conteo del mismo individuo. Además, el trayecto de los recorridos fue distinto en cada semana, ya que se inició en el sentido Bajos de Chilamate-Vuelta Kooper y la siguiente semana viceversa, así consecutivamente hasta concluir con los recorridos.

- **Caracterización de estructuras**

Alcantarillas

Cada estructura se describió tomando como principales variables de medición: la forma, número de accesos, altura, ancho, longitud, pasarela, distancia a la vegetación, curvatura y topografía. Las mediciones se tomaron con una cinta métrica de 30 metros de longitud, así como el uso de un medidor de distancia Bushnell Yardage PRO Sport 450.

Pasos aéreos

En cuanto a los pasos aéreos evaluados se describió la forma, dimensiones, distancia a la vegetación, curvatura, topografía, iluminación y anclajes. La longitud de cada paso se midió mediante el uso de un medidor de distancia Bushnell Yardage PRO Sport 450, se verificó la existencia de iluminación como lámparas en las cercanías de los pasos, además se contabilizó la cantidad de anclajes que posee cada paso y la distancia promedio del anclaje de poste a árbol. Se obtuvo las especies que utilizaron los pasos y alcantarillas, así como la frecuencia de uso, la cual consistió en obtener el número de registro por especie en el tiempo determinado por las noches trampa.

Las variables de curvatura y topografía para alcantarillas y pasos aéreos se evaluaron de acuerdo con la Guía Ambiental “Vías Amigables con la Vida Silvestre” (Pomareda *et al.*, 2014), con la variación que el punto de encuentro fue un paso de fauna y no un animal atropellado (Figura 6 y 7).



Figura 6. Tipos de curvatura de carretera referente a la ubicación de las alcantarillas y pasos aéreos ubicados en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper (Fuente: Pomareda *et al.*, 2014)

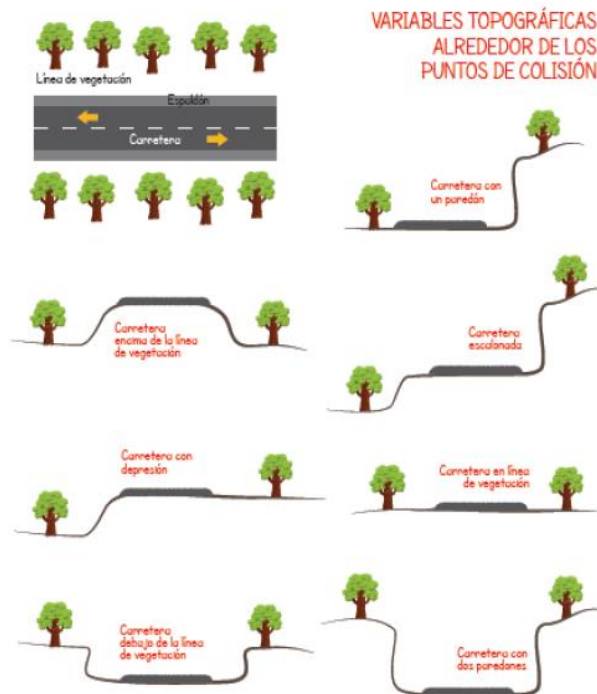


Figura 7. Variables topográficas alrededor de las alcantarillas y pasos aéreos en estudio. (Fuente: Pomareda *et al.*, 2014)

Análisis de datos

En cuanto a las cámaras trampa se realizó una lista de especies captadas utilizando los pasos de fauna, alcantarillas y presentes en el bosque, además se estimó el esfuerzo de muestreo, mediante el conteo de las noches trampa; es decir la cantidad de días en que las cámaras trampa estuvieron activas durante el monitoreo.

Se calculó el índice de abundancia relativa (IAR) para los registros fotográficos independientes obtenidos en cada una de las estructuras evaluadas, recomendado por Venegas (2018), donde F_{sp} es la frecuencia de uso por especie y N_t corresponde a las noches trampa.

$$\text{Abundancia relativa – cámaras trampa: IAR: } \frac{F_{sp}}{N_t} \times 100$$

Cada registro se consideró independiente en los siguientes casos: fotografía consecutiva de una misma especie separada por más de 24 horas; este criterio se aplicó cuando no era claro si la serie de fotografías correspondían al mismo individuo, de manera que las tomadas dentro del mismo periodo de 24 horas se consideraron como un solo registro, en el caso de fotografías con más de un individuo se consideró el registro independiente igual al número de individuos observados en la fotografía (Monroy-Vilchis, Zarco- González, Rodríguez Soto, Soria- Díaz & Urios, 2011)

En cuanto a los datos de recorridos, se estimó el esfuerzo de muestreo en horas y kilómetros recorridos, mediante la elaboración de mapas de calor se analizaron los puntos en los cuales hay mayor cantidad de atropellos por grupo faunístico, utilizando el programa Quantum Gis 2.14 Essen, el cual fue superpuesto en el mapa de ubicación de las estructuras de paso para realizar una comparación entre los puntos calientes y los pasos, de modo que se valore si las medidas correctivas que se han implementado tienen efecto en los atropellos de fauna.

Se calculó el IAR para los atropellos, donde N_{sp} corresponde al número de individuos por especie y Km la cantidad de kilómetros recorridos durante el monitoreo.

$$\text{Abundancia relativa - recorridos: IAR: } \frac{N_{sp}}{Km} \times 100$$

De acuerdo con las medidas obtenidas en las variables ancho, alto y largo de las estructuras se calculó el Índice de Abertura (IA), como variable relacionada al efecto túnel de las estructuras, mediante la ecuación:

$$\text{Índice de abertura: IA: } \frac{\text{Ancho} * \text{Alto}}{\text{Largo}}$$

Se realizó la Prueba de Poisson con el software estadístico R Versión 3.5.2, para comprobar la efectividad de las alcantarillas y los pasos aéreos, donde se entiende que, si el promedio de animales que atraviesa una alcantarilla o paso aéreo es mayor que cero la estructura ha sido efectiva. No se logró realizar análisis estadísticos para comprobar la relación de las estructuras con las especies y el número de registros obtenidos, ya que las muestras son escasas generando que los análisis no sean asertivos, se recomienda un mínimo de 10 muestras u observaciones por variable (Rolando Montenegro Muro, comunicación personal 13 de setiembre del 2019).

Resultados

- **Monitoreo cámaras trampa**

Mediante el monitoreo con cámaras trampa, se contabilizó un esfuerzo de muestreo total de 5171 noches/trampa; durante este tiempo se detectaron en total 25 especies de vertebrados, 15 especies en bosque, 6 especies en pasos aéreos y 5 especies detectadas en las alcantarillas.

Alcantarillas

Para estas estructuras se hace una división entre alcantarillas y alcantarillas modificadas con pasarela; en total se detectaron 5 especies de mamíferos utilizando este tipo de estructura (Cuadro I).

CUADRO I

Lista de especies detectadas mediante cámaras trampa en las alcantarillas de Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper.

Clase	Orden	Especie
	Chiroptera	No identificados
	Cingulata	<i>Dasypus novemcinctus</i>
Mammalia	Rodentia	<i>Proechimys semispinosus</i>
		<i>Lontra longicaudis</i>
	Carnivora	<i>Procyon lotor</i>
		<i>Eira barbara</i>

En las alcantarillas modificadas con pasarela se registro el uso de dos especies; el tolomuco (*Eira barbara*) y mapache (*Procyon lotor*); siendo esta última especie la que obtuvo mayor abundancia relativa ($AR=3.53$, $n=15$) (Figura 8 y 9)

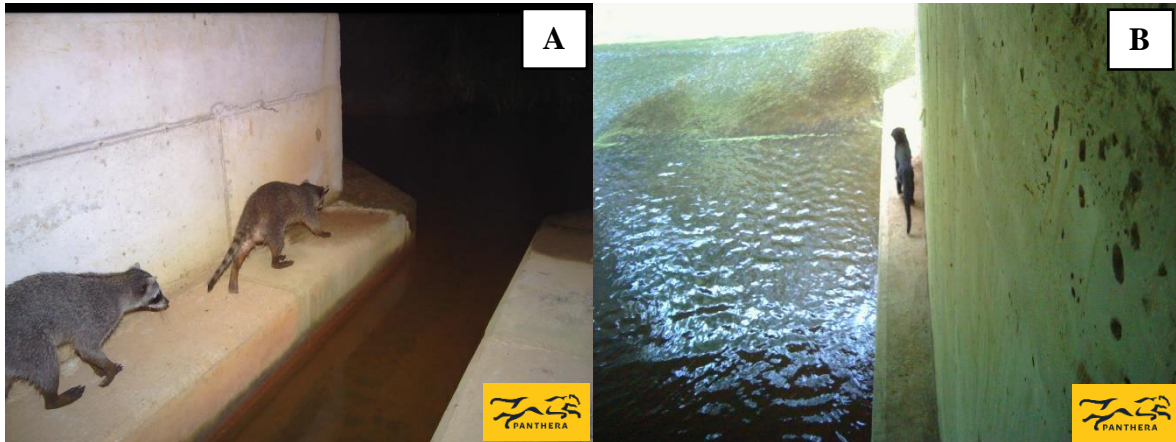


Figura 8. Fauna silvestre utilizando alcantarillas modificadas con pasarela, Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. **A.** *Procyon lotor*. **B.** *Eira barbara*

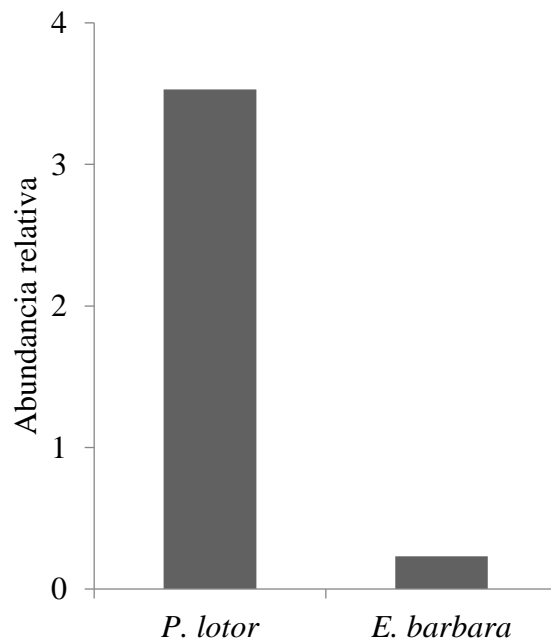


Figura 9. Abundancia relativa de mapache (*P. lotor*) y tolomuco (*E. barbara*) en alcantarillas modificadas con pasarela, Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

Por otro lado, en las alcantarillas se detectó que cuatro especies de mamíferos hicieron uso de la estructura, entre ellos el armadillo (*Dasypus novemcinctus*) el cual registra mayor abundancia

relativa (AR=9.28, n=53), seguido por el mapache, rata espinosa (*Proechimys semispinosus*) y nutria (*Lontra longicaudis*) del cual se obtuvo solo un registro. (Figura 10 y 11)

