

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**Verificación de la efectividad de los pasos de fauna para la sostenibilidad de  
carreteras: Casos Ruta Nacional N°1, Sección Cañas – Liberia y Ruta Nacional N°4,  
Sección Vuelta de Kooper – Bajos de Chilamate**

**Trabajo de Graduación**

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

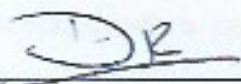
**Catalina de Jesús Acosta Cordero**

Directora de Proyecto de Graduación:

**Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

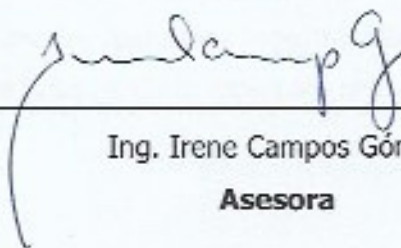
Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Comité Asesor como requisito parcial para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Civil.



---

Ing. Diana Jiménez Romero, MSc, MBA

**Directora del Comité Asesor**



---

Ing. Irene Campos Gómez

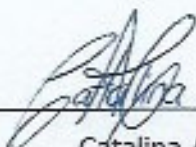
**Asesora**



---

Ing. Jesús Zamora Hidalgo

**Asesor**



---

Catalina Acosta Cordero

**Sustentante**

Derechos de propiedad intelectual

**Fecha:** 2021, marzo, \_\_

El suscrito, **Catalina de Jesús Acosta Cordero**, cédula 1-1616-0041, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B40037**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Verificación de la efectividad de los pasos de fauna para la sostenibilidad de carreteras: Casos Ruta Nacional N°1, Sección Cañas – Liberia y Ruta Nacional N°4, Sección Vuelta de Kooper – Bajos de Chilate** bajo la Dirección de la **Ingeniera, Diana Jiménez Romero, MSc, MBA**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación. Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); “no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales”. Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## Dedicatoria

A mis papás, que me han apoyado incondicionalmente desde lejos en todos mis proyectos y etapas de la vida. Especialmente a mi mamá que ha sacrificado tanto para que yo tenga todas las oportunidades de educación.

## Agradecimientos

A los profesores del comité asesor por brindarme su ayuda y paciencia para finalizar este proyecto de graduación.

A mis amigos que me han apoyado e impulsado durante toda la carrera a seguir adelante y terminar este trabajo final. Especialmente a los que me acompañaron a las visitas en campo y me han aconsejado todo el camino.

A la organización, Panthera Costa Rica, en especial Daniela Araya y Yosette Araya, que me dieron acceso a sus investigaciones y me incluyeron en sus giras.

# Índice de Contenido

<b>Capítulo 1 Introducción.....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Justificación.....</b>	<b>13</b>
1.1.1 Problema específico.....	13
1.1.2 Importancia .....	14
<b>1.2 Antecedentes teóricos y prácticos del problema.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>16</b>
1.3.1 Objetivo General .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>1.4 Delimitación del problema .....</b>	<b>17</b>
1.4.1 Alcance.....	17
1.4.2 Limitaciones.....	18
<b>1.5 Metodología.....</b>	<b>18</b>
1.5.1 Fase Teórica .....	19
1.5.2 Fase Práctica.....	20
1.5.3 Fase de Análisis de Resultados .....	21
<b>Capítulo 2 Marco Normativo.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Normativa Nacional.....</b>	<b>22</b>
2.1.1 Legislación concerniente a la ejecución de las obras: .....	22
2.1.2 Legislación concerniente a la Biodiversidad y Vida Silvestre .....	29
<b>2.2 Normativa Internacional .....</b>	<b>30</b>
2.2.1 Legislación Estadounidense .....	30
2.2.2 Legislación Europea.....	32
<b>Capítulo 3 Marco Teórico.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Conceptos y definiciones.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Impactos ambientales en infraestructura vial .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 Criterios de diseño y construcción de pasos de fauna .....</b>	<b>39</b>
3.3.1 Paso aéreo.....	39
3.3.2 Ecoducto .....	42
3.3.3 Pasos superiores .....	45
3.3.4 Paso inferior o subterráneo .....	47

3.3.5 Paso multifuncional (mixto).....	52
<b>3.4 Elección del diseño y ubicación de los pasos de fauna.....</b>	<b>56</b>
<b>3.5 Medidas complementarias para potencializar la efectividad de los pasos de fauna</b> .....	<b>57</b>
3.5.1 Mallas / Vallados perimetrales .....	57
3.5.2 Señalización.....	60
<b><i>Capítulo 4 Proceso de evaluación de los pasos de fauna en estudio.....</i></b>	<b>62</b>
<b>4.1 Ruta Nacional N°1: Sección Cañas – Liberia .....</b>	<b>62</b>
4.1.1 Características del proyecto.....	62
4.1.2 Uso de suelo aledaño al proyecto .....	63
4.1.3 Estudios ambientales para fauna .....	65
<b>4.2 Ruta Nacional N°4: Sección Vuelta de Kooper – Bajos de Chilamate .....</b>	<b>65</b>
4.2.1 Características del proyecto.....	66
4.2.2 Uso de suelo aledaño al proyecto .....	66
4.2.3 Estudios ambientales para fauna .....	69
<b>4.3 Evaluación de los pasos de fauna.....</b>	<b>70</b>
<b>4.4 Caracterización de las estructuras y la efectividad de uso .....</b>	<b>75</b>
4.4.1 Paso subterráneo mixto (drenaje adaptado con pasarela).....	75
4.4.2 Paso subterráneo exclusivo .....	76
4.4.3 Paso aéreo.....	77
<b>4.5 Evaluación de la durabilidad de las estructuras.....</b>	<b>77</b>
<b>4.6 Evaluación del nivel sonoro en las estructuras .....</b>	<b>83</b>
<b>4.7 Proceso constructivo de las estructuras .....</b>	<b>85</b>
<b>4.8 Estimación de costos .....</b>	<b>87</b>
<b><i>Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones.....</i></b>	<b>90</b>
<b>5.1 Conclusiones.....</b>	<b>90</b>
<b>5.2 Recomendaciones.....</b>	<b>92</b>
<b><i>Bibliografía .....</i></b>	<b>94</b>
<b><i>Anexos .....</i></b>	<b>99</b>

<b>Anexo A Fichas de levantamiento de campo en las Rutas Nacional N° 1 y N° 4.....</b>	<b>99</b>
<b>Anexo B. Fichas descriptivas y caracterización de las estructuras .....</b>	<b>106</b>
<b>Anexo C. Formulario de entrevista .....</b>	<b>119</b>

## Índice de Figuras

Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo .....	19
Figura 2. Impactos ecológicos sobre la fauna debido a la infraestructura vial.....	36
Figura 3. Esquema de la fragmentación de un hábitat por una carretera. ....	37
Figura 4. Esquema de efecto barrera en poblaciones. ....	37
Figura 5. Esquemas generales de tipos de pasos entre árboles dependiendo del ancho de la vía. .....	41
Figura 6. Plataforma instalada en el soporte de señalización para el paso de fauna y extendiéndose a cuerdas sujetas a árboles.....	42
Figura 7. Paso de puente de malla en la Ruta Nacional N° 4, Costa Rica. ....	42
Figura 8. Esquema general de un ecoducto (A). Ejemplo de un ecoducto en Singapore, Eco-Link BKE (B) .....	45
Figura 9. Paso superior en Park City, Utah USA .....	47
Figura 10. Esquema general para un paso inferior para mamíferos grandes. ....	50
Figura 11. Esquema general para un paso inferior para mamíferos pequeños. ....	52
Figura 12. Secciones transversales de estructuras de drenajes para el paso de fauna. ....	54
Figura 13. Drenaje adaptado con pasarelas secas de concreto en la Ruta N°4, Costa Rica.....	55
Figura 14. Drenaje adaptado con pasarelas secas de concreto para animales de pequeño tamaño en el sur de Portugal Nota: Tomado de: Joaquim Pedro Ferreira, n.d.....	55
Figura 15. Interior de un drenaje adaptado con una plataforma lateral seca y con presencia de una marta ( <i>martes martes</i> ).....	55
Figura 16. Esquema general de un cerramiento perimetral con un espaciamiento variado. ....	59
Figura 17. Esquema general de un cerramiento perimetral con una malla de refuerzo para impedir el paso de especies pequeñas. ....	59
Figura 18. Ejemplos de señalización de advertencia para el cruce de fauna. ....	60
Figura 19. Ubicación geográfica de la sección Cañas-Liberia de la Carretera Interamericana Norte. .....	63
Figura 20. Mapa de uso de suelo de la zona de estudio, Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas – Liberia.....	64
Figura 21. Ubicación de corredores biológicos en la zona de estudio, Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas - Liberia.....	65



Figura 22. Ubicación geográfica de la Ruta Nacional N° 4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper. ....	66
Figura 23. Mapa de uso de suelo de la zona de estudio, Ruta Nacional N° 4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper. ....	67
Figura 24. Fotografía aérea del uso de suelo alrededor de la Ruta Nacional N° 4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper. ....	68
Figura 25. Ubicación de corredores biológicos en la zona de estudio, Ruta Nacional N° 4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper. ....	68
Figura 26. Diseño paso inferior para Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas - Liberia. ....	70
Figura 27. Esquemas de alcantarillas cuadradas modificadas para el paso de fauna con pasarelas laterales. ....	71
Figura 28. Diseño paso aéreo para Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas - Liberia. ....	72
Figura 29. Diseño representativo de paso aéreo de la Ruta Nacional N° 4. ....	73
Figura 30. Ubicación y numeración de cada paso de fauna en Ruta Nacional N° 4 Bajos de Chilamate - Vuelta de Kooper.....	74
Figura 31. Ubicación y numeración de cada paso de fauna en Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas – Liberia.....	74
Figura 32. Paso A11 de la Ruta N° 4 con 8 triángulos rotos y paso A9 de la Ruta N° 1 con la malla rota .....	80
Figura 33. Paso A7 con presencia de conectividad en un extremo de la estructura .....	80
Figura 34. Condición interna lateral de las pasarelas.....	81
Figura 35. Condición interna del paso M4.....	82
Figura 36. Alcantarillas cortan las pasarelas de acceso en el paso M5 .....	82
Figura 37. Paso mixto S1, escombros en entrada de drenaje (izquierda) y modificación de pasarela (derecha). ....	107
Figura 38. Especie fotografiada utilizando la estructura S2. ....	108
Figura 39. Paso mixto S2, entrada descubierta por vegetación (izquierda) y otra entrada con pasto alto y vegetación (derecha) .....	109
Figura 40. Ejemplo de acceso vehicular pasando al frente del paso S9 y alcantarillas atravesando las pasarelas.....	110
Figura 41. Especie fotografiada utilizando la estructura S12. ....	111
Figura 42. Paso mixto S12 y su exterior .....	112

Figura 43. Comparación entre el paso S1 (A) y S4 (B). Ejemplo de distancia de zona boscosa de paso S4 (C). .....	113
Figura 44. Presencia de huellas y vegetación en la parte interior de los pasos .....	114
Figura 45. A6 con bosque a más de 20 m de distancia .....	115
Figura 46. Ejemplo de conectividad entre estructura y hábitat .....	116
Figura 47. A7 con bosque a más de 20 m de distancia y A6 100 m de paso peatonal .....	118
Figura 48. Paso A2 sobre una entrada de restaurante y local de rafting. ....	118

## **Índice de Cuadros**

Cuadro 1. Temas relevantes para la evaluación de un proyecto de infraestructura vial .....	25
Cuadro 2. Relación entre la intensidad del tráfico y el efecto barrera en los mamíferos .....	38
Cuadro 3. Estado de las estructuras de los pasos de fauna aéreos en las secciones de carretera Bajos de Chilate – Vuelta de Kooper (Ruta N° 4) y Cañas – Liberia (Ruta N° 1) .....	79
Cuadro 4. Nivel de sonido registrado adentro de los pasos de fauna en las secciones de carretera Bajos de Chilate – Vuelta de Kooper (Ruta N° 4) y Cañas – Liberia (Ruta N° 1) .....	84
Cuadro 5. Dimensiones de pasos de fauna recomendadas.....	87

Acosta Cordero, Catalina.

Verificación de la efectividad de los pasos de fauna para la sostenibilidad de carreteras: Casos Ruta Nacional N°1, Sección Cañas – Liberia y Ruta Nacional N°4, Sección Vuelta de Kooper – Bajos de Chilamate

Trabajo final de graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica

C. Acosta C., 2020

x, 87, (19)h; ils. col. – 26 refs.

## **Resumen**

La sostenibilidad se define como: garantizar las necesidades del presente sin comprometer las futuras generaciones ante un mundo con recursos naturales escasos y necesidades ilimitadas (Zarta, 2018, p.28). Debido al constante desarrollo de la infraestructura vial se ha comprometido los hábitats naturales, ecosistemas y la diversidad biológica del país. Las carreteras se convierten en barreras artificiales que afectan el equilibrio y el movimiento de la fauna mediante impactos asociados a la reducción del hábitat, atropellos de las especies, contaminación sónica, atmosférica, entre otros. Para reducir el impacto ambiental se ha construido y colocado estructuras en carreteras nacionales permitiendo el paso de fauna debajo o sobre la infraestructura vial.

Por medio de este Proyecto de Graduación se verificó la efectividad de estas estructuras para la sostenibilidad de carreteras. Para esto se analizaron las estructuras existentes en las rutas nacionales: Ruta Nacional N°1, Sección Cañas – Liberia y Ruta Nacional N°4, Sección Vuelta de Kooper – Bajos de Chilamate. Se evaluaron las características de cada estructura vistas en campo con guías técnicas internacionales y estudios previos para determinar la efectividad de los pasos de fauna.

Se concluye que los pasos de fauna sí pueden ser efectivos para la sostenibilidad de carreteras si son diseñados e implementadas correctamente. Es necesario hacer estudios previos antes de la construcción de la carretera para obtener un diseño apto para las condiciones requeridas. Además, se debe reforzar las estructuras con medidas complementarias como mallas perimetrales y señales viales para mejorar la efectividad de la estructura.

PASO DE FAUNA; SOSTENIBILIDAD; EFECTIVIDAD; IMPACTO VIAL.

Ing. Diana Jiménez Romero, Msc, MBA

Escuela de Ingeniería Civil



## **Capítulo 1 Introducción**

### **1.1 Justificación**

#### ***1.1.1 Problema específico***

El desarrollo de la infraestructura vial es fundamental para el continuo crecimiento del país. Las redes viales ayudan a la comunicación integral entre regiones, lo que facilita las necesidades básicas de la población. Conforme se va generando la necesidad de aumentar este desarrollo, va creciendo las construcciones y ampliaciones de las carreteras, invadiendo cada vez más territorio poco alterado y con valor para el tránsito de especies. Territorio que en ocasiones está compuesto por hábitats naturales y ecosistemas importantes, algunos más vulnerables al impacto vial.

Costa Rica es conocido mundialmente por la diversidad biológica, se estima que en el territorio nacional convive más de medio millón de especies, que representa el 4% de la diversidad que se cree existe en el mundo (Obando, 2002, p. 17). Dicho esto, es razonable pensar que los proyectos viales impactan a estas especies, pues se ven directamente afectadas por el crecimiento constante de la infraestructura. En este sentido, las carreteras perjudican directamente a la biodiversidad, se convierten en barreras artificiales que alteran el equilibrio y libre tránsito para las especies de fauna; además ocasionan impactos asociados al ruido y a los atropellos de las especies.

En la naturaleza existen corredores biológicos que se definen como rutas o conexiones naturales utilizadas por las especies para la reproducción, alimentación y traslado a nuevos territorios. Las redes viales atraviesan los corredores causando varias repercusiones negativas. El impacto más directo es causado por el atropello, lo que causa lesiones y en ocasiones, la mortalidad de los animales. Otra repercusión importante es la fragmentación del hábitat, esto ocurre cuando una carretera divide un hábitat creando fragmentos aislados lo que crea subpoblaciones pequeñas que tienen una mayor probabilidad de extinción (Pomareda G., et al., 2014). Otros impactos incluyen la transformación y reducción del hábitat, contaminación del aire y suelo, contaminación sónica, u otros.

Para prevenir estas consecuencias, a través de los años se han diseñado y construido pasos de fauna. Estas estructuras buscan mantener una conexión entre los hábitats mediante pasos arborícolas, inferiores o subterráneos y mixtos (drenajes adaptados para el paso de fauna). Sin

embargo, en el país no existe una legislación o norma técnica que regule estas estructuras en la construcción de carreteras.

Los pasos de faunas existentes en el país son producto de la iniciativa de los diseñadores/construtores de las carreteras y la asesoría de regentes ambientales, que han buscado el acompañamiento de estas medidas mediante gestiones ante las instituciones públicas u organizaciones como SETENA, SINAC, MOPT u otros. Los primeros pasos de fauna en construcción de carretera nacional fueron construidos en la Ruta Nacional N.º 36 Sección Quepos – Barú en el 2006 – 2010. Seguidamente se conoce de 8 proyectos adicionales con pasos de fauna terrestres y aéreos construidos en rutas nacionales. Anterior a estos proyectos, se habían colocado pasos en algunos puntos aislados, asociados al desarrollo de los proyectos del ICE.

En países de Europa y América del Norte, las estructuras de pasos de fauna son evaluadas para asegurar la efectividad de la construcción y ubicación de estas. El propósito de este trabajo es evaluar los pasos de fauna existentes en dos carreteras nacionales de Costa Rica y verificar la efectividad de estas medidas puestas para reducir y minimizar el impacto causado por las carreteras. Al mismo tiempo evaluar los sistemas constructivos utilizados y recomendar las mejores prácticas para asegurar la durabilidad y efectividad de los pasos que se construyen en el país.

### ***1.1.2 Importancia***

Como se mencionó anteriormente, Costa Rica es uno de los países con mayor densidad de fauna silvestre en el mundo, se han documentado alrededor de 850 especies de aves, 240 especies de mamíferos, 230 de reptiles y 190 de anfibios, más de 15 % de las poblaciones de estos se encuentran reducidas, amenazadas o en peligro de extinción (SINAC, 2018). La implementación de medidas para prevenir y mitigar los impactos provocados por la construcción y ampliación de las redes viales es necesaria para mantener el país en desarrollo y conservar la biodiversidad que tanto se reconoce y admira a nivel mundial. No obstante, la implementación de medidas constructivas no es suficiente si es inefectiva, por esta razón es necesario verificar que está cumpliendo con su función de no solo conectar los hábitats divididos por carreteras, sino ayudar a las carreteras a ser más amigables con el ambiente.

La efectividad de una estructura se compone de varios factores, estos incluyen: el diseño y tamaño de la estructura, características de su ubicación (temperatura, humedad, vegetación, entre otros), el proceso de construcción, los materiales, el cumplimiento de la función, y el costo de la obra (MAGRAMA, 2015). La implementación de las estructuras para los pasos de fauna genera un costo adicional para las constructoras, que contempla mano de obra, materiales y tiempo invertido adicional, que por lo general no se considera en el presupuesto obligatoriamente, si no es una mitigación exigida por SETENA. No obstante, los factores del proceso de construcción no son lo único que generan un costo, el rendimiento y durabilidad de la estructura del paso de fauna también se debe evaluar. Una estructura que no dure lo proyectado llega a ser más costosa, por arreglos o modificaciones o simplemente no se repone al término de su limitada vida útil, lo que interrumpe su fin asociado al desempeño ambiental de la vía. Los pasos de fauna se deben ver como una medida necesaria en las construcciones de carreteras de alto tránsito y una inversión para la sostenibilidad del ambiente.

La inclusión de pasos de fauna en carreteras en Costa Rica es una implementación reciente, ejecutada solo en algunos proyectos en la última década. Al momento no se ha hecho una evaluación ingenieril sobre estas estructuras. Esta investigación sirve como una retroalimentación a los responsables del diseño y construcción de este tipo de estructuras, futuros diseñadores, constructores o profesionales involucrados en la inclusión de pasos de fauna en las carreteras. Evaluaciones de este tipo pueden servir a futuro para establecer estándares mínimos a ser incluidos en las normas nacionales para la construcción de las carreteras.

## **1.2 Antecedentes teóricos y prácticos del problema**

En Costa Rica se han desarrollado proyectos e investigaciones relacionados al riesgo e impacto a la vida de la fauna silvestre debido a las carreteras nacionales. Estas investigaciones fueron realizadas por profesionales o estudiantes del ámbito de la Conservación y Manejo de Vida Silvestre, Biología y Conservación de la Biodiversidad, lo que ha generado investigación enfocada específicamente en ciertas especies y rutas nacionales. No se encontraron registros bibliográficos de análisis de pasos de fauna desde el punto de vista de la ingeniería civil, por lo cual se considera innovador en el país.

Los siguientes trabajos se tomarán como antecedentes y base para la investigación:

Robledo (2016) menciona en su investigación de la sección de la Ruta Nacional N° 1 Cañas – Liberia que al evaluar los pasos de fauna y alcantarillas en esta ruta se identificaron las especies que utilizan estas infraestructuras, los factores que afectan el uso y se determinó si existía alguna relación entre los pasos y los registros de atropello. Se concluyó que los pasos de fauna poseen rastros de animales pequeños y medianos por lo que se consideran efectivos para este tipo de fauna, la presencia de las estructuras disminuye el número de atropellos y existe una relación entre el tipo de topografía presente en los pasos de fauna y los atropellos.

En un estudio similar de la misma sección de la Ruta Nacional N° 1, se monitoreó el uso de los pasos de fauna arbóreas mediante cámaras trampa y se realizó un conteo de fauna arbóreas atropelladas. Lavalle (2019) llegó a la conclusión que los pasos no están siendo utilizados, debido a una mala instalación por la ubicación en la carretera y el estado actual de algunos pasos.

En un estudio acerca de la efectividad de estructuras para el paso de fauna silvestre en la Ruta Nacional No. 4 Bajos de Chilamate - Vuelta Kooper, Costa Rica. Se monitoreó el uso de los pasos de fauna arbóreas, mixtos y alcantarillas mediante cámaras trampa y se realizó recorridos para contabilizar la fauna atropellada a lo largo de la ruta. Los resultados indican que las estructuras son efectivas para el cruce de cinco especies de mamíferos terrestres y seis especies arborícolas y existen varios variables que influyen esta esta efectividad y la cantidad de registros por especie (Araya, 2019).

Existe una guía oficializada por el Consejo Nacional de Áreas de Conservación (CONAC), que tiene como fin ser un instrumento técnico para el desarrollo de la infraestructural vial y la conservación y recuperación de la vida silvestre. En esta guía se presentan lineamientos técnicos para vías amigables con la vida silvestre que se deben incorporar en todas las etapas de un proyecto vial especialmente en la planeación (Pomareda G., et al., 2014).

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Analizar la relación costo - efectividad de los pasos de faunas existentes en dos carreteras nacionales, Cañas – Liberia y Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper, con miras a determinar



pautas generales de diseño, para que este tipo de estructuras contribuya a contar con vías más sostenibles.

### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Identificar el estado del arte respecto a procedimientos y medidas a seguir para el diseño y construcción de pasos de fauna en las carreteras.
- Identificar y evaluar las características de las estructuras construidas: ubicación, tipo de paso, dimensiones, materiales, estado.
- Identificar el efecto mitigador del impacto ambiental sobre la fauna producto de la instalación de los pasos de fauna en los corredores analizados.
- Desarrollar un análisis económico financiero de las estructuras y comparar los pasos de fauna desde un punto de vista costo – efectividad.

## **1.4 Delimitación del problema**

### ***1.4.1 Alcance***

- La investigación se limitó a la evaluación de los pasos de fauna de dos carreteras nacionales, la sección Cañas - Liberia de la carretera Interamericana Norte (Ruta Nacional N° 1) y el tramo Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper (Ruta Nacional N° 4). Estos tramos de carreteras sirvieron como casos de estudio de estas medidas ambientales en el país. No se pretende generalizar las conclusiones de este estudio a todas las rutas nacionales del país, pero si se espera dar pautas para ir agregando la construcción de este tipo de medidas de mitigación.
- Los estudios se limitaron al área geográfica y el área de influencia directa de las carreteras, según se definió en sus Estudios de Impacto Ambiental. Para Cañas – Liberia se contempla la parte de los cantones, Cañas, Bagajés y Liberia y para Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper se contempla parte de los cantones de Sarapiquí y San Carlos.
- Se evaluaron los 12 pasos aéreos y 8 pasos subterráneos del tramo carretero Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper y los 7 pasos aéreos y 9 pasos subterráneos del tramo Cañas - Liberia

- Se trabajó con la información de planos y costos disponibles para cada paso en el MOPT y lo que las empresas involucradas tenían a disposición. Esto se complementó con levantamientos de campo en cada tramo.

#### ***1.4.2 Limitaciones***

- Se limitaron a los análisis de afectación a la fauna a los análisis biológicos que se hayan realizado para las EsIA de cada caso y en otros estudios complementarios ya mencionados en los antecedentes. No se valoraron aportes adicionales desde el punto de vista de análisis de vulnerabilidad de ecosistemas o de sensibilidad biológica de las áreas impactadas.
- Se trabajó con registros existentes de atropellos en las vías y de uso de los pasos de fauna a través de evidencia directa como fotografías o indirecta como huellas registradas de investigaciones biológicas realizadas en las carreteras.

#### **1.5 Metodología**

En la Figura 1 se muestra el esquema de metodología que se siguió en esta investigación. Se divide en tres fases: teórica, práctica y análisis de resultados.

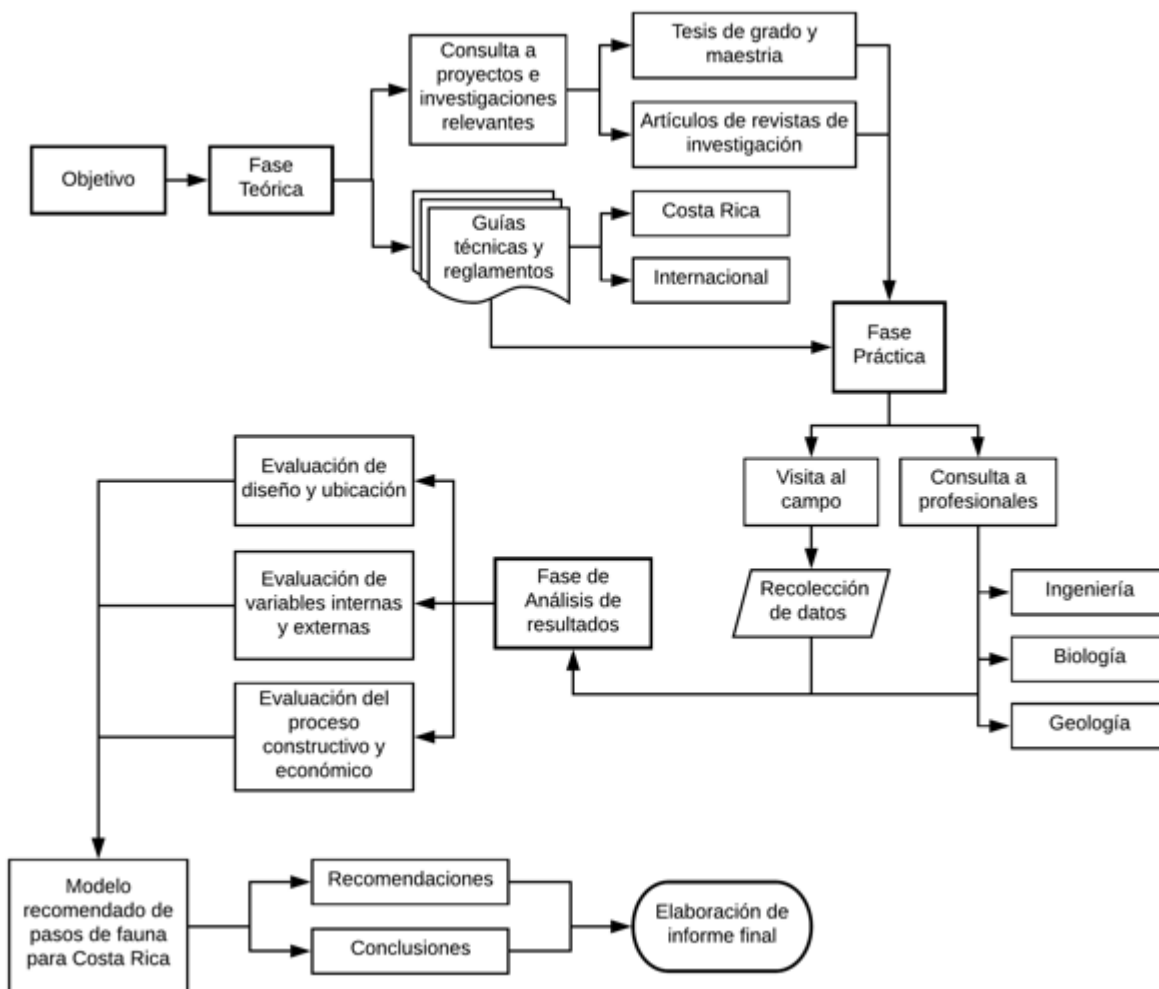


Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo

### 1.5.1 Fase Teórica

#### 1.5.1.1 Consulta de guías técnicas y regulaciones costarricense

La primera etapa se recolectó información sobre los reglamentos costarricenses que se deben considerar para minimizar el impacto del desarrollo de la infraestructura, tales como, el Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), Ley Conservación de Vida Silvestre No. 7317, reformas y modificaciones No. 8660 y No. 9106 u otros marcos jurídicos de SETENA y MINAE que regulan el desarrollo de cualquier actividad, obra o proyectos (Pomareda G., et al., 2014). Adicionalmente, se consultará guías o medidas ambientales desarrolladas para disminuir y prevenir el impacto de proyectos de infraestructura

vial tales como las *Medidas Ambientales para Vías Amigables con la Vida Silvestre* (CCCVS, 2015) y la *Guía Ambiental VAVS* (Pomareda G., et al., 2014).