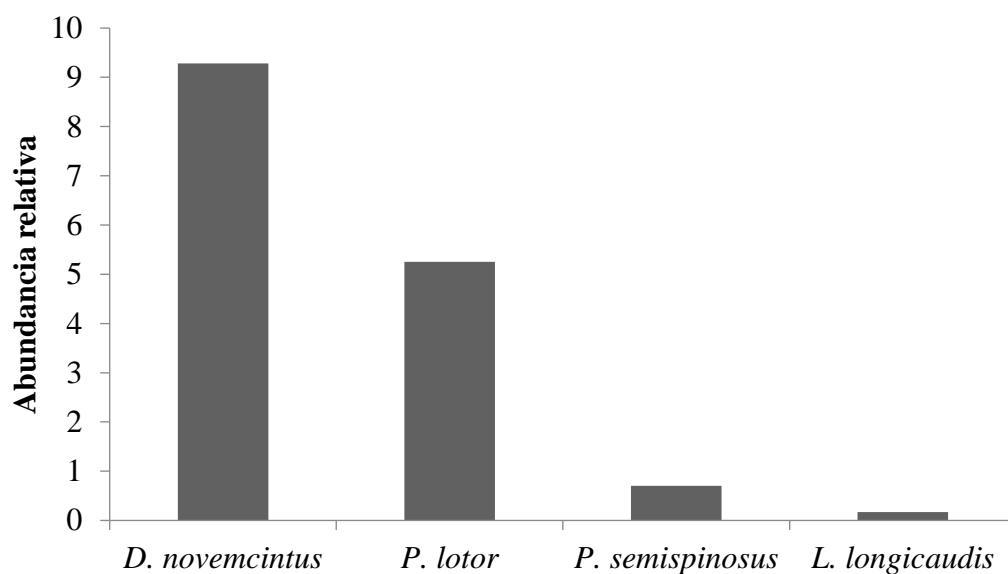


Figura 10. Abundancia relativa de especies detectadas en alcantarillas Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper



Figura 11. Fauna silvestre utilizando alcantarillas en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. **A.** *Lontra longicaudis*. **B.** *Dasypus novemcintus*

Pasos aéreos

Según los registros obtenidos, los pasos de fauna aéreos monitoreados han sido utilizados por 6 especies de mamíferos; mono cara blanca (*Cebus imitator*), mono congo (*Alouatta palliata*)

martilla (*Potos flavus*), zorro de balsa (*Caluromys derbianus*), ardilla (*Sciurus variegatoides*) y puerco espín (*Sphiggurus mexicanus*) (Cuadro II y Figura 12).

CUADRO II.

Lista de especies detectadas mediante cámaras trampa en los pasos aéreos de Ruta No.4.

Clase	Orden	Especie
Mammalia	Primates	<i>Cebus imitator</i>
		<i>Alouatta palliata</i>
	Carnivora	<i>Potos flavus</i>
	Didelphimorphia	<i>Caluromys derbianus</i>
	Rodentia	<i>Sciurus variegatoides</i>
		<i>Sphiggurus mexicanus</i>
Chiroptera	<i>No identificados</i>	

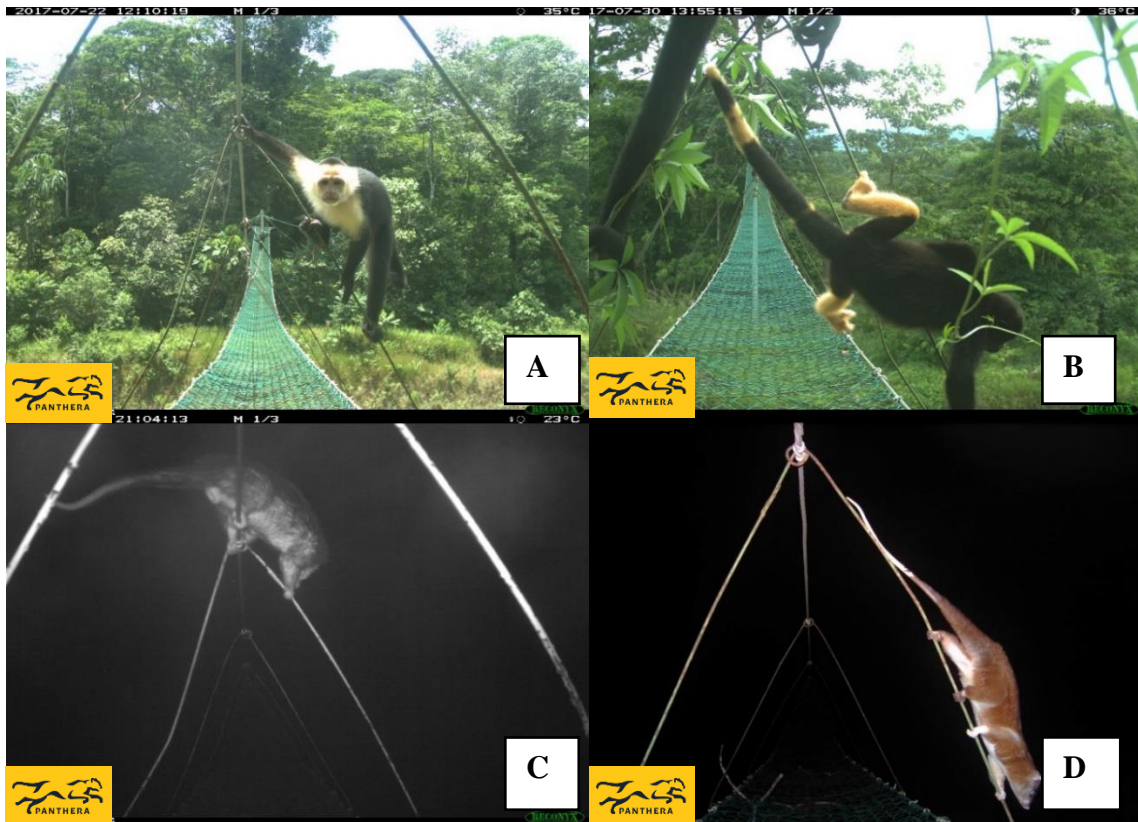


Figura 12. Fauna silvestre utilizando pasos aéreos en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. A. *Cebus imitator*. B. *Alouatta palliata*. C. *Sphiggurus mexicanus*. D. *Caluromys derbianus*

Como se observa en la figura 13, las especies más abundantes en el paso aéreo son el mono cara blanca y mono congo, por su parte la ardilla (AR=0.36, n=2) y puerco espín (AR=0.18, n=1) obtuvieron menor abundancia relativa.

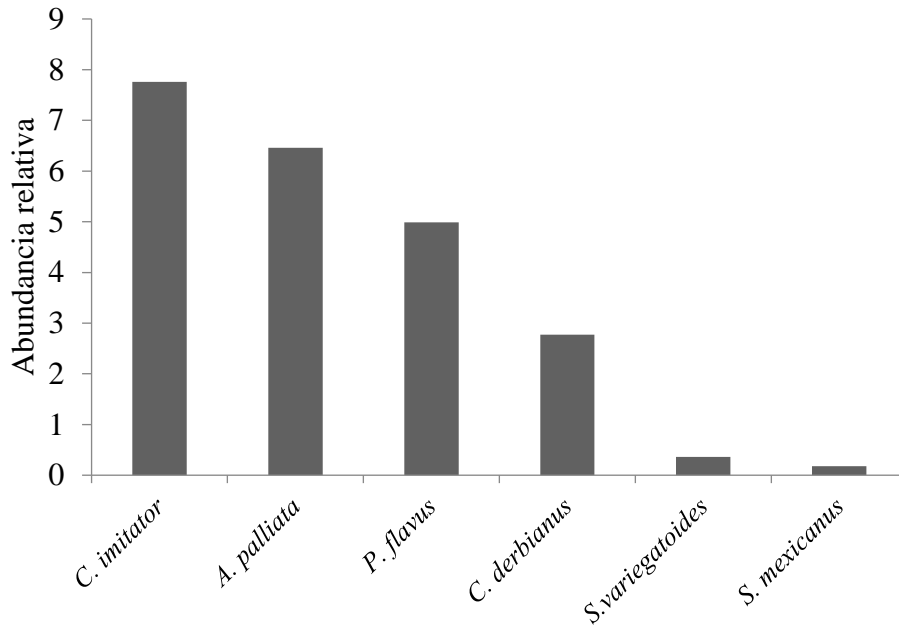


Figura 13. Abundancia relativa de especies detectadas en pasos aéreos Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

Bosque

En el área boscosa se registraron 15 especies, del grupo aves, reptiles y mamíferos, de este último se obtuvo *Pecari tajacu* (saíno), *Canis latrans* (coyote), *Nasua narica* (pizote) y *Leopardus pardalis* (ocelote) (Cuadro III y Figura 14)

CUADRO III.

Lista de especies detectadas mediante cámaras trampa en el área boscosa de la Ruta No.4

Clase	Orden	Especie
Mammalia	Didelphimorphia	<i>Didelphis marsupialis</i>
		<i>Metachirus nudicaudatus</i>
		<i>Philander opossum</i>
	Pilosa	<i>Tamandua mexicana</i>
	cingulata	<i>Dasybus novemcinctus</i>

	Rodentia	<i>Proechimys semispinosus</i>
	Artiodactyla	<i>Pecari tajacu</i>
		<i>Canis latrans</i>
		<i>Eira barbara</i>
	Carnivora	<i>Nasua narica</i>
		<i>Procyon lotor</i>
		<i>Leopardus pardalis</i>
Aves	Gruiformes	<i>Aramides cajaneus</i>
	Columbiformes	<i>Leptotila verreauxi</i>
Reptilia	Squamata	<i>Iguana iguana</i>



Figura 14. Fauna detectada en el área boscosa existente en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. **A.** *Leopardus pardalis*. **B.** *Pecari tajacu*. **C.** *Canis latrans*. **D.** *Nasua narica*

Las especies con mayor abundancia relativa en bosque son el *Dasyurus novemcinctus* (AR= 9.42, n=26) y *Proechimys semispinosus* (AR=4.34, n=12) (Figura 15). Ambas especies obtuvieron registro de paso por alcantarillas n=53 y n=4 respectivamente.

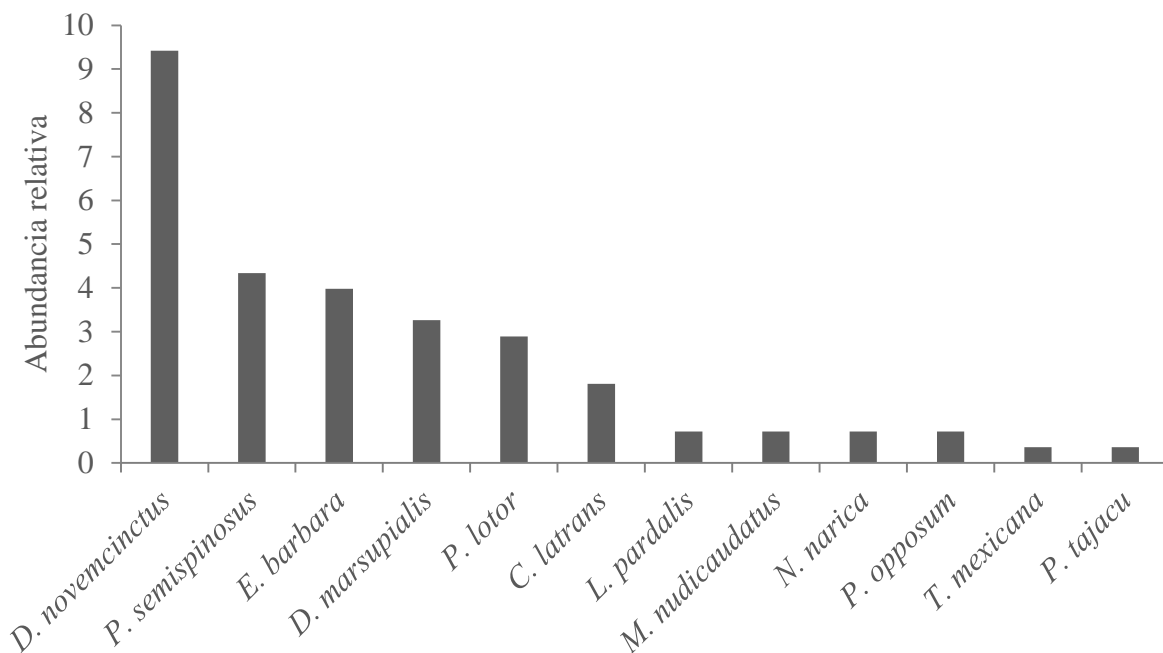


Figura 15. Abundancia relativa de especies detectadas en el área boscosa de Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

- **Caracterización de estructuras**

Alcantarillas

En total se monitorearon 10 estructuras, de las cuales seis son alcantarillas cuadradas y cuatro de ellas modificadas con pasarela, las cuatro restantes son estructuras redondas, todas las estructuras poseen variedad de dimensiones y un índice de abertura variable; a pesar de que la mayoría contaba con más de un acceso, se consideró únicamente el acceso monitoreado con cámara trampa.