#### 1.5.1.2 *Consulta de guías técnicas y regulaciones internacionales*

Seguidamente se recolectó información bibliográfica internacional. En otros países existen guías y prescripciones técnicas del desarrollo de infraestructura vial que incluyen las medidas que se deben tomar para reducir el impacto, tales como, *Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales* del gobierno de España (MAGRAMA, 2015) y *A guide to good practices for environmentally friendly roads* del Consejo de Conservación de América Latina (s.f.).

#### 1.5.1.3 *Montaje de información cartográfica*

Para evaluar correctamente los pasos de fauna se debe recurrir a información geográfica de las zonas de estudio e información de áreas protegidas registradas en fuentes primarias. Esto se montó en mapas para el trabajo de campo, para lo que se utilizó el programa ARCGIS y se procesaron en conjunto con datos de atropellamiento o problemáticas similares en las carreteras.

### **1.5.2 Fase Práctica**

#### 1.5.2.1 *Consulta a profesionales*

Adicionalmente se realizó entrevistas guiadas a profesionales que han estado implicados con el desarrollo de los pasos de fauna (ingenieros, geólogos, biólogos y otros profesionales) que puedan brindar más información de los proyectos en las carreteras de estudio. Para ello se construyó un instrumento de consulta tipo cuestionario abierto; el instrumento puede consultarse en el Anexo C.

#### 1.5.2.2 *Visitas al campo*

Esta etapa consiste en visitar los dos tramos carreteros y los pasos de fauna respectivos. Primeramente, se debe conseguir los registros de todas las ubicaciones de cada paso, para realizar las visitas correspondientes. Se realizaron mediciones y observaciones de las estructuras de estudio y sus alrededores. La información recolectada en campo se compone de variables que se puede relacionar a la efectividad del paso como las dimensiones y los componentes de la estructura, características físicas, factores de acondicionamiento, y presencia de medidas complementarias.

### ***1.5.3 Fase de Análisis de Resultados***

Los resultados de esta investigación son basados en el análisis de los componentes incorporados en la implementación de pasos de fauna. Con base en esto se determinó si las estructuras tienen una buena relación de costo – efectividad con respecto a la función de la conectividad de la fauna y el ambiente. Se estableció si las medidas técnicas y las construcciones elaboradas fueron adecuadas para cumplir con la meta de una vía amigable y funcional para la fauna y a la vez de un costo adecuado que se puede seguir implementando en futuro proyectos. Adicionalmente, como las carreteras fueron construidas en diferentes años, por lo que se hizo una comparación de posibles diferencias positivas o negativas entre las construcciones y las estructuras.

#### *1.5.3.1 Tipo de estructuras, dimensiones y ubicación*

En esta fase se realizó un análisis del tipo de estructura ubicada en las carreteras y las dimensiones que tienen. Como se mencionó previamente, la selección del tipo, el dimensionamiento y la ubicación contempla en la consideración de varios factores, a saber, con la información recolectada en la fase teórica y práctica se evaluará estos puntos para verificar que la selección fue adecuada o si existen otras opciones más beneficiosas que se podrían considerar.

Se analizaron variables externas a la estructura que afectan la función de la conectividad de los pasos y su incorporación como una vía amigable al ambiente. Se evaluó criterio como la vegetación, luminosidad, cobertura natural, interacción de los humanos, cerramiento, mantenimiento y rotulación. Componentes que afectan directamente la interacción de la fauna con las estructuras.

#### *1.5.3.2 Constructivo y económico*

Por medio de entrevistas de profesionales involucrados en las construcciones e información brindada de los constructores, se analizó el proceso constructivo y las medidas ejecutadas. Adicionalmente se hizo un análisis de los materiales utilizados en el diseño de las estructuras, las características e implicaciones que generan en el diseño. El mantenimiento que se debería hacer y el rendimiento que se espera. Finalmente, se hizo un análisis económico financiero del proceso constructivo hasta de los materiales de diseño.

## **Capítulo 2 Marco Normativo**

### **2.1 Normativa Nacional**

A continuación, se hace referencia a las leyes y decretos en Costa Rica relacionados a reducir el impacto del desarrollo de infraestructura vial sobre la vida silvestre.

#### ***2.1.1 Legislación concerniente a la ejecución de las obras:***

##### *2.1.1.1 Ley Orgánica del Ambiente*

La Ley Orgánica del Ambiente, Nº 7554 (1995) es un instrumento legal con el fin de velar por el resguardo del ambiente para conseguir un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

Los principios que inspiran la Ley Nº 7554 se presentan en el siguiente artículo:

Artículo 2: Principios

- a) El ambiente es patrimonio común de todos los habitantes de la Nación, con las excepciones que establezcan la Constitución Política, los convenios internacionales y las leyes. El Estado y los particulares deben participar en su conservación y utilización sostenibles, que son de utilidad pública e interés social.
- b) Todos tienen derecho a disfrutar de un ambiente sano y ecológicamente sostenible para desarrollarse, así como el deber de conservarlo, según el artículo 50 de nuestra Constitución Política.
- c) El Estado velará por la utilización racional de los elementos ambientales, con el fin de proteger y mejorar la calidad de vida de los habitantes del territorio nacional. Asimismo, está obligado a propiciar un desarrollo económico y ambientalmente sostenible, entendido como el desarrollo que satisface las necesidades humanas básicas, sin comprometer las opciones de las generaciones futuras. (p.1)

En varios puntos de este artículo se menciona la conservación y sostenibilidad del ambiente. Para lograr un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, se debe encontrar una nueva forma de desarrollar de manera que no se comprometa o se destruya la diversidad biológica, el medio ambiente y el resto de los recursos no renovables. Una forma de alcanzar eso es con medidas preventivas, mitigadoras o compensatorias. El desarrollo de infraestructuras viales debe incluir estas medidas para reducir el impacto que causa en el ambiente.

Mediante la Ley Orgánica del Ambiente se creó la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) como órgano de desconcentración máxima del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), cuyo propósito fundamental será entre otros armonizar el impacto ambiental con los procesos productivos, así como el de analizar las evaluaciones de impacto ambiental y resolverlas dentro de los plazos previstos por la Ley General de la Administración Pública, y cualesquiera otras funciones necesarias para cumplir con sus fines (Ley Orgánica del Ambiente, 1995). Las evaluaciones del impacto ambiental pueden servir para anticipar consecuencias negativas en el ambiente y prevenir con medidas como los pasos de fauna. En el capítulo IV Impacto Ambiental de la Ley Orgánica del Ambiente se establece que toda actividad humana que altere o destruya elementos del ambiente requiere una evaluación de impacto ambiental por parte de SETENA. La aprobación de este organismo de las resoluciones de la evaluación ambiental es requisito indispensable para iniciar las actividades, obras o proyectos. Esto aplica a los proyectos de infraestructura vial ya que requieren varias alteraciones a los elementos del ambiente, especialmente si son carreteras de alto tránsito como las de este estudio. La Secretaría Técnica Nacional Ambiental también se encarga de asegurar el cumplimiento de estas resoluciones mediante instrumentos y medios de seguimiento, el incumplimiento de las resoluciones puede resultar en la paralización de las obras. Adicionalmente, se establece un monto para la garantía de cumplimiento de las obligaciones ambientales que deberá rendir el interesado. La garantía de cumplimiento se mantendrá vigente durante la ejecución o la operación de la obra, la actividad o el proyecto y se revisará anualmente para ajustarla a los requerimientos de la protección ambiental (Ley Orgánica del Ambiente, 1995, p. 5). Con el fin de ser transparente cada actividad, obra o proyecto es asignado un expediente, el cuál es de acceso público.

Las funciones de la Secretaria Técnica Nacional Ambiental son críticas para disminuir el impacto ambiental de actividades, proyectos y obras como las carreteras nacionales en estudio. Seguidamente se resume las funciones más relevantes a la investigación:

- Analizar las evaluaciones de impacto ambiental y resolverlas dentro de los plazos previstos por la Ley General de la Administración Pública.
- Recomendar las acciones necesarias para minimizar el impacto sobre el medio, así como las técnicamente convenientes para recuperarlo.
- Realizar las inspecciones de campo correspondientes antes de emitir sus acuerdos.

- Elaborar guías para las actividades, obras y proyectos de evaluación de impacto ambiental, así como gestionar su disposición y divulgación.
- Realizar labores de monitoria y velar por la ejecución de las resoluciones.

Esta ley da la oportunidad de evaluar los impactos negativos que puede tener un proyecto como una carretera nacional y proponer soluciones como los pasos de fauna para que se incorporen obligatoriamente, sin embargo, no menciona específicamente estas estructuras, sino que queda al criterio de los evaluadores.

2.1.1.2 *Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (Manual de EIA), Decreto N° 32079 (2004)*

***Parte I: "Apartado 4 Política ambiental sobre la afectación de biotopos.", Decreto N° 32079-MINAE***

El objetivo de este apartado es establecer una serie de lineamientos ambientales generales para la prevención, control, mitigación y corrección de los potenciales daños que las acciones de una actividad, obra o proyecto pudiesen producir en los biotopos naturales localizados dentro del Área del Proyecto, o su Área de Influencia (Decreto N° 32079 de 2004)

Las siguientes secciones de este apartado son de interés y se relacionan a esta investigación:

4.1 Justificación

En el caso de que las actividades, obras o proyecto nuevos se ejecutan sobre espacios geográficos ocupados total o parcialmente por una cobertura vegetal significativa, la cual forma un hábitat particular para otro tipo de organismos, de forma tal que el desarrollo de la actividad, obra o proyecto sobre la misma generará impactos al ecosistema y sus tipos (biotopos) presenten en el AP y su AII. Se hace necesario establecer una serie de lineamientos ambientales generales que conduzcan a prevenir y disminuir el impacto ambiental a ese medio (Decreto N° 32079 de 2004, p. 9).

Los siguientes lineamientos describen el proceso y las acciones que se deben considerar durante la planificación, construcción y ejecución de un proyecto como la construcción de una carretera:

- 1.3.1 Toda actividad, obra o proyecto deberá contar, como parte de su planificación y planeamiento, con un conocimiento de las características básicas y extensión de los biotopos naturales presentes en su AP y AII. Se deberá considerar todas las



alternativas posibles a fin de seleccionar aquella que cumpla el objetivo del mínimo efecto ambiental, debiendo considerar como un lineamiento estratégico fundamental el fragmentar a los corredores biológicos naturales.

- 1.3.2 Se deberá identificar, conocer y respetar la legislación, normativas y regulaciones técnicas existentes en el país sobre el tema, y en caso de que no existiesen normativas específicas, el mismo establecerá criterios de desempeño basados en normativa regional o bien conducidos por el sentido común y el principio de respeto a los recursos naturales y la biodiversidad.
- 4.3.3 Se deberán respetar todas las áreas de protección establecidas por la ley y las regulaciones vigentes que se encuentren dentro del Área del Proyecto (AP) o su Área de Influencia Directa.
- 4.4.7 En la medida de lo posible la actividad, obra o proyecto, promoverá el desarrollo de barreras o áreas de amortiguamiento hacia los terrenos boscosos (biotopos) aledaños de forma tal que limite o regule el paso de organismos hacia el Área del Proyecto (AP) a fin de evitar su afectación por parte de las acciones de este.
- 4.4.10 Todo responsable de la actividad, obra o proyecto, debe:
  - Velar por el cumplimiento de su política ambiental específica
  - Anotar y registrar los pasos y acciones ejecutadas
  - Si es necesario, reportar a la autoridad ambiental. (p. 9-10)

***Parte IV: "Guía – Estudios de Impacto Ambiental y Pronósticos – Plan de Gestión Ambiental, valoración de los impactos ambientales y términos de referencia", Decreto N° 32966-MINAE***

En el Anexo 1 de este decreto se describe la "Guía general para la elaboración de instrumentos de Evaluación de Impacto Ambiental (Guía de EIA)". La cual es una orientación básica de referencia para la elaboración del instrumento de EIA que se desee confeccionar. Esto depende de las características del espacio geográfico y del proyecto, obra o actividad. Adicionalmente, conforme al mandato de la Ley N° 7554, el desarrollador, los consultores ambientales y quienes aprobaron el instrumento de EIA, son directa y solidariamente responsables por el daño ambiental que pueda ocurrir al desarrollar la actividad, obra o proyecto (Decreto N° 32966, 2004, p. 4).