Con respecto a la curvatura, ocho de las estructuras se ubican donde no hay evidencia de curvas en las cercanías, una estructura se ubica entre 100 - 200 metros de curva y solo una se ubica exactamente en la curva de la carretera. Topográficamente, cinco estructuras se encuentran con la carretera a ras de la vegetación, cuatro se encuentran con la carretera encima de la línea de vegetación y una debajo de la línea de vegetación.

Cada estructura de paso posee vegetación circundante desde 1,5 metros hasta 56 metros de distancia, en su mayoría esta vegetación se encuentra asociada a cuerpos de agua, que mantienen la línea de vegetación; sin embargo, también se pueden observar que para cada estructura además de mantener las franjas de bosque están bordeadas por potreros, charrales, y en mayor medida por monocultivos de piña y algunos de pimienta (Cuadro IV, Anexo 2).

CUADRO IV.

Caracterización de alcantarillas monitoreadas en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

Alcantarilla	Forma	Pasarela o acera	Medidas (m)	Índice de Apertura	Curvatura	Topografía	Distancia de vegetación	Especies que utilizaron	Número de registros	Noches trampa
1	□	Si	L:35 A:1,50 H:1,50	0,06	A	CRV	A 56 metros poca vegetación y a 24 metros del otro extremo con mayor vegetación	<i>Procyon lotor</i>	10	144
2	○	No	L:27 A:1,50 H:1,50	0,08	A	CRV	A 4 metros vegetación ambos lados	<i>Procyon lotor</i>	6	151
3	○	No	L:51 A: 1,60 H: 1,45	0,05	B	CRV	A 5 metros vegetación ambos lados	<i>Procyon lotor</i>	1	60

7	□	Si	L:29 A:3,70 H:3,60	0,46	A	CEV	A 10 metros vegetación ambos lados	No hay registros	0	21	
									- <i>Dasypus novemcintus</i>	53	
8	□	No	L:40 A: 150 H:1,50	0,06	A	CEV	A 5 metros vegetación en ambos lados	- <i>Procyon lotor</i>	10	151	
									- <i>Proechimys semispinosus</i>	4	
									- <i>Lontra longicaudis</i>	1	
10	○	No	L:44 A: 1,55 H:1,55	0,05	A	CDV	Charral a 4 m del otro extremo 1,5 vegetación	No hay registros	0	39	
11	○	No	L:40 A:1,22 H: 1,22	0,04	C	CRV	Potrero muy cercano, del otro extremo a 1,5 m de pequeña franja de bosque	<i>Procyon lotor</i>	2	151	

12	<input type="checkbox"/>	No	L:24 A:3,70 H:4,10	0,63	A	CEV	A 5 metros vegetación en ambos lados	No hay registros	0	19
13	<input type="checkbox"/>	Si	L:22 A:3,70 H:3,60	0,61	A	CRV	Vegetación a 18 metros de distancia	<i>Eira barbara</i>	1	151
14	<input type="checkbox"/>	Si	L:31 A: 3,70 H:3,60	0,43	A	CEV	Vegetación a 10 metros	No hay registros	0	108

Curvatura:

A. Recta. B. Curva a más de 100m y menos de 200 m. C. Curva

Topografía:

CRV – Carretera a ras de la línea de vegetación.

CEV – Carretera por encima de la línea de vegetación (1 ó >mts)

CDV – Carretera por debajo de la línea de vegetación (30 cm a 1.5 metros)

Por medio de la Prueba de Poisson, con un 95% de confianza existe evidencia estadística, con una media y varianza de 8 y un p-valor de 2.2×10^{-16} , para afirmar que el número de veces que los animales atraviesan las alcantarillas evaluadas es mayor que cero.

Pasos aéreos

Por su parte los pasos aéreos mantienen una misma estructura de forma triangular, con una longitud que van desde los 21 hasta los 38 metros de poste a poste, además cada paso cuenta con cinco anclajes en cada lado denominadas tirolesas que se extienden del poste hacia diferentes arboles ubicados de 0 a 30 metros de distancia.

Con respecto a la curvatura dos de los pasos se ubican en una recta, tres se ubican entre 100 - 200 m de curva y uno se ubica exactamente en la curva de la carretera; por su parte, la topografía fue más variable, uno de los pasos se ubica donde la carretera cuenta con un paredón y uno donde el paso está ubicado con la carretera por encima de la vegetación, dos de los pasos se encuentran con dos paredones y dos donde están a ras de la vegetación.


Todos los pasos están asociados a áreas con cobertura vegetal, algunos de ellos en vegetación asociada a cuerpos de agua, en su mayoría se encuentran completamente pegados a la vegetación, solamente uno mantiene una distancia de 17 metros hacia el árbol más cercano. Además, un aspecto interesante es que ninguno de los pasos posee iluminación específicamente de lámparas en las cercanías (Cuadro V, Anexo 3).

CUADRO V.

Caracterización de pasos aéreos monitoreados en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper.

Paso aéreo	Forma	Medida (m)	Anclajes	Curvatura	Topografía	Iluminación	Vegetación	Especies que utilizaron	Número de registros	Noches trampa
17	△	L:38	5 tirolesas a ambos lados	A	C1P	No	A un metro de distancia	<i>Alouatta palliata</i>	26	44
18	△	L:29	5 tirolesas a ambos lados	B	C2P	No	A 2 metros de distancia	<i>-Potos flavus</i> <i>-Sciurus variegatoides</i>	1 1	95

19	△	L:21	5 tirolesas a ambos lados	C	CEV	No	A 17 metros vegetación más cercana, una de las tirolesas a 30 metros del poste	- <i>Caluromys derbianus</i>	5	142
								- <i>Alouatta palliata</i>	1	
								- <i>Cebus imitator</i>	42	
20	△	L:35	5 tirolesas a ambos lados	B	C2P	No	Paso completamente pegado a la vegetación	- <i>Alouatta palliata</i>	8	124
								- <i>Potos flavus</i>	4	
								- <i>Sciurus variegatoides</i>	1	
								- <i>Sphiggurus mexicanus</i>	1	
21	△	L: 38	5 tirolesas en ambos lados	B	CRV	No	Paso completamente pegado a la vegetación	- <i>Potos flavus</i>	10	80
								- <i>Caluromys derbianus</i>	1	

22		L:38	5 tirolesas a ambos lados	A	CRV	No	Paso completamente pegado a la vegetación	- <i>Potos flavus</i> <hr/> - <i>Caluromys</i> <i>derbianus</i>	12 <hr/> 9	56
----	---	------	---------------------------------	---	-----	----	--	---	---------------	----

Curvatura:

A. Recta. B. Curva a más de 100m y menos de 200 m. C. Curva

Topografía:

CRV – Carretera a ras de la línea de vegetación.

CEV – Carretera por encima de la línea de vegetación (1 ó >mts)

C1P – Carretera con un paredón.

C2P – Carretera con dos paredones.

Por medio de la Prueba de Poisson, con un 95% de confianza existe evidencia estadística, con una media y varianza de 20.33 y un p-valor de 2.2×10^{-16} , para afirmar que el número de veces que los animales atraviesan los pasos aéreos evaluados es mayor que cero.

- **Monitoreo de atropellos**

Los recorridos se realizaron con la finalidad de identificar puntos de atropello o avistamientos de animales silvestres sobre la carretera o el espaldón, en total se efectuaron 11 recorridos diurnos y 11 recorridos nocturnos, el esfuerzo de muestreo fue de 39 horas y 550 km. Durante estos recorridos se detectaron 42 especies, excluyendo los individuos que no pueden ser reconocidos a nivel de especie.

En total se detectaron 151 individuos atropellados, de estos se identificaron 10 especies de mamíferos, 11 especies de aves, 6 especies de reptiles, 8 especies de anfibios, los cuales se detallan en el cuadro VI; además se registraron 14 individuos como avistamientos sobre la carretera, específicamente del grupo de anfibios y aves (Cuadro VII).

CUADRO VI

Lista de especies registradas como atropellos en el monitoreo de Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

Clase	Orden	Especie	Número de registros
Amphibia	Gymnophiona	<i>Gymnopsis multiplicata</i>	1
		No identificado	4
	Anura	<i>Incilius melanochlorus</i>	7
		<i>Rhaebo haematiticus</i>	5
		<i>Rhinella marina</i>	54
		<i>Leptodactylus savagei</i>	4
		<i>Smilisca puma</i>	5
		<i>Lithobates taylori</i>	2
		<i>Lithobates warschewitschii</i>	1
Reptilia	Testudines	<i>No identificado</i>	1
		<i>No identificado</i>	1
	Squamata	<i>Iguana iguana</i>	1
		<i>Boa constrictor</i>	1
		<i>Lampropeltis triangulum</i>	1
		<i>Ninia sebae</i>	5
		<i>Sibon nebulatus</i>	7
		<i>Micrurus nigrocinctus</i>	1
Aves	Galliformes	<i>Ortalis cinereiceps</i>	1
	Suliformes	<i>Anhinga anhinga</i>	1
	Cathartiformes	<i>Coragyps atratus</i>	3
	Strigiformes	<i>Megascops guatemalae</i>	1
	Caprimulgiformes	<i>Nyctidromus albicollis</i>	5
	Columbiformes	<i>Leptotila verreauxi</i>	1
	Coraciiformes	<i>Chloroceryle americana</i>	1
		<i>No identificado</i>	3
		Passeriformes	<i>Pitangus sulphuratus</i>
	<i>Manacus candei</i>		1

		<i>Ramphocelus passerinii</i>	3
		<i>Cyanocopsa cyanooides</i>	1
		<i>Didelphis marsupialis</i>	2
	Didelphimorphia	<i>Caluromys derbianus</i>	1
		<i>Philander opossum</i>	7
	Pilosa	<i>Tamandua mexicana</i>	5
		<i>Choloepus hoffmanni</i>	1
Mammalia	Cingulata	<i>Dasypus novemcinctus</i>	5
	Chiroptera	<i>No identificado</i>	1
	Rodentia	<i>Nyctomys sumichrasti</i>	1
		<i>Sigmodon hispidus</i>	1
	Lagomorpha	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	2
	Carnivora	<i>Procyon lotor</i>	2

CUADRO VII

Lista de especies registradas como avistamientos en la Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