De esta guía se extrae el contenido pertinente a la evaluación de impactos relacionados a la construcción de una carretera:

Cuadro 1. Temas relevantes para la evaluación de un proyecto de infraestructura vial

Nº 8.1.1	
Cobertura vegetal actual por asociación natural	Describir la cobertura actual en el AP y AID, asociar la información obtenida con respecto a la fauna presente
Especies indicadoras por ecosistema natural	En el AP y AID identificar especies de flora y fauna que tipifican o caracterizan los ecosistemas analizados
Especies endémicas, con poblaciones reducidas o en vías de extinción	Presentar una lista de la flora y fauna situada en el AP y AID que se encuentren protegidas por la legislación vigente, incluyendo el convenio internacional CITES
Fragilidad de ecosistemas	Calificar la fragilidad de ecosistemas analizados en el AP y AID, en función de su capacidad intrínseca de recuperación (por ejemplo: fragilidad alta, cuando cualquier alteración no permita recuperar su estado original; en fragilidad baja cuando cualquier alteración pueda revertirse de manera natural en un periodo menor a un año, justificando técnicamente la calificación otorgada).
Nº 8.1.3	
Ambiente acuático (aguas continentales) o Fauna acuática	Describir el ecosistema en términos de las especies existentes, tomando en cuenta las especies mayores como nutrias, cocodrilos, zorro de agua, dantas, tortugas, peces, etc.

Nota: Tomado de Decreto N° 32966, 2016

### 2.1.1.3 *Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Decreto N° 31849 (2004)*

El objetivo y alcance de este reglamento es definir los requisitos y procedimientos generales por los cuales se determinará la viabilidad (licencia) ambiental a las actividades, obras o proyectos nuevos, que, por ley o reglamento, se han determinado que pueden alterar o destruir elementos del ambiente; así como, las medidas de prevención, mitigación y compensación, que, dependiendo de su impacto en el ambiente, deben ser implementadas por el desarrollador (Artículo 1, p.3). Adicionalmente, el trámite de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) debe haberse completado y aprobado de previo al inicio de las actividades del proyecto, obra o actividad (Artículo 2, p.3).

Todas las actividades, obras o proyectos deben ser categorizadas mediante una evaluación técnica especializada según su impacto ambiental potencial (IAP). Existen tres categorías A, B y C y dos subcategorías B1 y B2, las cuales se describen seguidamente:

- Categoría A: Alto Impacto Ambiental Potencial.
- Categoría B: Moderado Impacto Ambiental Potencial.
  - Subcategoría B1: Moderado – Alto Impacto Ambiental Potencial.
  - Subcategoría B2: Moderado – Bajo Impacto Ambiental Potencial.
- Categoría C: Bajo Impacto Ambiental Potencial.

Según el Artículo 8 de este reglamento, el desarrollador deberá realizar una calificación ambiental inicial mediante un documento de evaluación ambiental, según corresponda a la actividad, obra o proyecto que va a desarrollar. Existen dos variantes del Documento de Evaluación Ambiental denominados D1 y D2, respectivamente (Decreto N° 31849 de 2004, p.13).

El Documento de Evaluación Ambiental D1, deberá ser utilizado por las actividades, obras o proyectos de categoría de alto y moderado IAP (A, B1 y B2), según lo establecido en este reglamento. Proyectos relacionados a carreteras nacionales de gran magnitud generalmente son categorizadas para ser evaluadas con el documento D1, como fue el caso de las carreteras en estudio.

El instructivo para llenar este documento se encuentre en el Decreto N° 32712-MINAE, 2005.

En la sección 2 Consumo/Afectación en la subsección 2.4 Biotopo inciso 2.4.1 Fauna se pide la describir si existen algunas especies sensibles que podrían ser afectadas dentro del AP. El desarrollador y consultor ambiental deberán indicar si se afecta o no la fauna y la flora y el nivel de afectación, para lo cual procederá a marcar la casilla correspondiente (Decreto 32712 de 2005).

En este instructivo también se incluye un protocolo para realizar un estudio biológico rápido y se pregunta las siguientes para el impacto que va a tener sobre la fauna:

¿Hay en el AP del proyecto, especies de flora o/y fauna bajo algún grado o categoría de protección? Explique.

Según su juicio profesional ¿Es necesario o conveniente realizar un estudio biológico con mayor profundidad en el AP y/o AID? Especificar y justificar su respuesta.

Si usted consideró (pregunta 12) que no es necesario realizar un estudio biológico con mayor profundidad describa de modo general las especies dominantes de flora y fauna (Decreto 32712, 2005, p. 13)

La identificación de vida silvestre vulnerable y áreas protegidas en el proyecto es uno de los lineamientos técnicos recomendados para una vía más amigable con la fauna en la Guía Ambiental VAVS (Pomerada et al., 2014). Con base en esta información se puede realizar un estudio biológico que identifique las especies y los sitios de mayor cruce en el área del proyecto. Al tenerlos resultado del estudio se puede generar las medidas ambientales necesarias como la implementación de pasos de fauna en estos puntos calientes y rutas naturales de los animales.

#### *2.1.1.4 Reglamento Sobre el Manejo, Normalización y Responsabilidad para la Inversión Público en la Red Vial Cantonal. Decreto N° 34624-MOPT (2008)*

En el Capítulo VIII Requisitos Técnicos para el Desarrollo y la Conservación de la Red Vial Cantonal se establece en el Artículo 42 los requisitos técnicos de los caminos ubicados en áreas de protección de los recursos naturales y en el inciso 3 se menciona estructuras como los pasos de fauna.

Los caminos ubicados en áreas de protección de los recursos naturales o que intersequen rutas de paso de fauna silvestre, deberán contar con estructuras adecuadas que faciliten el libre paso de esta de un lado al otro del camino, en los sitios en los que los estudios así lo determinen (p.17).

Esta es la única referencia de pasos de fauna y no se indica más información específica de estas estructuras, sino que debe cumplir la función de desplazar el animal de un lado a otro. Desde el lado positivo es un requisito, por lo que si un proyecto de este tipo se quiere ubicar en un área de protección debe cumplir con este reglamento.

#### *2.1.1.5 Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias, N° 8114 (2001)*

En el artículo 5, inciso b, se declara el porcentaje de los ingresos provenientes de la recaudación del impuesto único sobre los combustibles se destinará a favor del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), el cual es un veintinueve por ciento. La suma correspondiente al veintinueve por ciento (29%) se distribuirá un veinticinco por ciento (25%) exclusivamente a la conservación, el mantenimiento rutinario, el mantenimiento periódico, el mejoramiento y la rehabilitación; una vez

cumplidos estos objetivos, los sobrantes se usarán para construir obras viales nuevas de la red vial cantonal (caminos vecinales, no clasificados y calles urbanas). (p.4) Se menciona esta distribución ya que el mantenimiento de las estructuras de los pasos de fauna, las cuales son parte de la infraestructura vial, es esencial para un buen funcionamiento y debe ser incluido como uno de los apartados correspondientes.

### ***2.1.2 Legislación concerniente a la Biodiversidad y Vida Silvestre***

#### *2.1.2.1 Ley de Biodiversidad, N° 7788 (1988)*

El objeto de la presente ley es conservar la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos, así como distribuir en forma justa los beneficios y costos derivados (Ley N° 7788, p.1).

Seguidamente se resume el Artículo 11 de esta ley el cual describe los criterios para aplicar la ley:

1. Criterio preventivo: Es de vital importancia anticipar, prevenir y atacar las causas de la pérdida de la biodiversidad o sus amenazas.
2. Criterio precautorio o in dubio pro natura: Al existir peligro o amenaza de daños graves o inminentes a los elementos de la biodiversidad y al conocimiento asociado con estos, la ausencia de certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces de protección.
3. Criterio de interés público ambiental: El uso de los elementos de la biodiversidad deberá garantizar las opciones de desarrollo de las futuras generaciones, la seguridad alimentaria, la conservación de los ecosistemas, la protección de la salud humana y el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos.
4. Criterio de integración: La conservación y el uso sostenible de la biodiversidad deberán incorporarse a los planes, los programas, las actividades y estrategias sectoriales e intersectoriales, para los efectos de que se integren al proceso de desarrollo.

Estos criterios pueden ser incluidos en el desarrollo de la infraestructura vial, por lo que aplica la ley y se deben tomar las medidas recomendadas para prevenir o disminuir el impacto a la biodiversidad. Las estructuras de pasos de fauna son medidas que ayudan la conservación y la sostenibilidad de la biodiversidad.

### *2.1.2.2 Ley Conservación de Vida Silvestre N° 7317, reformas y modificaciones N° 8660 y N° 9106 (1998)*

Esta ley tiene como finalidad la conservación, protección y control sobre la vida silvestre de Costa Rica. La vida silvestre está conformada por la fauna continental e insular que vive en condiciones naturales, temporales o permanentes, en el territorio nacional y la flora que vive en condiciones naturales en el país (SINAC, 2008).

## **2.2 Normativa Internacional**

### ***2.2.1 Legislación Estadounidense***

#### *2.2.1.1 ISTEA: Intermodal Surface Transportation Efficiency Act (1991)*

El fin de esta ley es desarrollar un Sistema de Transporte Nacional Intermodal que es económicamente eficiente, ecológicamente correcto, que provee la fundación para la nación en competir globalmente para el transporte de bienes y personas de manera eficiente energéticamente (ISTEA, 1991). Un ejemplo de una meta específica relacionada a la sostenibilidad ambiental es que los fondos dirigidos para la construcción de carreteras estarán disponibles para actividades que mejoran el ambiente como medidas de mitigación del daño provocado a los hábitats de la vida silvestre.

#### *2.2.1.2 TEA-21: Transportation Efficiency Act of the 21st Century (1998)*

Se basa en las iniciativas establecidas en la Ley de ISTEA. Esta nueva Ley combina la continuación y la mejora de los programas actuales con nuevas iniciativas para enfrentar los desafíos de mejorar la seguridad a medida que el tránsito continúa aumentando a niveles récord, protegiendo y mejorando las comunidades y el entorno natural a medida que se brinda transporte y aporta en el crecimiento económico y la competitividad de los Estados Unidos a nivel nacional e internacional a través de un transporte eficiente y flexible.

En esta ley se tiene una sección llamada "Mejoras del Transporte" donde se establece que las actividades destinadas al mejoramiento del transporte serán financiadas por un porcentaje apartado de los recursos del Programa de Transporte específicamente para esta sección. Adentro de estas mejoras clasifica proyectos para reducir la mortalidad de animales causados por colisiones vehiculares.

### 2.2.1.3 SAFETEA-LU: *Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity Act: A Legacy for Users (2005)*

Abarca los numerosos desafíos que enfrenta el sistema de transporte hoy, tales como: mejorar la seguridad, reducir la congestión del tráfico, mejorar la eficiencia en el movimiento de carga, aumentar la conectividad intermodal y proteger el medio ambiente, así como sentar las bases para abordar los desafíos futuros. SAFETEA-LU promueve programas federales de transporte de superficie más eficientes y efectivos al enfocarse en temas de transporte de importancia nacional.

En las secciones 1119 Autopistas Federales y 1122 Definiciones se establece el proceso y los lineamientos para realizar un estudio de reducción de colisión vehicular con la vida silvestre, programas para reducir la colisión vehicular y mantener la conectividad de hábitats. Adicionalmente se registran todos los proyectos relacionados y los fondos utilizados para la elaboración de estos.

Inciso (n) de la sección 1119 Estudio de Reducción de Colisión Vehicular establece los siguientes lineamientos:

El objetivo es realizar un estudio para reducir las colisiones entre los vehículos y la vida silvestre que debe contener al menos:

- A. Área de estudio. El estudio debe incluir una evaluación de las causas e impactos de la colisión vehicular con la vida silvestre (CVVS) y las soluciones y buenas prácticas para reducir estas colisiones
- B. Métodos para realizar el estudio. La Secretaria de Transporte debe (i) realizar una revisión bibliográfica; y (ii) un estudio de las prácticas actuales del Departamento de Transporte.

La secretaria al realizar este estudio debe consultar con profesionales adecuados de esta área, para luego elaborar un reporte que debe:

- A. Presentar los resultados de este reporte al Congreso a más tardar 2 años después de la promulgación de esta ley.
- B. El reporte debe incluir una descripción de los siguiente: (i) Causas de CVVC. (ii) Impactos de CVVS. (iii) Soluciones de prevención para CVVS.

En base de los resultados de este estudio, la secretaria debe desarrollar un manual de buenas prácticas para apoyar el Estado en reducir las CVVS. Este manual debe estar disponible para los

estados a más tardar un año después de la fecha de transmisión del reporte descrito anteriormente. El manual debe incluir, como mínimo, lo siguiente:

- Un listado de buenas prácticas
- Un listado de información técnica y recursos financieros
- Recomendaciones
- Una guía para desarrollar un plan de acción estatal

Basado en el manual la Secretaría debe desarrollar un curso de capacitación para los profesionales del ámbito de transporte.

Inciso (K) de la sección 1122 establece que la reducción de mortalidad de la vida silvestre por colisión vehicular y la conservación de la conectividad de hábitat pertenece a las actividades relacionadas al transporte. Por lo tanto, es una actividad requerida para un proyecto de transporte y la zona circundante.

## ***2.2.2 Legislación Europea***

### *2.2.2.1 Red Natura 2000 (1992)*

Es una red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad con la finalidad de asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los tipos de hábitat en Europa, contribuyendo a detener la pérdida de biodiversidad. Es el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea (MITECO, 1992).

### *2.2.2.2 Ley de Conservación de la Naturaleza (1999)*

Esta ley tiene como objetivo el establecimiento de normas para la protección, conservación, restauración, gestión y mejora de los recursos naturales y los procesos ecológicos esenciales en Castilla-La Mancha, y en particular de los espacios naturales, las especies de fauna y flora silvestres, sus hábitats, los elementos geomorfológicos y el paisaje.



El estado como autoridad debe establecer las disposiciones, principios y normas rectoras para la gestión del ambiente, capaces de garantizar el desarrollo social dentro del marco de la sostenibilidad del planeta.

En el caso de las leyes y reglamentos de los Estados Unidos y Europa, son más estructuradas, insistentes y rigurosas cuando se trata de la conservación de la biodiversidad. Por ejemplo, en los EE. UU. existe un decreto que contempla los lineamientos para llevar a cabo un plan de reducción de colisiones vehiculares con la fauna. En el caso de España cuentan con un manual que especifica las prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y medidas complementarias elaborado por su gobierno.

En cambio, en Costa Rica las leyes no contemplan los lineamientos preventivos, más bien, proponen mitigar el impacto negativo del desarrollo social. Aunque exista la evaluación de impacto ambiental (EIA) para los proyectos, éstas deben ser complementadas con procedimientos estandarizados que ofrezcan soluciones ante situaciones particulares como el diseño de los pasos de fauna.

## Capítulo 3 Marco Teórico

En este capítulo primeramente se describe los conceptos y definiciones necesarios para entender el tema del estudio. Se profundiza sobre los impactos ambientales que tiene la infraestructura vial sobre el medio ambiente y sus habitantes. Seguidamente, se desarrolla los criterios de diseño, construcción y elección de los tipos de fauna según las necesidades de la fauna y las características de la infraestructura vial.

### 3.1 Conceptos y definiciones

- Pasos de fauna: estructuras transversales destinadas a mantener la conectividad entre ecosistemas fragmentados por la infraestructura, que permiten el paso de fauna silvestre, aumentando la permeabilidad de la infraestructura, facilitando la dispersión de las especies y favoreciendo la conectividad (MOPT, 2018). El objetivo principal de un diseño de una estructura de paso de fauna debe ser que permita el movimiento de la mayor diversidad de vida silvestre (Clevenger & Huijser, 2011). Existen diferentes tipos de diseño dependiendo del grupo meta de fauna, principalmente se dividen en tres categorías: superior, inferior y arborícola.
- Área Proyecto (AP): espacio geográfico en el que se circunscriben las edificaciones o acciones de la actividad, obra o proyecto, tales como las obras de construcción, instalaciones, caminos, sitios de almacenamiento y disposición de materiales y otros, se debe indicar el área neta y total (Decreto N° 31849, 2004).
- Área Ambientalmente Frágil (AAF): espacio geográfico que en función de sus condiciones de geopotencialidad, de capacidad de uso del suelo, de ecosistemas que lo conforman y su particularidad sociocultural; presenta una capacidad de carga restringida y con algunas limitantes técnicas que deberán ser consideradas para su uso en actividades humanas. También comprende áreas para las cuales, el Estado, en virtud de sus características ambientales ha emitido un marco jurídico especial de protección, reserva, resguardo o administración (Decreto N° 31849, 2004).
- Área Influencia Directa (AID): área que potencialmente recibirá los impactos biológicos, físicos y sociales ocasionados directamente por el proyecto (Cruz, 2019).
- Área Influencia Indirecta (AII): área que potencialmente recibirá los impactos biológicos físicos y sociales ocasionados indirectamente por el proyecto (Cruz, 2019).

- Biodiversidad: variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, ya sea que se encuentren en ecosistemas terrestres, aéreos, marinos, acuáticos o en otros complejos ecológicos. Comprende la diversidad dentro de cada especie, así como entre las especies y los ecosistemas de los que forma parte (Ley N° 7788, 1998).
- Derecho de vía: aquella área o superficie de terreno, propiedad del Estado, destinada al uso de una vía pública, con zonas adyacentes utilizadas para todas las instalaciones y obras complementarias. Esta área está delimitada a ambos lados por los linderos de las propiedades colindantes (LanammeUCR, 2010).
- Evaluación de Impacto Ambiental: procedimiento administrativo científico-técnico que permite identificar y predecir cuáles efectos ejercerá sobre el ambiente una acción o proyecto específico, cuantificándolos y ponderándolos para conducir a la toma de decisiones. Incluye los efectos específicos, su evaluación global, las alternativas de mayor beneficio ambiental, un programa de control y minimización de los efectos negativos, un programa de monitoreo, un programa de recuperación, así como la garantía de cumplimiento ambiental (Ley N° 7788, 1998).
- Fragmentación: es el proceso de división de un hábitat continuo en secciones de menor tamaño (Quintero, n.d.).
- Hábitat: el lugar o tipo de ambiente en el que existe o puede existir naturalmente un organismo o una población de una especie, ya sea terrestre o acuático, natural o seminatural, diferenciado por unas características geográficas, abióticas y bióticas determinadas (Ley N° 7788, 1998).
- Impacto Ambiental: efecto que una actividad, obra o proyecto, o alguna de sus acciones y componentes tiene sobre el ambiente o sus elementos constituyentes. Puede ser de tipo positivo o negativo, directo o indirecto, acumulativo o no, reversible o irreversible, extenso o limitado, entre otras características. Se diferencia del daño ambiental, en la medida y el momento en que el impacto ambiental es evaluado en un proceso ex - ante, de forma tal que puedan considerarse aspectos de prevención, mitigación y compensación para disminuir su alcance en el ambiente (Decreto N° 31849, 2004).
- Permeabilidad ecológica: capacidad que tiene un territorio o estructura de permitirle a cualquier especie mover su población a través del mismo para promover mayor conectividad (MAGRAMA, 2015).

### **3.2 Impactos ambientales en infraestructura vial**

La infraestructura vial puede afectar el medio ambiente y sus habitantes ya que requiere procesos y actividades como el movimiento de tierra, uso de maquinaria, uso de materiales contaminantes, tránsito de vehículos, entre otros. Debido a estos procesos se ha observado impactos negativos sobre las poblaciones de la vida silvestre y su hábitat. Un ejemplo de estas consecuencias se puede observar en la Figura 2 y se explican brevemente a continuación.

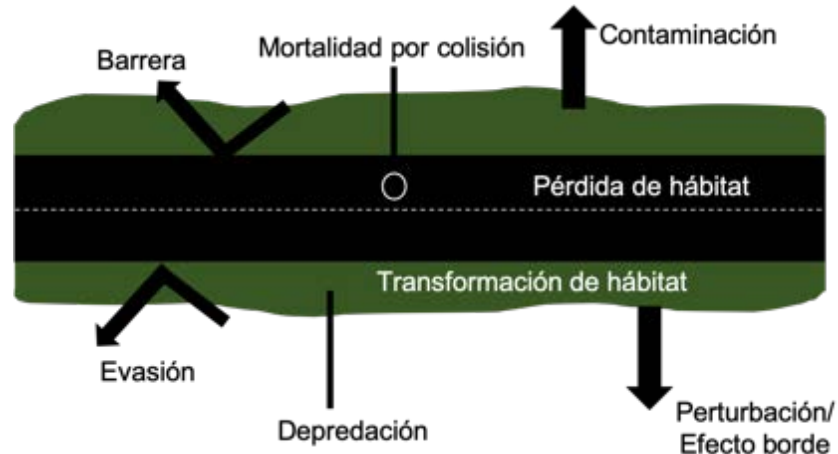


Figura 2. Impactos ecológicos sobre la fauna debido a la infraestructura vial  
Nota: Con base en Quintero, J.D

- Pérdida y transformación del hábitat

La construcción y expansión de infraestructura vial provoca una pérdida inmediata de el hábitat de la fauna silvestre a remover los elementos naturales y reemplazarlos con pavimento, concreto, caños, aceras y otros elementos de derecho de vía (Clevenger & Huijser, 2011). Adicionalmente, al desarrollar la infraestructura vial de la zona hábitats naturales restantes de la construcción pueden ser transformados en áreas para uso comercial como la agricultura, acuicultura entre otros. Esto debido a que las carreteras mejoran las oportunidades de explotación económica de los recursos en sus alrededores (Quintero, n.d.).

- Fragmentación del hábitat

La fragmentación de un hábitat ocurre cuando un hábitat grande es dividido en dos o más fragmentos, debido a la eliminación del hábitat originario (deforestación) para un cambio de uso de suelo o construcción de infraestructura como represas, canales, líneas de transmisión o carreteras (Pomerada G., et al., 2014). Las redes de transporte dividen los hábitats y crean barreras para las especies que se deben movilizar en esta área fragmentada.

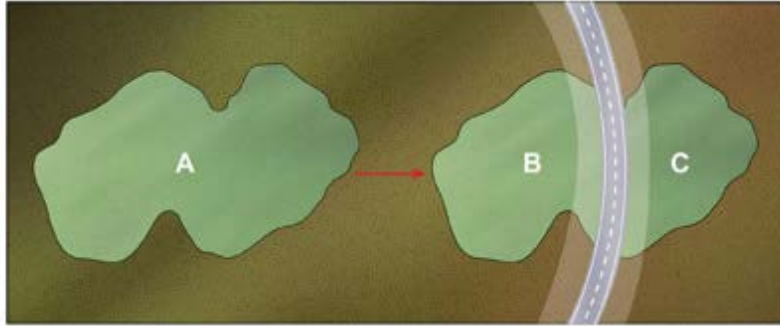


Figura 3. Esquema de la fragmentación de un hábitat por una carretera.  
Nota: Tomado de MAGRAMA, 2015

- Efecto Barrera

Las poblaciones silvestres requieren moverse por alimentación, reproducción, refugio, entre otros. Se forman barreras debido a los elementos viales de las carreteras, los cuales provocan un aislamiento del hábitat y dificulta la posibilidad de realizar las actividades requeridas por la fauna, causando un impacto ecológico negativo.

Existe el concepto de metapoblaciones en la fauna, mostrado en la Figura 4. Una metapoblación consiste en una red local de subpoblaciones que varían en tamaño y dinámica, pero están asociadas mediante una fluctuación entre ellas, presentado en el esquema A de la figura. La construcción de carreteras interrumpe esto y provoca una pérdida de las subpoblaciones al aislarlas del resto de la metapoblación y resulta en una distribución como en el esquema B de la figura. Si un recurso importante de la población es extraído de las poblaciones restantes, toda la metapoblación puede estar en riesgo de extinción (Clevenger & Huijser, 2011).

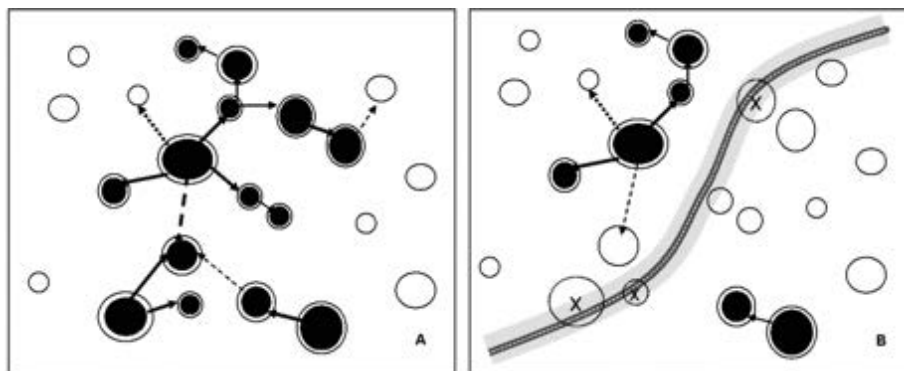


Figura 4. Esquema de efecto barrera en poblaciones.  
Nota: Tomado de Clevenger & Huijser, 2011.

Una forma que se puede evitar que el efecto barrera sea muy pronunciado es favoreciendo la permeabilidad dentro del territorio, mediante la creación de pasos de fauna. Adicionalmente se puede minimizar este efecto, al diseñar un trazado más adecuado que no interrumpa o interrumpa la menor cantidad de hábitats posibles (Álvarez, 2015).

En el manual europeo *Fauna y Tráfico* (Iuell, et al., 2005) se realizó una clasificación de la permeabilidad en relación con los vehículos transitados por día. Esta función se puede ver en el Cuadro 2, donde se puede observar que la permeabilidad de la vía para el paso de fauna se reduce conforme aumenta la cantidad de vehículos registrados por día.

Cuadro 2. Relación entre la intensidad del tráfico y el efecto barrera en los mamíferos

<b>Intensidad del tráfico</b>	<b>Permeabilidad</b>
<b>Carretera con tráfico inferior a 1.000 vehículos/día</b>	Permeable a la mayoría de las especies
<b>Carreteras con 1.000 a 4.000 vehículos/día</b>	Permeable a algunas especies, pero evitada por las especies más sensibles
<b>Carreteras con 4.000 a 10.000 vehículos/día</b>	Las barreras, el ruido y el movimiento de vehículos pueden ahuyentar a muchos animales. Otros tratan de cruzarla y son atropellados.
<b>Autopistas con nivel de tráfico superior a 10.000 vehículos/día</b>	Impermeable a la mayoría de las especies

Nota: Tomado de Iuell et al., 2005

Durante la construcción y funcionamiento de las carreteras se pueden generar impactos negativos que afecten la vida silvestre y degrade la calidad del hábitat. Un ejemplo de estos sería, la contaminación sónica causada por la maquinaria utilizada durante la construcción, de igual forma durante el funcionamiento creado por el tránsito de vehículos especialmente si la carretera es altamente transitada. Esta contaminación puede generar una alteración en el desplazamiento de las especies, sus patrones de actividades, de manera que no se acerquen a la zona o tengan alteraciones físicas como aceleración del ritmo cardiaco y estrés (Quintero, n.d.). Por otra parte, durante estas actividades se produce contaminación del aire y del suelo, provenientes de partículas químicas, sólidas o líquidas, y de otros materiales involucrado en la construcción y circulación de carreteras (Forman y Deblinger, 2000; Trombulak y Frissell, 2000).

La universidad de Cambridge Philosophical Society (2015) realizó una síntesis de estudios sobre el efecto del ruido antropogénico en la fauna para identificar el nivel de sonido que provoca efectos biológicos en los animales. Se identificó 69 estudios terrestres y fueron analizados en la síntesis. Se encontró documentación de efectos en los animales en ambientes terrestres con exposición al ruido con niveles de presión sonora tan bajos como 40 dB, y 14 estudios documentados respuestas por debajo de 50 dB. Adicionalmente se identificó mamíferos terrestres que exhibieron mayores niveles de estrés y una disminución en su eficiencia reproductiva a niveles de presión sonora entre 52 y 68 dBA. Ruido de tráfico superior a 60 dB impactó el comportamiento vocal de los anuros masculinos, una especie de rana, y el ruido de tráfico que excede 80 dBA redujo la eficiencia de los murciélagos espigados en buscar alimentación (Shannon, et. al, 2015).