Clase	Orden	Especie	Número de registros
		No identificado	4
		<i>Incilius melanochlorus</i>	1
		<i>Rhinella marina</i>	1
Amphibia	Anura	<i>Leptodactylus poecilochilus</i>	1
		<i>Leptodactylus savagei</i>	1
		<i>Lithobates vaillanti</i>	1
	No identificado	<i>No identificado</i>	1
	Gruiformes	<i>Aramides cajaneus</i>	1
Aves	Falconiformes	<i>Caracara cheriway</i>	1
	Strigiformes	<i>No identificado</i>	1
	Passeriformes	<i>No identificado</i>	1

La especie con más atropellos registrados para el grupo de los anfibios corresponde al sapo común (*Rhinella marina*) obtuvo un índice de abundancia relativa de 9.8 (n=54), en comparación con las especies restantes, que obtuvieron entre 0.18 y 1.27 (Figura 16 y 17)



Figura 16. Atropellos de anfibios en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. **A.** *Incilius melanochlorus*. **B.** *Lithobates taylori*

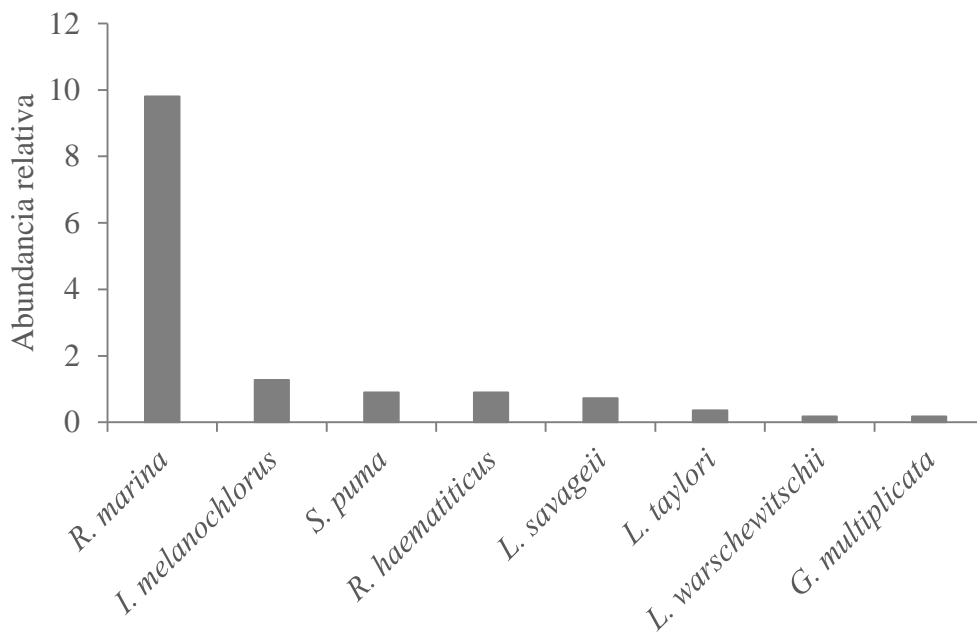


Figura 17. Abundancia relativa de anfibios atropellados en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

Por su parte, en el grupo de los reptiles, las especies con mayor registro de atropellos fueron las serpientes *Sibon nebulatus* (AR=1.27, n=7) y *Ninia sebae* (AR=0.9, n=5), las demás especies obtuvieron solamente un individuo por cada una (Figura 18 y 19).



Figura 18. Atropellos de reptiles en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper.
A. *Sibon nebulatus*. **B.** *Ninia sebae*

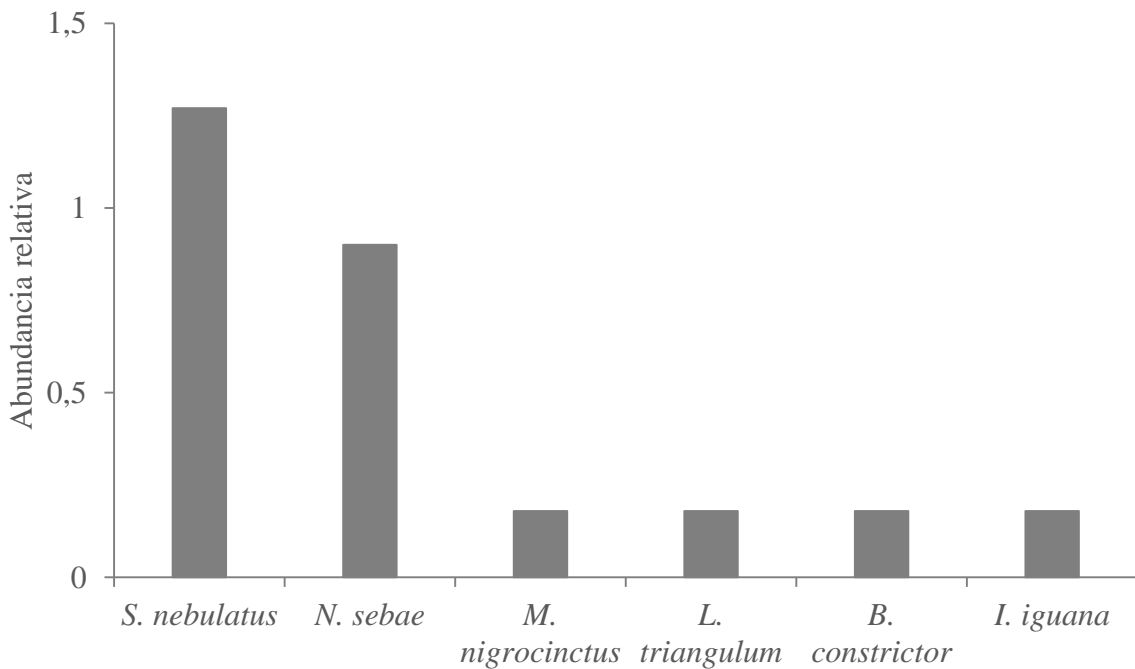


Figura 19. Abundancia relativa de reptiles atropellados en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

En el grupo de las aves, a pesar de que fue un grupo diverso para atropellos, la especie *Nyctidromus albicollis* es la que obtiene mayor registro de atropellos (n=5), seguido por *Coragyps atratus* y *Ramphocelus passerinii*, sin embargo, para el resto especies la abundancia relativa es baja, ya que los registros fueron mínimos (n=1) (Figura 20 y 21).

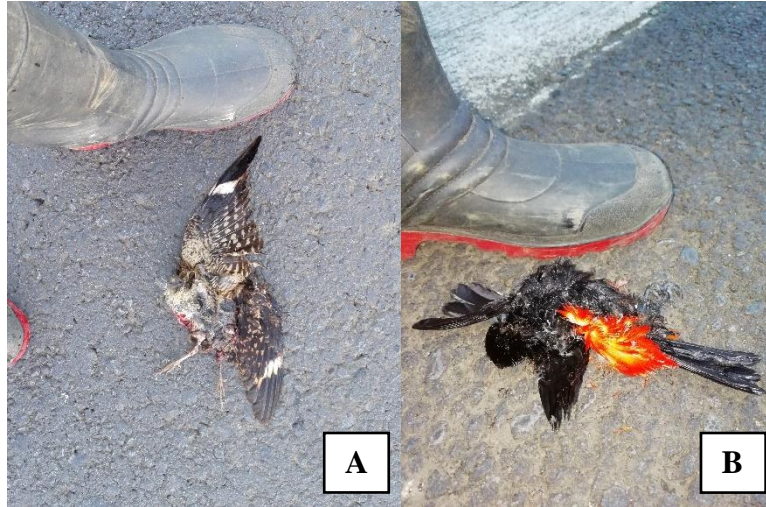


Figura 20. Atropellos de aves en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. **A.** *Nyctidromus albicollis*. **B.** *Ramphocelus passerinii*

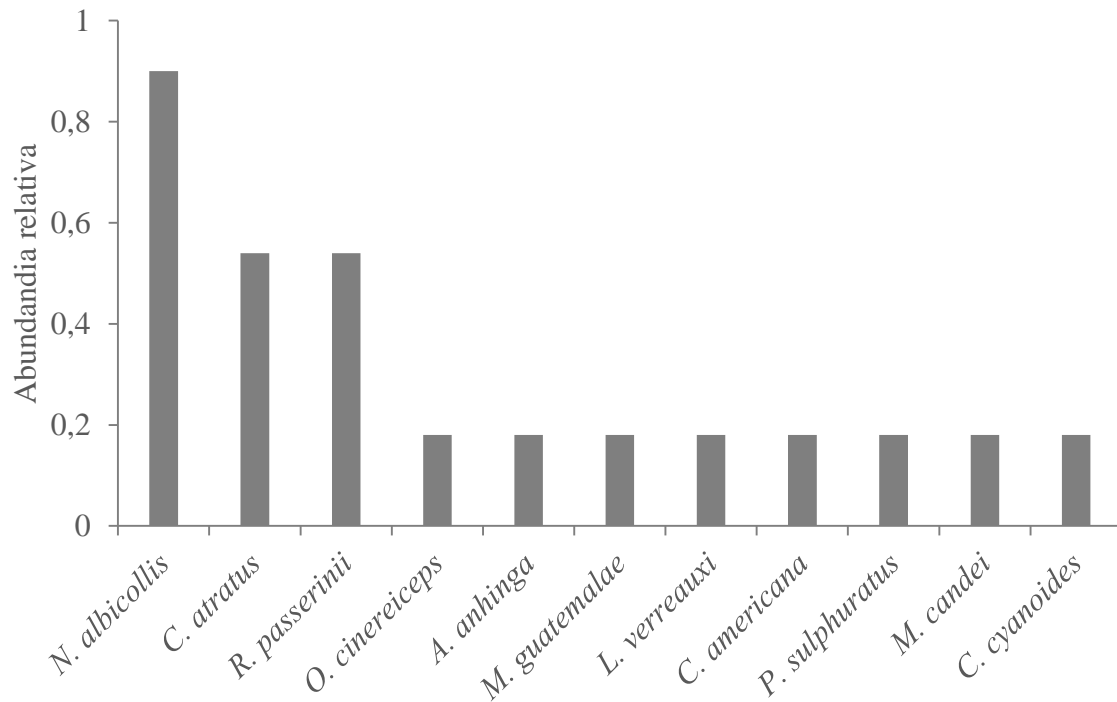


Figura 21. Abundancia relativa de aves atropelladas en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

Finalmente, para el grupo de los mamíferos se registran 10 especies atropelladas, este grupo se subdivide en mamíferos terrestres, arborícolas, y mamíferos terrestres-arborícolas con el fin de asociar por grupos el uso de las estructuras de paso (Cuadro VIII).

CUADRO VIII

Clasificación de mamíferos por grupo terrestre, arborícola y terrestres-arborícola

Clasificación	Orden	Especie
Mamíferos terrestres	Cingulata	<i>Dasypus novemcinctus</i>
	Rodentia	<i>Nyctomys sumichrasti</i>
		<i>Sigmodon hispidus</i>
	Lagomorpha	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>
	Carnivora	<i>Procyon lotor</i>
Mamíferos arborícolas	Didelphimorphia	<i>Caluromys derbianus</i>
	Pilosa	<i>Choloepus hoffmanni</i>
Mamíferos terrestre-arborícola	Didelphimorphia	<i>Philander opossum</i>
		<i>Didelphis marsupialis</i>
	Pilosa	<i>Tamandua mexicana</i>

Del total de especies, el zorro cuatro ojos (*Philander opossum*, n=7), el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*, n=5) y el armadillo (n=5) poseen mayor registro de atropellos en la Ruta. La mayoría de los registros se encontraron a una distancia mayor de 150 metros de las estructuras de paso, excepto cinco individuos, los cuales se ubicaron entre 25 y 85 metros de las estructuras evaluadas. (Figura 21 y 23)



Figura 22. Atropellos de mamíferos en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. **A.** *Tamandua mexicana*. **B.** *Choloepus hoffmanni*, bajo paso de fauna aéreo.

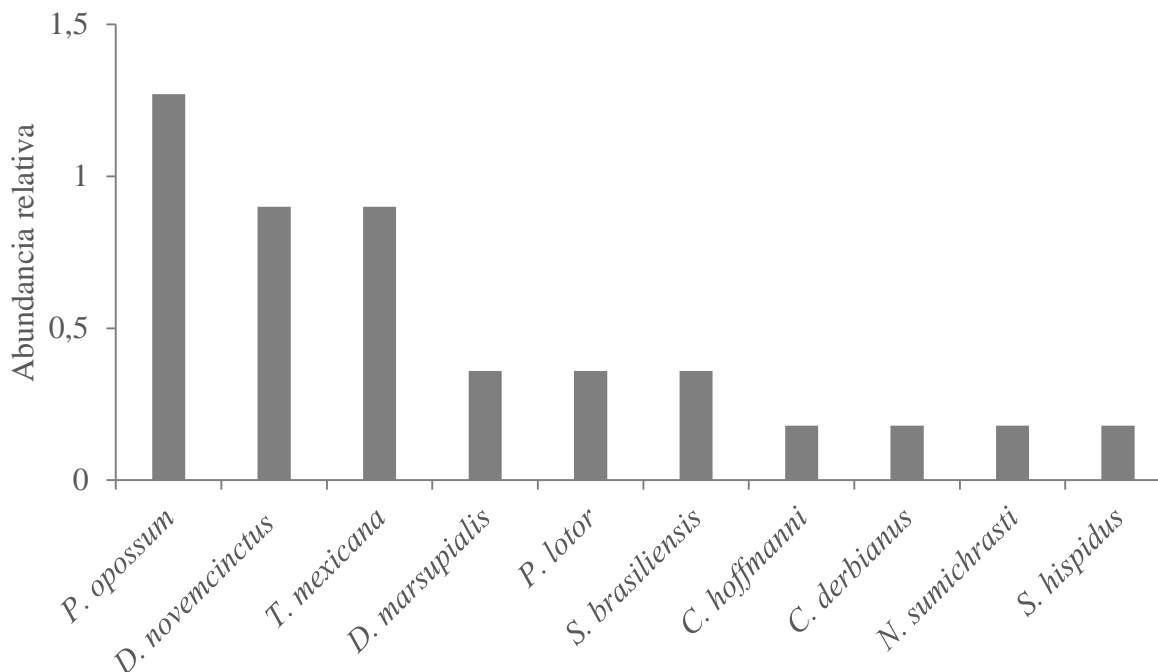


Figura 23. Abundancia relativa de mamíferos atropellados en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper

Puntos calientes de atropellos

Por medio de los registros de atropellos obtenidos, se realizaron mapas de calor para el grupo de anfibios, reptiles, mamíferos terrestres y terrestre-arborícola, con el fin de comparar con las estructuras de paso evaluadas y valorar si estas medidas correctivas que se han implementado tienen efecto en los atropellos de fauna. Los mamíferos arborícolas se excluyen ya que solo se cuenta con dos registros de atropello, los cuales no coinciden con los pasos aéreos, así como las aves, ya que se considera que las estructuras evaluadas no son funcionales para este grupo faunístico.

Los sitios de mayor atropello se diferencian de acuerdo con la escala de color utilizada, donde el azul representa de 0 a 1 atropello, el amarillo 1 a 2 y el rojo significa que hay mayor mortalidad con más de 2 individuos, para los grupos de reptiles, mamíferos terrestres y terrestres-arborícolas. En cuanto a los anfibios, debido a que es el grupo con mayor número de atropellos a lo largo de la ruta, la escala varía en cantidad, donde el azul representa 0 a 3, el amarillo 3 a 6 y el rojo mayor mortalidad con más de 6 individuos atropellados.

Como se mencionó anteriormente los anfibios se registraron a lo largo de la ruta; sin embargo, se define un punto con mayor intensidad que se extiende desde el Río Toro hasta el cruce hacia Pital en el cual no se evaluaron estructuras. Además, se definen otros puntos con menor intensidad y al superponer los puntos de ubicación de las estructuras con el mapa de calor se observa que el primer punto caliente se estableció sobre la alcantarilla número 3, el resto de los puntos no coincide con las estructuras de paso (Figura 24).

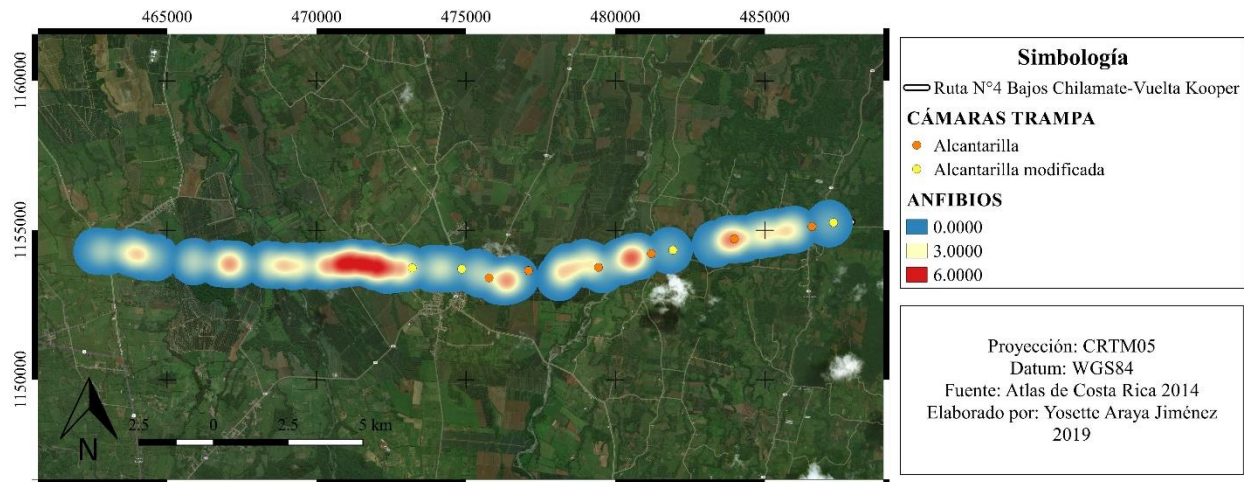


Figura 24. Mapa de calor para el grupo de anfibios en relación con las alcantarillas.

Por otra parte, los reptiles muestran tres puntos de alta intensidad de atropellos, el primer punto se centra sobre Río Cuarto, el segundo punto al superponer el mapa de calor junto a la ubicación de estructuras de paso se ubica sobre el punto correspondiente a la alcantarilla número 12 y el tercero sobre Quebrada San Pedro en las cercanías del cruce hacia Pital, donde no se realizó evaluación de estructuras (Figura 25)

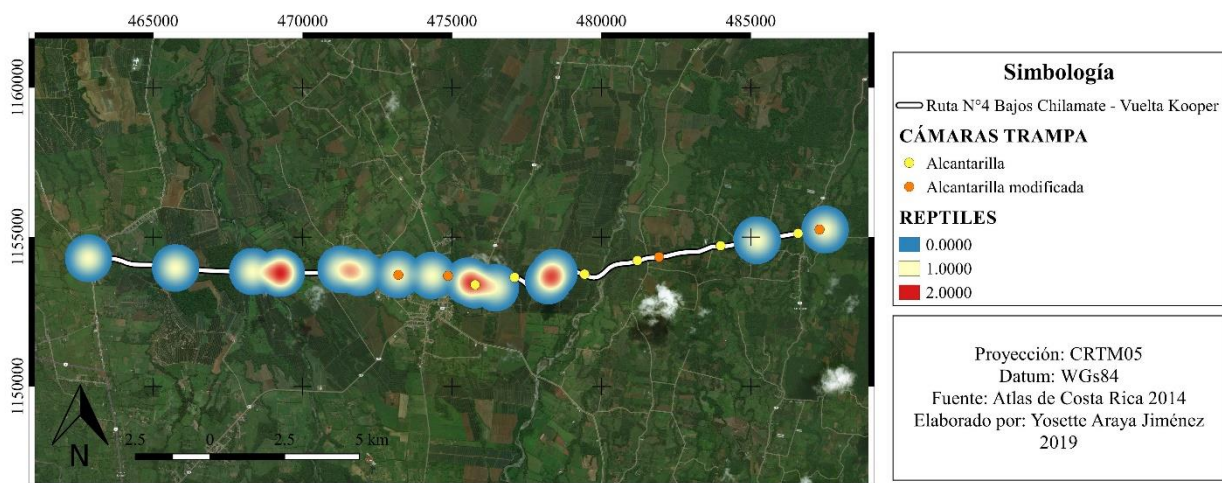


Figura 25. Mapa de calor para el grupo de reptiles en relación con las alcantarillas.

Los mamíferos terrestres cuentan con tres sitios de mayor mortalidad, el primero ubicado en las cercanías del poblado de Desamparados, el segundo en Quebrada Grande que a su vez coincide con la alcantarilla modificada con pasarela número 14 y el tercer punto se ubicó entre Río Tres Amigos y Quebrada Pericos, donde no se encuentran estructuras de paso monitoreadas (Figura 26).



Figura 25. Mapa de calor para el grupo de mamíferos terrestres en relación con las alcantarillas.

Por último, se tomó en cuenta el grupo donde se encuentran tres de las especies con mayor muerte por atropello, las cuales tiene hábitos terrestres y arborícolas, se registran tres puntos de mayor mortalidad el primero se superpone sobre el paso aéreo 21, el segundo en las cercanías del paso aéreo número 20 y la alcantarilla 8 y el tercer punto con mayor intensidad en Quebrada Saíno donde se ubica aproximadamente a 300 metros la alcantarilla modificada con pasarela número 13.

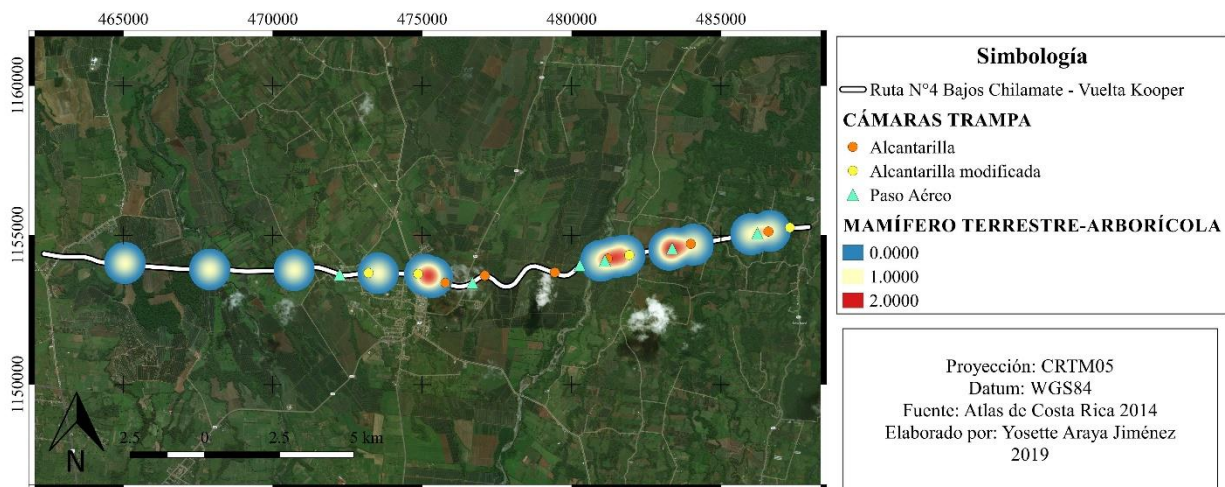


Figura 26. Mapa de calor para el grupo de mamíferos terrestres-arborícolas en relación con las alcantarillas y pasos aéreos.