- Mortalidad por atropello y colisiones con vehículos

La mortalidad por atropello afecta directamente a todas las especies de fauna: mamíferos, aves, reptiles y anfibios. Ocurre frecuentemente cuando la infraestructura vial corta la ruta de migración o los corredores biológicos de la fauna (Quintero, n.d.). La colisión vehicular con la vida silvestre genera la muerte de muchas especies y también genera un impacto negativo en la seguridad vial. Unos impactos negativos incluyen daño vehicular y daño físico a los mismos usuarios de los vehículos. Se ha realizado varias investigaciones científicas donde se determinaron las especies con alta mortalidad por atropello en Costa Rica, las cuales incluyen el oso hormiguero, zorro pelón, mapache, pizote, armadillo y perezosos (Pomerada et al., 2014).

### **3.3 Criterios de diseño y construcción de pasos de fauna**

El objetivo principal de las estructuras de paso de fauna es facilitar las conexiones entre los hábitats y la fauna existente. Debido a que existen diversos tipos de especies con características distintas hay diseños que puedan adaptarse a grupos específicos o más amplios según la necesidad. En este apartado se describe la función de los diferentes tipos de pasos, las dimensiones recomendadas, sus características y recomendaciones de diseño, acondicionamiento, construcción y mantenimiento según las recomendaciones dadas por manuales nacionales, internacionales estadounidenses y europeos.

#### **3.3.1 Paso aéreo**

Es un paso específico diseñado para mamíferos de hábitos arborícolas (ardillas, monos, osos perezosos). Este paso consiste en la instalación de puentes de malla, la suspensión de cables o una plataforma elevada, que permitan el paso de los animales entre los árboles o postes situados a ambos lados de la vía (MAGRAMA, 2015). Estas estructuras deben tener un apoyo o conexión a los árboles cercanos para facilitar el acceso a la fauna. El diseño y los materiales de la estructura se deben seleccionar según la ubicación y las especies meta.

#### Características y recomendaciones de diseño

- Uso exclusivo para la fauna
- Para vías locales o vías de ferrocarril se pueden utilizar cables o cuerdas en el diseño. Para vías de alta capacidad o mayor anchura se requieren estructuras más estables y resistentes. El diseño debe considerar la estabilidad para prevenir la caída de los animales, la cual terminaría en una mortalidad y un peligro vial para los usuarios de la carretera.
- Para regiones con riesgo de incendio se deben utilizar materiales metálicos o ignífugos para evitar la propagación de incendios.
- Las estructuras de soporte de señalización viaria se pueden modificar para el paso de fauna con la instalación de plataformas o rampas estilo canaletas que se conectan a los árboles mediante cuerdas. Las rampas canaletas se recomiendan específicamente para proteger los animales de las luces del tránsito mientras utilizan el paso.
- La cercanía de hábitat alrededor de este tipo de pasos es importante para que las especies se puedan movilizar y tengan acceso, esto para asegurar conectividad.

#### Dimensiones de diseño

En cuanto las dimensiones esto puede variar, sin embargo, como dimensiones mínimas MAGRAMA (2015) recomienda:

- Cables a partir de 4 cm de diámetro
- Plataformas de ancho mínimo: 30 cm
- Puentes de malla: los cables paralelos separados entre 20-30 cm, con una red entre ellos

#### Construcción y acondicionamiento

- Se puede utilizar diferentes tipos de materiales para la infraestructura como cables (acero, galvanizado, etc), cuerdas, mallas, postes o plataformas.



- No se requiere de un acondicionamiento especial, sin embargo, se debe mantener la continuidad entre la cobertura forestal y el paso.
- Para reducir el riesgo de depredación por aves rapaces sobre los animales que utilizan el paso se puede colocar una cuerda adicional en la parte superior de paso.

### Mantenimiento

- Se debe realizar una inspección y mantenimiento regularmente según el criterio de un profesional para evitar el deterioro y desgaste de los materiales utilizados y si es necesario reemplazar los elementos de la estructura. Se recomienda mínimo una vez al año o después situaciones climáticas extremas en la zona que pueden afectar la integridad de la estructura.

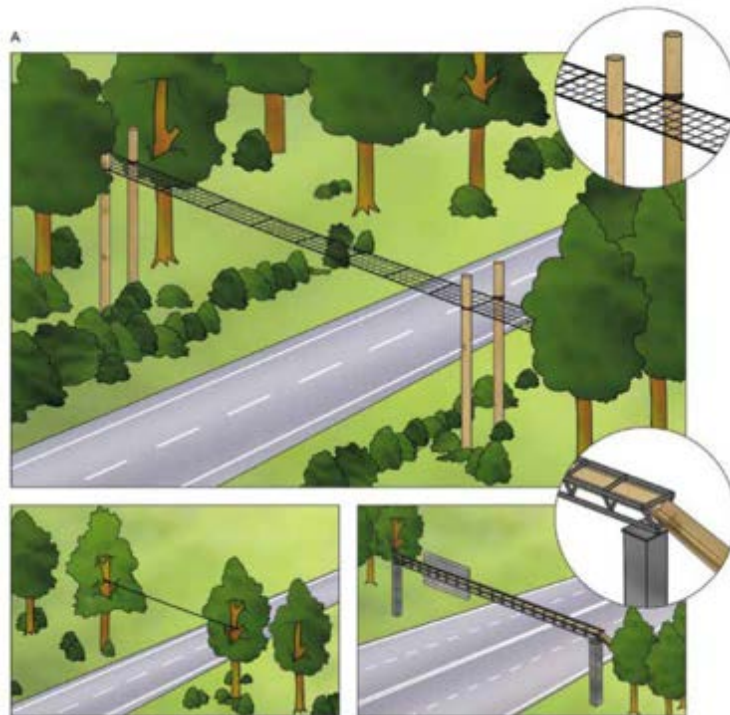


Figura 5. Esquemas generales de tipos de pasos entre árboles dependiendo del ancho de la vía.  
Nota: Tomado de MAGRAMA, 2015



Figura 6. Plataforma instalada en el soporte de señalización para el paso de fauna y extendiéndose a cuerdas sujetas a árboles.

Nota: Tomado de Clevenger & Huijser, 2011



Figura 7. Paso de puente de malla en la Ruta Nacional N° 4, Costa Rica.

Nota: Tomado de MOPT & Panthera, 2019

### **3.3.2 Ecoducto**

Los ecoductos son pasos superiores, cuyas grandes dimensiones y su cobertura vegetal con la flora del entorno permiten una reintegración eficiente al ambiente, puede ser utilizado por todo tipo de fauna, ya que puede acomodar grandes mamíferos y anfibios. Estas estructuras normalmente se construyen sobre vías de alta capacidad y son exclusivas para la fauna (Cano G., 2016).

#### Características y recomendaciones de diseño

- Los ecoductos deben ser ubicados en áreas de desplazamiento habitual de fauna como corredores ecológicos con mayor cobertura boscosa y mínima perturbación por actividad humana.
- Para garantizar el paso del mayor grupo de especies de fauna se debe realizar una adaptación y restauración a la nueva superficie con una heterogeneidad de hábitats y microhábitats similar a la de la zona adyacente. Se debe adaptar para incluir a especies en peligro, escasas de la zona o en regresión.
- Se debe mantener mayor continuidad de suelo y tierra vegetal procedente de la zona. Se recomienda evitar la importación de tierra diferente fuera del proyecto para garantizar mayor integración con el hábitat.
- Se debe prohibir acceso a todo público y actividades de uso humano.
- Reducir luz y ruido proveniente de los vehículos que circulan la vía mediante barreras, paredes, vegetación densa o una combinación. Estas barreras deben extenderse a la cercanía de la rampa y curvas hacia el cerramiento perimetral que guía la fauna hacia el ecoducto.

#### Dimensiones de diseño

Las siguientes dimensiones se recomiendan por Clevenger & Huijser (2011) y MAGRAMA (2015):

- Anchura mínima: depende de la fauna existente, pero se recomienda de 70-80 m
- Anchura recomendada: > 100 m (Clevenger & Huijser, 2011)(Clevenger & Huijser, 2011)(Clevenger & Huijser, 2011)
- Altura de malla o pared: 2,4 m
- Profundidad de tierra: 1,5 – 2,0 m
- Grosor mínimo de tierra vegetal para plantaciones de especies herbáceas: 0,3 m, de arbustos: 0,6 m, y árboles: 1,5 m

#### Construcción y acondicionamiento

- Como tipología constructiva se puede utilizar aspectos comunes en la construcción de puentes como falso túnel, bóvedas, entre otros.
- Tramo de puente: vigas de acero o concreto armado (Clevenger & Huijser, 2011)
- Arco de puente: arcos prefabricados de concreto armado o acero corrugado (Clevenger & Huijser, 2011)

- Drenaje superficial con ligera pendiente (2-3 %) desde el eje longitudinal central de la estructura hacia los márgenes como la aplicación de una capa de material aislante (MAGRAMA, 2015). (Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, 2015) La profundidad del terreno debe ser suficiente para el crecimiento de árboles u otra vegetación.
- Se debe instalar cerramiento perimetral en la parte externa del ecoducto que tenga conexión al cerramiento perimetral de la vía. Se recomienda utilizar materiales de construcción de alta durabilidad y que requiere menor mantenimiento como madera tratada o placas de hormigón tintado 5 m (MAGRAMA, 2015).
- Se recomienda en el diseño la colocación de arbustos, hileras de piedras o tocones de árboles a lo largo del paso para proveer refugio a las especies de menor tamaño. El centro del paso debe ser abierto, con vegetación herbácea.

#### Mantenimiento

- El mantenimiento del ecoducto en funcionamiento es relativamente bajo, las estructuras de cerramiento como las cercas o mallas colocadas deben ser revisadas el primer año después de su instalación, luego se recomienda cada tres meses y posteriormente al menos una vez cada 6 meses para asegurar estabilidad y buena condición (MAGRAMA, 2015).
- Puede ser necesario el riego periódico de la vegetación de la nueva superficie (especialmente si ocurren períodos extensivos sin lluvia) para favorecer el establecimiento de la vegetación, el periodo de irrigación depende del tipo de vegetación que se siembra. Se recomienda sembrar vegetación que eche raíces rápidamente y que requiere poco mantenimiento.
- El monitoreo de actividad humana cercana a esta zona se debe documentar y control si fuera necesario. Especialmente la actividad de fincas cercanas que puedan afectar el acceso o la presencia de la fauna como la instalación de vallados o el uso vehicular en zonas no permitidas.



Figura 8. Esquema general de un ecoducto (A). Ejemplo de un ecoducto en Singapore, Eco-Link BKE (B)  
 Nota: Tomado de MAGRAMA, 2015 (A). Chew Hui Min, 2015 (B).

### ***3.3.3 Pasos superiores***

Los pasos superiores tienen muchas similitudes a los ecoductos, estos pasos son construidos sobre la infraestructura vial como un puente específico para el uso de la fauna. Estas estructuras son diseñadas para el cruce de mamíferos grandes, pero pueden ser utilizados por todo tipo de especie de vida silvestre si los elementos de sus hábitats están presentes en el cruce. La diferencia entre estos pasos superiores y los ecoductos es la anchura de la infraestructura. Existe una limitación en restaurar los hábitats al reducir las dimensiones del paso.

#### Características y recomendaciones de diseño

- Para asegurar la efectividad y funcionamiento de estos pasos deben ser ubicados en zonas de desplazamiento habitual de fauna como corredores ecológicos con mayor cobertura boscosa y mínima perturbación por actividad humana.



- Los pasos deben ser cubiertos con vegetación nativa (árboles, arbustos y zacate) para promover el paso del mayor grupo de especies de fauna de la zona. Se debe adaptar para incluir a especies en peligro, escasas de la zona o en regresión.
- Se debe mantener mayor continuidad de suelo y tierra vegetal procedente de la zona. Se recomienda evitar la importación de tierra diferente fuera del proyecto para garantizar mayor integración con el hábitat.
- Se debe prohibir acceso a todo público y actividades de uso humano.
- Reducir luz y ruido proveniente de los vehículos que circulan la vía mediante barreras, paredes, vegetación densa o una combinación. Estas barreras deben extenderse a la cercanía de la rampa y curvas hacia el cerramiento perimetral que guía la fauna hacia el ecoducto.

#### Dimensiones de diseño

Las siguientes dimensiones se recomiendan por Clevenger & Huijser (2011) y MAGRAMA (2015):

- Anchura mínima: depende de la fauna existente, pero se recomienda de 20-50 m
- Anchura recomendada: 50-70 m
- Altura de malla o pared: 2 m
- Profundidad de tierra: 1,5 – 2 m
- Grosor mínimo de tierra vegetal para plantaciones de especies herbáceas: 0,3 m, de arbustos: 0,6 m

#### Construcción y acondicionamiento

- Su tipología constructiva se asemeja a la construcción de puentes como falso túnel, bóvedas, entre otros.
- Tramo de puente: vigas de acero o concreto armado (Clevenger & Huijser, 2011).
- Arco de puente: arcos prefabricados de concreto armado o acero corrugado (Clevenger & Huijser, 2011).
- Drenaje superficial con ligera pendiente (2-3 %) desde el eje longitudinal central de la estructura hacia los márgenes como la aplicación de una capa de material aislante.
- La profundidad del terreno debe ser suficiente para el crecimiento de árboles u otra vegetación (MAGRAMA, 2015).

- Se debe instalar cerramiento perimetral en la parte externa del paso con conexión al cerramiento perimetral de la vía.
- Se recomienda en el diseño la colocación de arbustos, hileras de piedras o tocones de árboles a lo largo del paso para proveer refugio a las especies de menor tamaño. El centro del paso debe ser abierta con vegetación herbácea.

### Mantenimiento

- El mantenimiento del paso en funcionamiento es relativamente bajo, las estructuras de cerramiento como las cercas o mallas colocadas deben ser revisadas regularmente para asegurar estabilidad y buena condición.
- Puede ser necesario el riego periódico de la vegetación de la nueva superficie (especialmente si ocurren períodos extensivos sin lluvia) para favorecer el establecimiento de la vegetación, el periodo de irrigación depende de el tipo de vegetación que se siembra. Se recomienda sembrar vegetación que eche raíces rápidamente y que requiere poco mantenimiento.
- El monitoreo de actividad humana cercana a esta zona se debe documentar y control si fuera necesario. Especialmente la actividad de fincas cercanas que puedan afectar el acceso o la presencia de la fauna como la instalación de vallados o el uso vehicular en zonas no permitidas.