Discusión

- **Monitoreo cámaras trampa - efectividad**

Las alcantarillas y los pasos aéreos han sido efectivas para el paso de las distintas especies, considerando que la efectividad es satisfactoria si logra el efecto que se desea o espera, es decir registrar el paso de la especie o especies para los cuales se diseñaron las estructuras (RAE, 2019). Sin embargo, se debe considerar el número total de especies y la frecuencia de uso de cada especie en un periodo de tiempo definido (Ministerio de Ambiente y Medio Rural Marino, 2008). En esta investigación se tomo en cuenta la frecuencia de uso en relación con las noches trampa, determinado por la abundancia relativa.

A pesar de determinar que estas estructuras son efectivas; mediante la distribución de Poisson, se ha evidenciado que existen factores que influyen en el uso de los pasos por los animales, por ejemplo, variables de forma, dimensiones, apertura, vegetación, curvatura y topografía, las cuales se consideraron en este estudio. Por su parte Jackson y Griffin (2000) exponen variables como el lugar, ruido, sustrato, humedad, temperatura y perturbación humana, por lo que es recomendable tomar en cuenta para futuras investigaciones.

Del total de especies que usaron las estructuras terrestres, se observó que el armadillo utilizó en mayor medida una de las alcantarillas; misma que utilizó, el mapache, la rata espinosa y la nutria, esta última especie se toma como primer registro en el uso específicamente de alcantarillas, dato de gran importancia ya que, según Ruediger y Digiordio (2007), la nutria puede evitar alcantarillas estrechas o puentes sobre arroyos y optar por salir del curso del arroyo y cruzar carreteras.

Mientras que el mapache fue más generalista en utilizar los dos tipos de alcantarillas; esta especie ha sido registrada usando este tipo de estructuras en la Ruta 415 en el Sub Corredor Biológico Barbilla Destierro, en el sector de ampliación de la Ruta 32 y en la Ruta 34 en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Hacienda Barú, donde se registró utilizando pasos de fauna específicos. (Araya-Gamboa y Salom- Pérez, 2015; Araya-Jiménez, 2015, sin publicar; Venegas-Vargas, 2018)

Por su parte el tolomuco, solamente se registró en una alcantarilla modificada con pasarela, esta especie tiene evidencia del uso de pasos específicos de fauna en la Carretera Interamericana Norte (Torres, 2011), en Hacienda Barú (Venegas, 2018) y en Ruta 257 en Finca Sandoval – Moín (Panthera, 2019), por lo que es claro que tienen mayor preferencia por estructuras que no posean

agua en su interior, si bien la alcantarilla modificada posee agua, la implementación de la pasarela es una variable importante que considerar.

Con respecto a los pasos aéreos, son seis especies las identificadas haciendo uso de estos, en el país existen sitios con estructuras de este tipo, pero no se cuenta con suficientes datos del registro de uso; el *Cebus imitator* (mono carablanca) es la única especie que se ha registrado por medio de otros estudios en la Ruta 257 – Moín y en la Carretera Interamericana Norte, donde solamente cuentan con el registro de 4 individuos utilizando un paso aéreo (Lavalle, 2019 sin publicar; Panthera, 2019). En el caso de Ruta 4, el mono cara blanca solamente se detectó utilizando un paso aéreo.

Se obtuvo el registro de uso por *Alouatta palliata* (Mono Congo) a su vez se detectaron individuos con casos de leucismo, *Potos flavus* (martilla) y *Sphiggurus mexicanus* (Puerco espín), estas especies han sido reportadas como víctimas de atropello en el sector de ampliación de la ruta 32 por Artavia (2015), pero también se han observado en bosques aledaños a vías de comunicación como la Ruta 257 en Moín; sin embargo no hacen uso de las estructuras existentes, estos datos fueron obtenidos por medio del monitoreo con cámaras trampa en el dosel del bosque (Panthera, 2019). Por lo que es muy importante implementar este tipo de metodologías con el fin de conocer que otras especies además de las que ya usan los pasos aéreos se ubican en las inmediaciones de las rutas de estudio.

Por otro lado, en el bosque aledaño a la carretera en evaluación, se obtuvieron 15 especies de vertebrados, de las cuales, solamente el armadillo, el mapache, el toluco y la rata espinosa se han observado utilizando las alcantarillas; además se tienen registros de especies que no hacen uso de las estructuras e incluso se encuentran dentro de las especies registradas en atropellos. Mediante reporte incidental se obtuvo el dato de un atropello de manigordo, el cual fue reportado meses antes de iniciar el monitoreo de atropellos en la ruta.

El saíno (*Pecari tajacu*), el pizote (*Nasua narica*) y el manigordo (*Leopardus pardalis*) se encuentran dentro de la lista de especies vulnerables al impacto vial descritos por Pomareda *et al* (2014), pero también son especies que se han registrado utilizando estructuras de paso en otras zonas del país (Robledo-Bonilla, 2016, Venegas-Vargas, 2018), por lo que es interesante analizar porque no hacen uso de las estructuras existentes; en cuanto a el coyote (*Canis latrans*) existen

registros de atropello en otras rutas, pero de igual forma no se obtiene registro de uso en las estructuras de paso.

Según German Retana (com. pers. 2019) esta carretera inicio su construcción en el año 2013, es decir que cuenta con 5-6 años desde que se instalaron las estructuras que posteriormente funcionarían como pasos de fauna; además los pasos aéreos se instalaron del año 2015 al 2016, por lo que tienen 3 años en funcionamiento; según Clevenger y Waltho (2005), citado por Mata Estancio (2007) los primeros tres a cuatro años corresponden a la fase de adaptación de las especies de vertebrados a la infraestructura y por ende a las estructuras de paso; lo que podría explicar por qué algunas de las especies que se encuentran en las inmediaciones aún no hacen uso de ellas, ya que requieren más tiempo de adaptación, aunado a esto el diseño y características de cada estructura, que también es determinante en la utilización por las especies (Mata Estancio, 2007).

Con respecto a las alcantarillas, solamente seis de las 10 estructuras tienen registro de uso por la fauna silvestre, algunas de ellas en mayor medida tanto en número de especies como el registro por individuo, las características determinantes son la dimensión y la vegetación circundante, aunque se observó que la curvatura y topografía pueden influir en el uso de los pasos. La curvatura fue en su mayoría de tipo A, es decir que no existe evidencia de curvas en las cercanías del paso, registrando mayor cantidad de usos en estas estructuras, del mismo modo la topografía, ya que se registraron mayor número de registros cuando la carretera se encuentra encima de la línea de vegetación; según Clevenger y Huijser (2011) este tipo de topografía es ideal para la instalación de pasos de fauna subterráneos, de forma natural funcional como embudo hacia el paso.

La mayoría de las especies hizo uso de las estructuras cuadradas, con dimensiones superiores a 1,50 metros de ancho y alto, si bien se encuentran registros de uso en las redondas son en menor cantidad, en este caso pueden influir factores que las hacen menos atractivas como la longitud y la falta de vegetación aledaña, lo que concuerda con Mata (2007), Torres (2011) y Robledo (2016) ya que en estos estudios se dio mayor detección de fauna en estructuras cuadradas.

El índice de abertura es una variable de importancia, ya que este determina el efecto túnel generado por las estructuras de paso, de manera que inhibe el paso de los animales, por la incapacidad de ver un área suficientemente grande al lado opuesto del cruce, lo que juega un papel determinante para el uso por la fauna silvestre, una estructura redonda y de dimensiones pequeñas, puede tener éxito si la longitud es corta para obtener un índice de abertura alto (Donaldson, 2005), de acuerdo con

los resultados obtenidos, existe mayor registro de uso en las estructuras con un índice de abertura de 0,06 y 0.08.

La cobertura vegetal es un factor determinante, ya que se evidenció que las estructuras que se encuentran con mayor cobertura vegetal registraron mayor cantidad de pasos, además diversos estudios han demostrado que, con presencia de cobertura vegetal en los accesos y alrededores de la estructura, hay mayores probabilidades de que la fauna silvestre utilice los pasos (Mata, 2007; Gurrutxaga y Lozano, 2009; Torres, 2011; Venegas, 2018). Las estructuras con menor cantidad de registros se asocian directamente con la escasa cobertura vegetal en las inmediaciones.

También se analizó la cantidad de noches trampa ya que en las estructuras con cero registros la cantidad de noches trampa fue mínimo (19 a 21 noches trampa), por lo que se les atribuye a las fallas mecánicas de las cámaras como un factor por el que no se cuenta con registros de fauna en algunas de las estructuras, aunado a ciertas variables que compone cada estructura.

Por otra parte, los pasos aéreos mantienen características similares en forma, cantidad de tirolesas, vegetación circundante, con variaciones únicamente en la longitud, curvatura y topografía; además hay diferenciación en la cantidad de especies y registro de uso por la fauna, por ejemplo, el paso 20 fue utilizado por cinco especies de mamíferos en 56 ocasiones, mientras que el paso 17 solamente fue utilizado por una especie en 26 ocasiones. La curvatura no determina el uso, se observa que utilizan los pasos ubicados tanto en curvatura tipo A y B; la topografía es aún más variable, con mayor registro de uso por el paso que se encuentra en la carretera con dos paredones, lo que concuerda con Clevenger y Huijser (2011), en que este tipo de topografía es más funcional para estructuras de paso aéreos.

Según Torres (2011) la diferencia en el uso puede deberse a la variación en el rango de distribución y composición de especies, además de la condición del paisaje en cada punto monitoreado, aplicando de la misma forma para especies de mamíferos terrestres y arborícolas. Otro elemento importante que considerar son los materiales de construcción con que fueron elaborados cada uno de los pasos, que para efectos de esta investigación no se evalúan; sin embargo, German Retana (com. pers. 2019) encargado de la regencia ambiental del proyecto, informo que específicamente los pasos aéreos tienen materiales de construcción especiales; por el momento no se cuenta con estudios que evidencien que los materiales de construcción influyan el paso por la fauna.

- **Monitoreo atropellos**

Según Forman y Alexander (1998), el ancho de la carretera, el tránsito vehicular, velocidades de vehículos, así como el comportamiento de las especies y el ecosistema adyacente son factores que influyen en gran medida en las colisiones y atropellos de fauna silvestre (Mendoza Sánchez y Marcos Palomares, 2016). Las aves, al igual que los mamíferos fueron los grupos que representan mayor cantidad de especies atropelladas; sin embargo, el grupo de los anfibios presenta mayor número de atropellos por especie y los reptiles menor cantidad de especies y de atropellos.

Forman y Alexander (1998) describen que los anfibios y reptiles tienden a ser particularmente susceptibles en carreteras de dos carriles con tráfico de bajo a moderado, los mamíferos grandes y medianos son especialmente susceptibles en carreteras de alta velocidad de dos carriles, y las aves y los mamíferos pequeños en carreteras más anchas y de alta velocidad, en este caso la Ruta 4 es de dos carriles en la cual se puede transitar a una velocidad 80 km/h y aún no se registra datos específicos de tránsito promedio diario (TPD); es decir, la cantidad promedio de vehículos que circulan por día en un tramo de la carretera.

Mediante la página oficial del MOPT (2018) para la estación 0 ubicada a 500 metros después del planten del MOPT Puerto Viejo Sarapiquí – Bajos de Chilamate, se registró un total de 6374 TPD en el año 2017, según el rango establecido por Arroyave y colaboradores (2006) al año 2017 el volumen vehicular se considera bajo (3000-8000 vehículos/día), en la actualidad es de gran importancia la colocación de estaciones de medida, ya que es una carretera alta mente transitada por todo tipo de vehículo.

De acuerdo con Arévalo (2015), los anfibios se consideran como principales víctimas de atropello, en la mayoría de los casos se debe a que las carreteras atraviesan ríos o lagunas, así como propician la generación de cuerpos de agua temporales, especialmente en época lluviosa que para esta zona en el periodo de estudio se presentaron lluvias intensas; según el Instituto Meteorológico Nacional (2019) en la zona norte se presenta un solo periodo lluvioso desde mayo hasta enero, explicando por qué la mayoría de atropellos fue de anfibios, por otra parte como se mencionó anteriormente también influye el comportamiento y ecología de cada uno de las especies.

Con respecto al sapo común (*Rhinella marina*), especie con mayor cantidad de atropellos, se encuentra especialmente en áreas perturbadas y alrededor de las viviendas humanas, así como en

áreas agrícolas, además es de hábitos nocturnos lo que explica encontrar mayor cantidad de registros durante los recorridos nocturnos, en periodos secos se ven afectados por la desecación por lo que cada vez que cae una ligera llovizna la actividad de los sapos incrementa (Savage, 2002). En la Ruta 4, el tiempo climático es muy variable y considero que es evidente por zonas, a pesar de contar con un periodo lluvioso marcado (IMN, 2019) hay tramos de la ruta donde llueve la mayoría del tiempo, de modo que influye en la salida de los anfibios en su mayoría terrestres, excepto *Smilisca puma* considera como rana arborícola (Savage, 2002).

Con respecto a los reptiles, las serpientes especialmente tienden a ser atropelladas debido a su anatomía y locomoción lenta, su necesidad de termorregulación lo cual las obliga a buscar superficies calientes como la carretera, además las serpientes necesitan rangos de hogar medianos a grandes con el fin de encontrar pareja, alimento y refugio, por lo tanto, el desplazamiento aumenta las probabilidades de atropello (Vargas, Delgado y López, 2011; Collinson y Patterson, 2016).

Las aves en este estudio presentaron variedad de especies, en su mayoría registros de cuyeo (*Nyctidromus albicollis*), según Garrigues y Dean (2017), esta especie se puede encontrar en hábitats muy variados y se caracterizan por cazar insectos en el vuelo, su hábito es nocturno cuando oscurece tiende a forrajear volando desde el suelo a áreas abiertas, especialmente en orillas de caminos; lo que podría propiciar las colisiones y atropellos por los vehículos.

Arroyave *et al* (2006), menciona que en aves y mamíferos los atropellos ocurren después de la época reproductiva cuando los individuos jóvenes, que son inexpertos, se aproximan a las carreteras; además algunas de las especies son oportunistas como el zopilote (*Coragyps atratus*), haciéndolos más susceptibles a colisiones con vehículos; así como las aves que consumen granos o semillas dispersas en las carreteras y algunas utilizan grava de la carretera para ayudar en la digestión (Collinson y Patterson, 2016).

Finalmente, en cuanto a los mamíferos se evidencia que, a pesar de la existencia de estructuras de paso, es uno de los grupos con más especies atropelladas, se obtuvieron registros de especies, las cuales ha utilizado pasos aéreos y terrestres ejemplo de ellos, el zorro de balsa (*Caluromys derbianus*), armadillo (*Dasybus novemcinctus*) y mapache (*Procyon lotor*). Con respecto al perezoso de dos dedos se obtuvo el registro de atropello debajo de una estructura de fauna arborícola, y no se cuenta con evidencia de uso en los pasos aéreos por parte de perezosos. De

modo indirecto, se recibió el reporte por medio de una funcionaria del MOPT de un perezoso de tres dedos haciendo uso de una de las estructuras de paso aéreo de Ruta 4.

El zorro cuatro ojos (*Philander opossum*) registra mayor cantidad de individuos atropellados, de acuerdo con Wainwright (2007) esta especie es de hábitos terrestres y arborícolas, ya que forrajea por la noche principalmente en el suelo, busca ranas, lagartijas, otros roedores y aves, generalmente sus nidos se encuentran a una altura a menos de 10 metros del suelo, propiciando el acercamiento a las carreteras, especialmente en Ruta 4 donde se pueden encontrar variedad de ranas en las inmediaciones de la carretera.

Mediante la superposición de mapas, se pudo evidenciar los puntos de mayor mortalidad de fauna respecto a las alcantarillas y pasos aéreos, brindando información sobre el efecto que estas estructuras tienen en los atropellos de fauna.

El grupo de los anfibios no cuenta con ninguna medida implementada para evitar y disminuir el impacto de atropello. Eventualmente las alcantarillas y alcantarillas modificadas con pasarela pueden ser utilizados por anfibios, pero no se cuenta con registros específicos; sin embargo, según el mapa de calor generado, las estructuras evaluadas se encuentran en los puntos fríos de mortalidad, excepto la estructura número 3, la cual coincide con un punto de mortalidad. Esta estructura durante su caracterización se observó la existencia de sedimentos en su interior, así como el abundante caudal el cual puede variar según el clima, por lo que es de gran importancia considerar este tipo de variables, así como los hábitos y comportamiento de las especies que se encontraron atropelladas en las inmediaciones, en este caso se registra *Rhaebo haematiticus* (sapo hojarasquero) y *Rhinella marina* (sapo común).

De igual forma para los reptiles se obtienen tres puntos de alta mortalidad y uno de ellos coincide con la alcantarilla número 12, esta estructura no registra el uso de ninguna especie, el tiempo de actividad de la cámara trampa fue muy corto, además el caudal es mayor respecto a otras estructuras, lo que podría impedir el paso por parte de reptiles considerando el hábito y comportamiento de las mismas, las especies que corresponden a este punto caliente de atropello son *Ninia sebae* (hojarasquera) y *Sibon nebulatus* (caracolera).

Con respecto a los mamíferos terrestres, se detectaron tres puntos de mortalidad, siendo uno de ellos en las cercanías de la alcantarilla modificada número 14, esta estructura no obtuvo registros

de paso, además durante la caracterización se observó que hay troncos y ramas las cuales obstruyen el correcto curso del agua, del mismo modo puede ser un obstáculo para el paso de la fauna. Otro punto importante es que esta estructura se encuentra en curvatura tipo A, según Robledo (2016 sin publicar) este tipo de curvatura representa un sitio de aumento de velocidad generando mayor cantidad de atropellos, en este sector además de los mamíferos terrestres, *Procyon lotor*, *Sylvilagus brasiliensis* y *Dasyus novemcintus* se detectó el atropello de individuos de anfibios, reptiles, aves y mamíferos terrestres-arborícolas.

Por último, el grupo de mamíferos terrestres – arborícolas, se registran tres puntos de mortalidad, los cuales se ubican en las cercanías de estructuras de paso, en este caso se considero tanto las alcantarillas como los pasos aéreos, ya que son especies que de acuerdo con sus hábitos y comportamiento podrían utilizar ambos tipos de estructuras. En el caso del punto ubicado en las cercanías del paso aéreo 21, se registraron osos hormigueros (*Tamandua mexicana*), en el paso número 20 y alcantarilla 8, fueron oso hormiguero y zorro pelón (*Didelphis marsupialis*) el ultimo punto se ubica en las cercanías de la alcantarilla modificada número 13, donde se obtuvo registros de *Philander opossum*. El registro de estas especies ha sido de gran importancia, ya que se registran en bosque y en atropellos, sin embargo, no se registran utilizando ningún tipo de paso.

Conclusiones

Las alcantarillas y pasos de fauna aéreos evaluados en la Ruta 4, sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper, son efectivos para el cruce de cinco especies de mamíferos terrestres y seis especies arborícolas. Sin embargo, se determinó que variables como la forma, apertura, curvatura, topografía y vegetación influyen en la efectividad y el número de registros obtenidos por especie.

A pesar de que las estructuras de paso son efectivas para algunas especies, los registros de atropellos en la vía son persistentes, especialmente en los grupos faunísticos de anfibios, reptiles y aves, para los cuales no existen medidas para disminuir el impacto en la Ruta de estudio, de igual forma en el grupo de mamíferos, para los cuales se deben implementar mejoras en las estructuras existentes.

En la Ruta 4, existen especies como el zorro cuatro ojos (*Philander opossum*), el zorro pelón (*Didelphis marsupialis*) y el oso hormiguero (*Tamandua mexicana*) de hábitos terrestres y

arborícolas, siendo las especies que mantienen puntos de mayor atropello en la zona, se encuentran en bosque y no hacen uso de las estructuras de paso.

Es de gran importancia realizar monitoreos antes del desarrollo de proyectos, de manera que se conozca sobre la fauna existente y se implementen medidas acordes a la fauna detectada, así como valorar los hábitos, comportamiento y requerimientos de las diferentes especies.

La implementación de medidas en las carreteras, contribuyen a disminuir la cantidad de atropellos, sin embargo, es necesario reforzar con otro tipo de medidas como el cercado y mallas para guiar a la fauna hacia las estructuras de paso y evitar el ingreso de la fauna a las vías, así como señalización ligada a reducción de velocidad.

Los monitoreos con cámaras trampa y de atropellos, así como la caracterización de las estructuras, son complementos de gran importancia para la evaluación de efectividad de estructuras de paso. Sin embargo, la toma de datos en este tipo de estudios debe realizarse de forma sistematizada y pensando en la estadística, de manera que se permita realizar comparaciones reales entre las distintas variables evaluadas.

Este estudio se considera línea base en el establecimiento de metodología para el monitoreo y evaluación de efectividad de estructuras para el paso de fauna silvestre, sin embargo, esta debe ser mejorada en gran medida en la toma de datos en campo.

Recomendaciones

El monitoreo con cámaras trampa debe realizarse en los diferentes estratos del bosque, tanto en el dosel como el sotobosque, con el fin de conocer las especies presentes.

El monitoreo de cámaras trampa se debe realizar en la totalidad de las estructuras existentes en la Ruta, así como colocar cámaras en el bosque inmediato a las estructuras.

El monitoreo de cámaras trampa debe realizarse en el mismo periodo que el monitoreo de atropello, además de realizar la caracterización de estructuras, tomando en consideración las variables evaluadas más el ruido, temperatura, humedad y sedimentos.

El monitoreo de atropellos y cámaras trampa debe realizarse con mayor tiempo de muestreo, tomando en cuenta la época seca y lluviosa, así como la estabilidad en la curva de acumulación de especies.

Considerar desde el punto de vista de ingeniería civil, el diseño de las estructuras, materiales de construcción, de manera que permita evaluar si esto influye en el uso por parte de la fauna.