Figura 9. Paso superior en Park City, Utah USA  
Nota: Tomado de UDOT, 2018

### ***3.3.4 Paso inferior o subterráneo***

Los pasos inferiores específicos de fauna se enfocan en el beneficio a los animales que necesitan desplazarse entre los ambientes separados por la vía (Cano G., 2016). Por lo general es utilizado por varios tipos de animales, las dimensiones típicas se diseñan para acomodar diferentes tipos de especies de fauna, existe el diseño para grandes mamíferos o pequeños mamíferos. Sin embargo, si se requiere el diseño para grandes mamíferos se puede adaptar para el uso de otras especies pequeñas. Para este tipo de estructuras es importante un buen drenaje para prevenir problemas climáticos e inundaciones que puede afectar el uso de los pasos por especies sensibles al agua.

#### Características y recomendaciones de diseño

- Los pasos inferiores al ser más encerrados presentan limitaciones al conectar hábitats, ya que el crecimiento de vegetación es limitado. Estructuras diseñadas de forma abierta que proveen amplia iluminación natural fomentará el crecimiento de vegetación nativa (Clevenger & Huijser, 2011).
- Son adecuados para restablecer la permeabilidad en los tramos en los que el trazado de la infraestructura transite sobre terraplén.
- Para asegurar la efectividad y funcionamiento de estos pasos deben ser ubicados en zonas de desplazamiento habitual de fauna como corredores ecológicos con mayor cobertura boscosa y mínima perturbación por actividad humana.
- El uso de vehículos motorizados cerca de esta zona debe ser prohibido. Eliminar el uso público, actividades o alguna perturbación humana cerca o adyacente de la zona del paso es recomendado para el funcionamiento adecuado y maximizar el uso por la fauna.
- El diseño del paso inferior debe adaptarse a la topografía local y debe incluir elementos de drenaje para que no se presenten problemas de inundación que afectará el uso por los animales.

#### *3.3.4.1 Diseño para mamíferos grandes*

##### Especies que pueden utilizarlo

La estructura está diseñada para acomodar a ungulados y grandes mamíferos, sin embargo, pueden acondicionados para el resto de los grupos de especies como mamíferos medianos y pequeños, reptiles y micromamíferos.



### Dimensiones de diseño (mamíferos grandes)

Las siguientes dimensiones se recomiendan por Clevenger & Huijser (2011) y MAGRAMA (2015):

- Altura mínima: 3,5 m
- Altura recomendada: > 4,5 m
- En áreas con presencia de animales de tamaño mediano como las dantas (*Tapirus bairdii*), los venados (*Odocoileis virginianus*) o jaguares (*panthera onca*), se recomienda una anchura mínima: 7 m y con Índice de Apertura ( $A \times H / L$ ) > 0,75
- Ancho recomendado: > 12 m
- Se recomienda una longitud máxima de 70 m, ya que debería ser la mínima posible y se debe construir perpendicular a la vía.

### Construcción y acondicionamiento

- Como tipología constructiva se puede utilizar estructuras de sección abierta: pórtico o bóveda.
- Tramo (luz) de puente: vigas de acero o concreto armado
- Arco de puente: arcos prefabricados de concreto armado o acero corrugado (Clevenger & Huijser, 2011).
- Alcantarillas cuadradas prefabricadas de concreto
- La implementación de un buen drenaje es esencial para evitar la inundación del paso, la presencia de una lámina de agua dificulta el paso de muchas especies. Se debe tomar en cuenta los períodos de fuertes lluvia para asegurar el uso adecuado de los drenajes.
- La estructura debe ser diseñado para satisfacer las necesidades de desplazamiento para el mayor rango de especies posibles de la zona.
- Los accesos y el interior del paso se deben revegetar de manera que refleje las condiciones del hábitat.
- Es preferible que la base de la estructura mantenga sustrato natural, si se utiliza una estructura con una base cerrada (alcantarilla cuadrada prefabricada), se debe colocar un sustrato de suelo con 15 cm de profundidad al interior del paso.
- Para promover el uso del paso por especies semi-arboreas, mamíferos pequeños, reptiles u otros se debe colocar material recuperable como troncos, piedras u otros tipos de vegetación adentro de la estructura.

- Diseñar la estructura para minimizar la intensidad de sonido y luz proveniente de la carretera y tránsito. Una medida recomendada es la colocación de pantallas opacas en la parte superior de las entradas.
- Sembrar revegetación alrededor de la zona de la construcción e instalar un cerramiento perimetral para guiar a la fauna hacia los accesos del paso e impedir el paso hacia la carretera.
- Colocar obstáculos pequeños y señalización para evitar el uso de vehículos en los accesos del paso.

### Mantenimiento

- Si no existe un monitoreo constante, se deben realizar visitas periódicas (idealmente para asegurar que no hay obstrucciones adentro o alrededor de la estructura y actividades no autorizadas (circulación de vehículos) que impida el uso por la fauna.
- El cerramiento perimetral se debe revisar (mínimo una vez al año, preferiblemente dos veces al año) si se necesita un mantenimiento o reparación para asegurar estabilidad y buena condición.

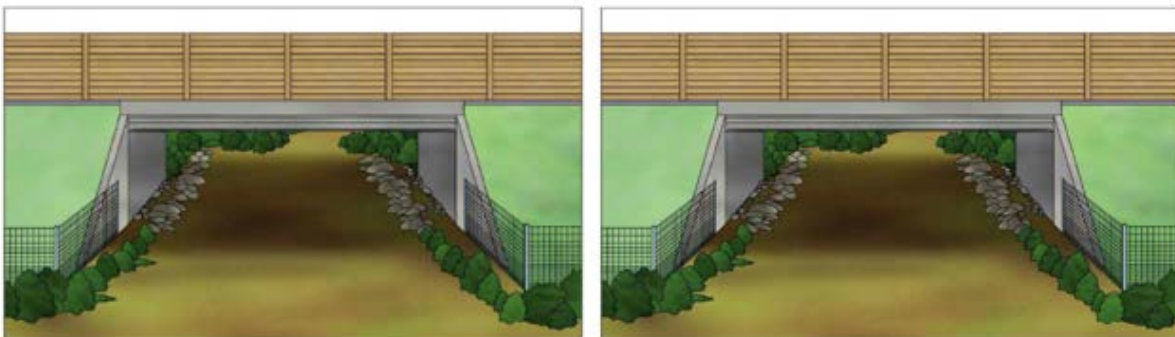


Figura 10. Esquema general para un paso inferior para mamíferos grandes.  
Nota: Tomado de MAGRAMA, 2015

### 3.3.4.2 *Diseño para vertebrados pequeños*

#### Especies que pueden utilizarlo

Principalmente diseñado para carnívoros de pequeño y mediano tamaño como mustélidos (nutrías, tolomucos y zorros), lagomorfos (conejos y liebres), micromamíferos (roedores) y reptiles, entre otros.

### Dimensiones de diseño

Las dimensiones del diseño van a depender de las especies objetivo, se recomienda una estructura de mínimo 2 x 2 m (MAGRAMA, 2015):

- Diámetro mínimo para estructuras tubulares: 1,5 m
- Se recomienda una longitud máxima de 70 m, ya que debería ser la mínima posible y se debe construir perpendicular a la vía.

### Construcción y acondicionamiento

- Como tipología constructiva se puede utilizar estructuras: cajón, pórtico o bóveda.
  - Láminas de metal corrugado circular
  - Arcos prefabricados de concreto
  - Alcantarillas cuadradas prefabricadas de concreto
- La implementación de un buen drenaje es esencial para evitar la inundación del paso, la presencia de una lámina de agua dificulta el paso de muchas especies. Se debe tomar en cuenta los períodos de fuertes lluvia para asegurar el uso adecuado de los drenajes.
- La estructura debe ser diseñado para satisfacer las necesidades de desplazamiento para el mayor rango de especies posibles de la zona.
- Los accesos y el interior del paso se deben revegetar de manera que refleje las condiciones del hábitat.
- Es preferible que la base de la estructura mantenga sustrato natural, si se utiliza una estructura con una base cerrada (alcantarilla cuadrada prefabricada), se debe colocar un sustrato de suelo con 15 cm de profundidad al interior del paso (puede variar según tamaño de estructura) (Clevenger & Huijser, 2011).
- Para promover el uso del paso por especies semi-arboreas, mamíferos pequeños, reptiles u otros se debe colocar material recuperable como troncos, piedras u otros tipos de vegetación adentro de la estructura.
- Diseñar la estructura para minimizar la intensidad de sonido y luz proveniente de la carretera y tránsito. Una medida recomendada es la colocación de pantallas opacas en la parte superior de las entradas.
- Realizar revegetación alrededor de la zona de la construcción e instalar un cerramiento perimetral para guiar a la fauna hacia los accesos del paso e impedir el paso hacia la carretera.

- Promover obstáculos pequeños y señalización para evitar el uso de vehículos en los accesos del paso.

### Mantenimiento

- Si no existe un monitoreo constante, se deben realizar visitas periódicas para asegurar que no hay obstrucciones adentro o alrededor de la estructura y actividades no autorizadas (circulación de vehículos) que impida el uso por la fauna.
- El cerramiento perimetral se debe revisar (mínimo una vez al año, preferiblemente dos veces al año) si se necesita un mantenimiento o reparación para asegurar estabilidad y buena condición.



Figura 11. Esquema general para un paso inferior para mamíferos pequeños.  
Nota: Tomado de MAGRAMA, 2015

### ***3.3.5 Paso multifuncional (mixto)***

Estas son obras o estructuras existentes en las carreteras que inicialmente fueron hechas para cumplir otros objetivos como el sistema de drenaje y son adaptadas para el paso de los animales. Es importante realizar los estudios para determinar el diseño de estas estructuras que debe cumplir con la necesidad hidráulica del drenaje y las dimensiones adecuadas para un paso seguro y eficiente del paso de fauna (Pomareda G., et al., 2014).

### Características y recomendaciones de diseño

- Diseñado principalmente para mamíferos pequeños y medianos, puede satisfacer todo tipo de fauna dependiendo de las dimensiones y condiciones hidráulicas de la infraestructura, frecuencia de inundación y las características de la zona.
- Modificaciones como plataformas o pasarelas son construidas a lo largo de las paredes en el interior de la infraestructura y a una altura sobre el nivel máximo de agua.
- La adaptación de drenajes es costo-eficiente, ya que son obras necesarias para el buen funcionamiento de la infraestructura vial y con una modificación se puede facilitar el paso de la vida silvestre a diferencia de hacer una estructura exclusivamente para el paso de estos.
- Los drenajes tienen poca perturbación humana lo que es un beneficio para el paso de los animales.

#### Dimensiones de diseño

Las siguientes dimensiones se recomiendan por Clevenger & Huijser (2011) y MAGRAMA (2015):

- El diseño debe satisfacer las condiciones hidráulicas necesarias para el buen funcionamiento de drenaje en la zona.
- El diseño y dimensiones de las pasarelas pueden depender de las especies objetivo.
- Se tiene como ancho mínimo de una pasarela/plataforma: 0,5 m
- Altura mínima depende de la altura de inundación habitual
- Ángulo de rampa de acceso:  $\leq 30^\circ$  pendiente

#### Construcción y acondicionamiento

- Las plataformas/pasarelas se pueden construir con materiales resistentes como el concreto, acero galvanizado, o tableros de madera tratada. No se recomienda metal corrugado.
- Puente prefabricado en forma de arco o caja de concreto armado.
- Se puede colocar un sistema de estantes anclados de acero galvanizado o metal en alcantarillas y puentes ya existentes (MAGRAMA, 2015)
- Marcos de sección cuadrada o rectangular facilitan una mayor superficie en la base que las estructuras circulares.
- La implementación de un buen drenaje es esencial para evitar la inundación del paso, la presencia de una lámina de agua dificulta el paso de muchas especies. Se debe tomar en

cuenta los períodos de fuertes lluvia para asegurar que se mantengan dos franjas laterales secas para el paso de animales.

- Las pasarelas/plataformas deben ser colocadas en ambos lados de la estructura, sin embargo, se pueden colocar de un solo lado dependiendo de la situación del hábitat de la zona.
- Colocar revegetación alrededor de la zona de la construcción e instalar un cerramiento perimetral para guiar a la fauna hacia los accesos del paso e impedir el paso hacia la carretera.
- Facilitar el acceso de la fauna a las entradas de la estructura mediante rampas o conexiones especialmente si las plataformas/pasarelas están a un nivel distinto al terreno exterior. Se deben evitar obstáculos como escalones, socavaciones, entre otros. Se puede utilizar el enchado de piedra para conectar el entorno con los accesos (Figura 12).

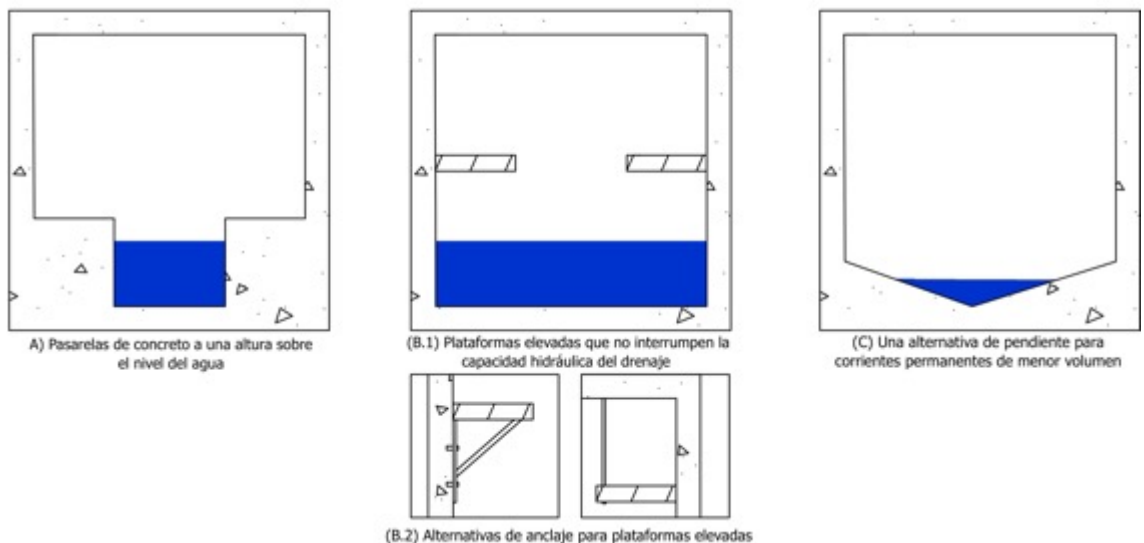


Figura 12. Secciones transversales de estructuras de drenajes para el paso de fauna.