Aplicar medidas de acuerdo con los resultados obtenidos en atropellos por grupo faunístico, así como definir medidas aplicables a especies que tienen hábitos terrestres y arborícolas.

Se considera que es necesaria la implementación de guías o protocolos, para que instituciones como la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) o consultoras encargadas de la construcción de las vías de transporte, puedan implementar y obtener información con criterio técnico al momento de definir y construir los pasos de fauna, así como su posterior monitoreo.

Agradecimientos

A mi familia por el apoyo incondicional, por su complicidad en cada etapa de mi vida; a Yei, por su amor y compañía durante estos años. A mi tutora Esmeralda Arévalo por confiar en mí, brindarme su ayuda e impulsarme a ser mejor cada día. Mi sincero agradecimiento a Panthera Costa Rica por la valiosa oportunidad y hacerme parte de este maravilloso proyecto, por la experiencia y conocimiento adquirido, a cada uno de los asistentes Jorge Rojas, Erick Víquez y María José Arias. A todas aquellas personas e instituciones que dieron su valioso aporte para la ejecución de este proyecto y durante las giras de campo, a ProGAS del MOPT, VAVS, Selva Verde Logde, Cuerpo de Bomberos de Pital de San Carlos. A Rolando Montenegro Muro, Ingeniero Forestal Mg. Sc. en Estadística Aplicada por la asesoría brindada. A profesores, compañeros y amigos, en especial a Ale Robledo por los buenos momentos compartidos, por el apoyo emocional y su hospitalidad desde el inicio.

Referencias

Araya-Gamboa, D; Arévalo-Huezo, E y Pomareda-García, E. (2015). *Informe técnico-científico: Medidas ambientales para disminuir el impacto en la fauna silvestre, de la ampliación en la carretera nacional, Ruta 32, Limón Costa Rica*. Grupo Vías Amigables con la Vida Silvestre. Costa Rica. 54pp.

Araya-Gamboa, D & Salom-Pérez, R. (2015). *Identificación de sitios de cruce de fauna en la Ruta 415, en el "Paso del Jaguar", Costa Rica*. Revista Infraestructura Vial. Lanamme UCR. 17(30): 05-12

- Araya-Jiménez, Y. (2015). *Evaluación del uso de alcantarillas como alternativa para pasos de fauna silvestre en el sector entre el cruce de Río Frío y Moín de la Ruta 32, Limón, Costa Rica*. Universidad Latina de Costa Rica, San José, Costa Rica. Sin publicar.
- Arévalo- Huevo, E. 2015. *Evaluación de la mortalidad de fauna silvestre en la Carretera Interamericana Norte, Sección Cañas-Liberia, Guanacaste, Costa Rica*. (Tesis de Maestría). ICOMVIS, UNA, Heredia
- Arroyave, M. P., Gómez, C., Gutiérrez, M. E., Múnera, D. P., Zapata, P. A., Vergara, I. C., Andrade, L. M. & Ramos, K. C. (2006). *Impactos de las Carreteras sobre la Fauna Silvestre y sus principales medidas de manejo*. Escuela de ingeniería de Antioquia. 5: 45-57
- Artavia Rodríguez, A. (2015). *Identificación y caracterización de cruces de fauna silvestre en la sección de la ampliación de la carretera nacional Ruta 32, Limón, Costa Rica*. CATIE.
- Carvajal Alfaro, V & Díaz Quesada, F. (2016). *Registro de mamíferos silvestres atropellados y hábitat asociados en el cantón de la Fortuna, San Carlos, Costa Rica*. Biocenosis. Vol 30:1-2
- Clevenger A. P. y Huijser M. P. (2011). *WILDLIFE CROSSING STRUCTURE HANDBOOK Design and Evaluation in North America*. U. S. Department of Transportation. Central Federal Lands Highway Division. Publication No. FHWA-CFL/TD-11-003.
- Collinson, W. & Patterson-Abrolat, C. 2016. *The Road Ahead: Guidelines to mitigation methods to address wildlife road conflict in South Africa*. The Endangered Wildlife Trust, Johannesburg, South Africa.
- Delgado, J. D., Arévalo, J. R & Fernández-Palacios, J. M. (2004). *Consecuencias de la fragmentación viaria: efectos de borde de las carreteras en la Laurisilva y el Pinar de Tenerife*. Ecología insular / Island Ecology. Asociación española de ecología terrestre (AEET)-Cabildo Insular de la Palma. pp. 181-225
- Donaldson, B. M. (2005). *The use of highway underpasses by large mammals in virginia and factors influencing their effectiveness*. Virginia Transportation Research Council.
- Ecotec. (2010). *Estudio de Impacto Ambiental Ruta N°4. Tramo Carretera Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper*.

- Forman, R. T. T & Alexander, L. E. (1998). *Roads and their major ecological effects*. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29: 207-231.
- Garrigues, R. & Dean, R. (2017). *Aves de Costa Rica – Guía de Campo*. Segunda Edición. Zona Tropical. 429 pp.
- Gurrutxaga, S. & Lozano, P.J. (2009). *Permeabilidad de dos tramos de carreteras de gran capacidad al paso de grandes y medianos mamíferos en el oeste de Álava*. *Munibe*, 57, 237-256.
- Instituto Meteorológico Nacional – IMN. (2019). *Clima de Costa Rica y Variabilidad Climática*. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/clima-en-costa-rica>
- Iuell, B., Bekker, G. J., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlavác, V., Keller, V., Rosell, C., Sangwine, T., Torslov, N & Wandall, B. le Maire. (Eds.) (2005). *Fauna y Tráfico: Manual europeo para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones*. 166 pp.
- Jackson, S.D. & C.R. Griffin. (2000). *A Strategy for Mitigating Highway Impacts on Wildlife*. Pp. 143- 159 In Messmer, T.A. and B. West, (eds) *Wildlife and Highways: Seeking Solutions to an Ecological and Socio-economic Dilemma*. The Wildlife Society.
- Lavalle-Valdivia, M. (2019). *Efectividad de pasos arbóreos en la carretera interamericana norte, sector Cañas – Liberia*. *Costa Rica*. Universidad Latina de Costa Rica. San José. Sin publicar.
- Mata Estancio, C. (2007). *Utilización por vertebrados terrestres de los pasos de fauna y otras estructuras transversales de dos autovías del Centro-Noroeste peninsular*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2006). *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte*. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Madrid. 108pp.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2008). *Prescripciones técnicas para el seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas correctoras del efecto barrera de las infraestructuras de transporte*. Documentos para la reducción de la fragmentación de

habitas causada por infraestructuras de transporte, numero 2. O. A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 138 pp. Madrid

Mendoza-Sánchez, J. F. & Marcos-Palomares, O. A. (2016). *Observatorio de movilidad y mortalidad de fauna en carreteras en México*. Publicación técnica No. 454.

MOPT (2018). *Reporte de transito promedio diario*. Recuperado de <https://sig.mopt.go.cr:8084/transito/tpd.php>

Monroy-Vilchis, O., Zarco-Gonzalez, M. M., Rodriguez-Soto, C., Soria-Diaz, L. y Urios, V. (2011). *Fototrampeo de mamíferos en la Sierra Nanchititla, México: abundancia relativa y patrón de actividad*. Rev. Biol. Trop. 59 (1): 373-383

Panthera (2017). *Caminos Amigables con los Felinos*. Panthera Costa Rica. Recuperado de <http://pantheracostarica.org/nuestros-proyectos/caminos-amigables-con-los-felinos/>

Panthera (2019) *Monitoreo del jaguar, otros felinos silvestres y sus especies presa en el cantón central de Limón, Costa Rica. Informe final para CCT-APM Terminals*. Costa Rica. 58pp

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

Puc Sánchez, J. I., Delgado Trejo, C., Mendoza Ramírez, E. & Sauzo Ortuño, I. (2013). *Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre en Mexico*. CONABIO. Biodiversitas, 111:12-16.

Quintero, J. D. (2015). *Guías de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables*. The Nature Conservancy. Latin America Conservation Council.

Real Academia Española. *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.2 en línea]. <https://dle.rae.es>

Robledo-Bonilla, A. (2016). *Evaluación del uso de pasos de fauna silvestres y alcantarillas en la carretera interamericana norte, sección Cañas-Liberia, Guanacaste, Costa Rica*. Universidad Latina de Costa Rica. San José. Sin publicar.

- Rojas-Jiménez, K. 2016. *Contratación de Servicios de Ingeniería para la ubicación y diseño de propuesta para pasos de fauna en el tramo de carretera Limonal – Cañas, en la Ruta Nacional N°1*. 134 pp.
- Ruediger, B & DiGiorgio, M. (2007). *Safe passage A user's guide to developing effective highway crossings for carnivores and other wildlife*. Southern Rockies Ecosystem Project. 20p.
- Savage, J. (2002). *The amphibians and reptiles of Costa Rica: a herpetofauna between two continents, between two seas*. Chicago, Estados Unidos, University of Chicago. Pp. 934
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación- SINAC (2018). *Áreas Silvestres Protegidas*. Recuperado de: <http://www.sinac.go.cr/ES/asp/Paginas/default.aspx>
- Torres Tamayo, M. L. (2011). *Funcionalidad de las estructuras subterráneas como pasos de fauna en la Carretera Interamericana Norte que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica*. CATIE, Turrialba, Cartago.
- Unidad de Gestión Ambiental y Social – MOPT. (2012). *Propuesta ubicación de pasos de fauna inferiores y superiores para minimizar la mortalidad y choque a la fauna silvestre Sección Cañas-Liberia Ruta Nacional No. 1 (Carretera Interamericana Norte)*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, CONAVI. 22p
- Van der Ree, R., Jaeger, J. A. G., van der Grift, E., & Clevenger, A. (2011). *Effects of Roads and Traffic on Wildlife Populations and Landscape Function: Road Ecology is Moving toward Larger Scales*. *Ecology and Society* 16 (1): 48.
- Vargas-Salinas, F., Delgado-Ospina, I & López-Aranda, F. (2011). *Mortalidad por atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia*. *Caldasia*. 33(1): 121-138.
- Venegas-Vargas, M. (2018). *Funcionalidad de estructuras subterráneas como pasos de fauna silvestre en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Hacienda Barú, Puntarenas, Costa Rica*. Proyecto de graduación. UNA, Heredia.
- Wainwright, M. (2007). *Mammals of Costa Rica*. Zona Tropical Publication. 454 pp.

Anexo 1. Hoja de datos para monitoreo de recorridos, Ruta 4 Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper



Proyecto Caminos Amigables con Animales

Hoja de datos – Ruta 4 VK - CH



# recorrido	Fecha	Hora	Código	Coordenadas		Evento	Especie	Hábitat	Imagen	Observaciones

EVENTO: Atropello (RK) –Avistamiento (A) –Huella (H) – Señal (S)

Anexo 2. Fotografías de las alcantarillas monitoreadas en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. **A.** Alcantarilla modificada 1. **B.** Alcantarilla 2. **C.** Alcantarilla 3 **D.** Alcantarilla modificada 7. **E.** Alcantarilla 8. **F.** Alcantarilla 10. **G.** Alcantarilla 11. **H.** Alcantarilla 12. **I.** Alcantarilla modificada 13. **J.** Alcantarilla modificada 14.



Anexo 3. *Fotografías de los pasos aéreos monitoreadas en Ruta 4, Sección Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper. A. Paso aéreo 17. B. Paso aéreo 18. C. Paso aéreo 19. D. Paso aéreo 20. E. Paso aéreo 21. F. Paso aéreo 22.*