Nota: Con base en Iuell et al., 2005. Modificado por Acosta, 2019.



Figura 13. Drenaje adaptado con pasarelas secas de concreto en la Ruta N°4, Costa Rica  
 Nota: Tomado de MOPT, 2018



Figura 14. Drenaje adaptado con pasarelas secas de concreto para animales de pequeño tamaño en el sur de Portugal Nota:  
 Tomado de: Joaquim Pedro Ferreira, n.d.



Figura 15. Interior de un drenaje adaptado con una plataforma lateral seca y con presencia de una marta (*martes martes*)  
 Nota: Tomado de GAN-NIK, 2017

## Mantenimiento

- Se deben realizar visitas periódicas para asegurar que no hay obstrucciones adentro o alrededor de la estructura, que los materiales de la estructura estén en buena condición. Visitas se deben realizar periódicamente pero especialmente después de fuertes lluvias o inundaciones.
- El cerramiento perimetral se debe revisar (mínimo una vez al año, preferiblemente dos veces al año) si se necesita un mantenimiento o reparación para asegurar estabilidad y buena condición.

### **3.4 Elección del diseño y ubicación de los pasos de fauna**

El tipo de estructura a utilizar y su ubicación depende de varios factores. A continuación, se presentan varios aspectos que se deben considerar para la ubicación de las estructuras:

- Identificación del tipo de fauna y la distribución de sus hábitats de estos grupos en la zona donde se va a construir la infraestructura vial. Esta información se genera por medio de investigaciones documentales, de campo y Sistema de Información Geográfica (Cano G., 2016).
- Identificación del uso de suelo: esto consiste en localizar rutas migratorias que pueden verse influenciadas por el relieve y vegetación del terreno.
- Identificación de áreas ambientalmente frágiles, estas consisten en áreas con condiciones biológicas que puede albergar ecosistemas de importancia (Pomareda G., et al., 2014). Unos ejemplos de estas áreas son las Áreas Silvestres Protegidas como los parques nacionales, reservas biológicas, forestales y marinas u otras zonas protegidas por el estado.
- Identificación de vida silvestre vulnerable al impacto vial: especies en peligro de extinción o amenazadas, especies endémicas, especies migratorias, especies y grupos con alta mortalidad.
- Identificación de zonas con una concentración de atropellos.

Para la elección del tipo de estructura se debe hacer un análisis considerando tres criterios:

- Importancia del tramo para la conectividad ecológica y para los desplazamientos de fauna. Se deben realizar estudios del territorio donde se determinará la distribución de los hábitats de mayor interés para la conectividad de las especies. Al analizar las áreas se



pueden categorizar por su importancia. Dado que un área se considere primordial y clave para la conectividad, se recomendaría mantener la conexión por medio del uso de vegetación y estructuras de paso superior exclusivo de fauna. Hábitats con menor o poco interés de la conectividad se pueden considerar pasos de uso mixto o subterráneos (MAGRAMA, 2015).

- Características topográficas. Se deben considerar las condiciones topográficas de la sección donde se quiere implementar un paso, es conveniente que el paso este al mismo nivel que la vía. Para diferentes condiciones se recomienda tipos de estructuras específicas, por ejemplo, si la vía está entre cortes es más adecuado un paso superior, mientras una vía sobre terraplén se recomienda pasos inferiores (MAGRAMA, 2015).
- Especies o grupos faunísticos de referencia. La estructura del paso de fauna debe ser el más adecuado para la mayor cantidad de especies posibles, es más práctico que satisfaga un grupo diverso de especies que construir estructuras diferentes para cada especie necesitada. Los grupos faunísticos se dividen en grandes mamíferos (jaguares, pumas, dantas), pequeños vertebrados (zorros, mapaches, conejos), anfibios (se incluye roedores y micromamíferos) y peces (Cano G., 2016).

### **3.5 Medidas complementarias para potencializar la efectividad de los pasos de fauna**

#### ***3.5.1 Mallas / Vallados perimetrales***

La instalación de un cerramiento perimetral tiene el fin de alejar la fauna de la infraestructura vial. Esta medida se debe utilizar en conjunto con los pasos de fauna, ya que al no incluirlos se incrementa el efecto barrera de la infraestructura (MAGRAMA, 2015). El cerramiento debe alejar los animales de la infraestructura y guiarlos hacia el paso de fauna para cruzar de manera segura. El cerramiento debe ser impermeable a la fauna para garantizar la reducción de mortalidad de fauna por atropello y aumentar la seguridad vial.

El tipo de cerramiento perimetral que se utiliza va a depender principalmente del uso de suelo de la zona cerca y el volumen de tránsito de la infraestructura, el tamaño de las especies objetivo, entre otros. Las mallas deben ser colocadas en ambos lados de la carretera (no solo un lado) y de manera simétrica (Clevenger & Huijser, 2011).

Un cerramiento continuo a lo largo de la carretera o la sección de carretera se recomienda si existen extensiones largas de terreno público y no hay accesos de propiedad privada como fincas que puedan intervenir en el cerramiento. Este tipo de cerramiento se debe tomar en cuenta si la carretera tiene un tránsito alto que supere los 25.000 vehículos/día (MAGRAMA, 2015).

Un cerramiento discontinuo es recomendado en zonas rurales que tienen propiedad pública y privada, donde las propiedades privadas no permiten la colocación de mallas de este tipo. Se recomienda en vías con un tráfico diario inferior a los 25.000 vehículos/día. Una problemática con este tipo de cerramiento es la generación de desplazamiento de fauna y posibles colisiones/atropellos en los extremos del vallado. Por esta razón es esencial colocar el cerramiento de manera que la fauna se guíe hacia el paso de fauna seguro y no a los extremos.

#### Diseño y construcción

- Se puede utilizar diferentes tipos de malla: malla tejida, malla electro soldada rígida, malla soldada galvanizada o mallas de torsión dependiendo de la resistencia que se requiere por las especies que se quiere contener, el costo, la estética, entre otros.
- Las mallas deben tener un revestimiento para protegerlas de la oxidación y corrosión, la galvanización es el recubrimiento más común.
- Las mallas deben estar sujetas por postes, se recomienda postes de tensión de acero galvanizado. Se pueden utilizar postes de madera, la cual es una opción más económica, sin embargo, la durabilidad va a depender de las condiciones climáticas de la zona, el tipo de madera y si tiene un tratamiento de preservante de madera (Clevenger & Huijser, 2011).
- Se recomienda enterrar la malla si existen especies en la zona que tienen la capacidad de escavar por debajo del cerramiento para cruzar. Se debe enterrar a un ángulo de 45° o en forma de L hacia el exterior (dirección opuesta de la carretera) y de mínimo 20 cm de profundidad, si existe mayor habilidad o tamaño de la especie puede ser un mínimo de 50 cm. Otra opción es enterrar una lámina galvanizada lisa por debajo del terreno para impedir la excavación (MAGRAMA, 2015).
- Las dimensiones de la luz estándar de la malla es de 2 x 2 cm, esta medida puede variar según las especies de la zona. Se puede optar por dos métodos para satisfacer las

dimensiones necesarias para todas las especies (Clevenger & Huijser, 2011; MAGRAMA, 2015).

1. Utilizar una malla que varía el espaciado con la altura, es decir, la luz en la parte inferior de la malla sea de menor tamaño para las especies más pequeñas y la parte superior sea más amplia que cumple el requisito para impedir el paso de especies más grandes.
  2. Utilizar una malla de una luz estándar y reforzar la parte inferior (base) con otra malla con las dimensiones especiales.
- Para evitar que la fauna escale la malla, se recomienda terminar prolongar la malla en la parte superior con un ángulo o curva hacia el exterior para dificultar el movimiento de subir y pasarse al otro lado del cerramiento.

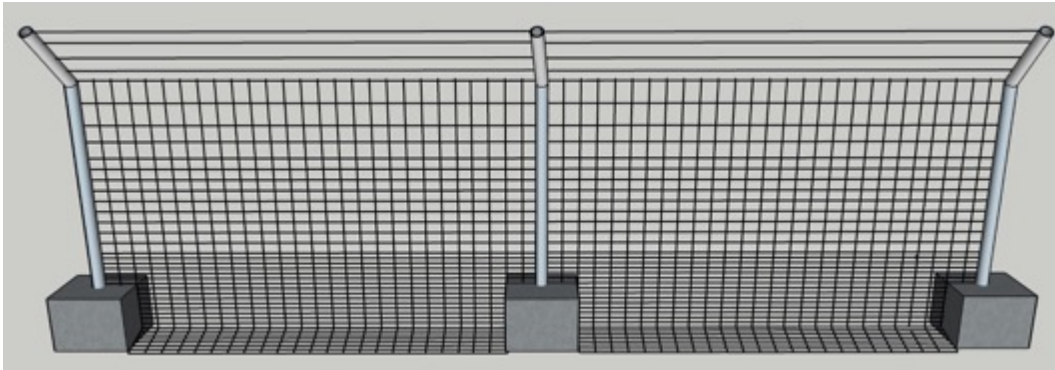


Figura 16. Esquema general de un cerramiento perimetral con un espaciado variado.

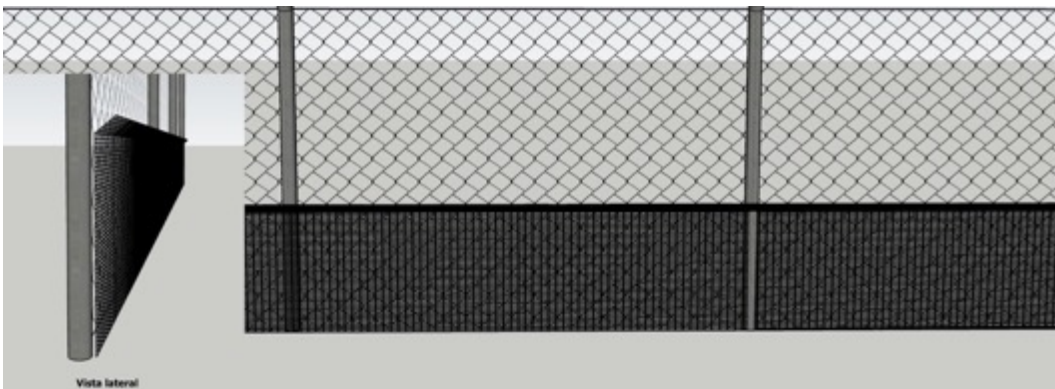


Figura 17. Esquema general de un cerramiento perimetral con una malla de refuerzo para impedir el paso de especies pequeñas.

### 3.5.2 Señalización

Es una medida de precaución con el fin de informar a los usuarios de la vía el posible cruce de fauna, para que tomen las medidas necesarias como reducir la velocidad y estar más alertos al transitar por estas zonas. La señalización generalmente es vertical y debe ser colocada según las normativas de señalización respectiva del país.

Existen varios tipos de señalización: señales con colores fluorescentes y retro reflectante, señales luminosas y señales con sensores de detección de fauna. La ubicación de las señales debe ser en los extremos del tramo conflictivo, se recomienda indicar la longitud del tramo con mayor riesgo de atropello de fauna. Dependiendo de las características de la vía se puede recomendar aplicar un límite de velocidad. La señalización debe ser ubicada correctamente para que el usuario tenga buena visibilidad de este y con una distancia de advertencia adecuada para tener un buen tiempo de reacción.

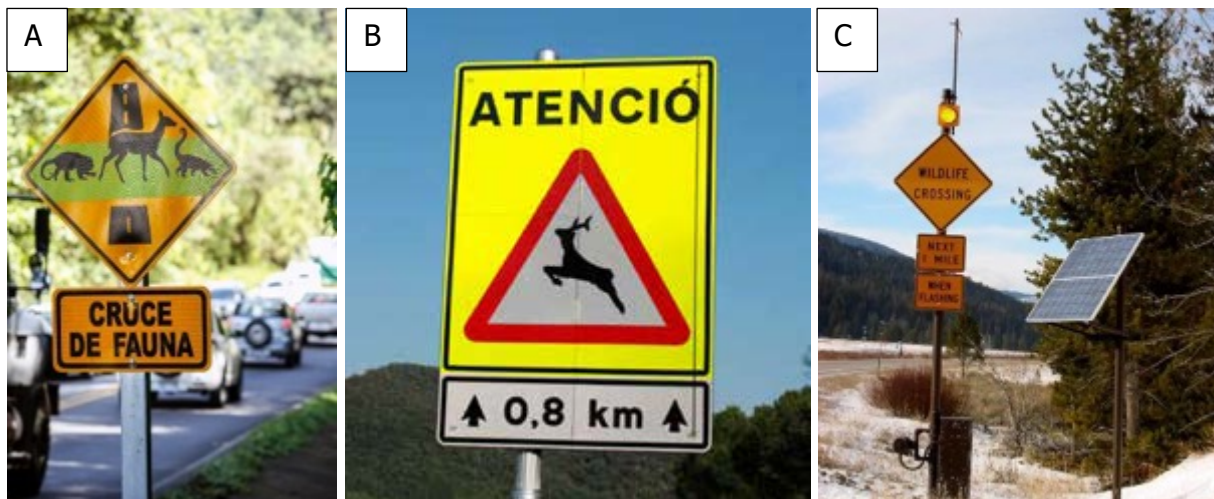


Figura 18. Ejemplos de señalización de advertencia para el cruce de fauna.

Nota: Tomado de Adrian Soto, (2015). Departament de Territori y Sostenibilitat de Catalunya, (2010). Marcel Huijser, (2015).

En la imagen A de Figura 18 se demuestra una señalización de cruce de fauna en Costa Rica, en la imagen B un refuerzo de señalización durante el periodo de mayor riesgo de accidentes por ungulados en Cataluña, España y por último en la imagen C un sistema de detección de animales

en la ruta 191 de Estados Unidos del parque nacional Yellowstone. La última imagen tiene un sistema de aviso con luces que funciona mediante energía solar.

Los tramos conflictivos se pueden reforzar con reflectores en los bordes de la vía, en caso de que no haya iluminación artificial especialmente en los periodos nocturnos donde ocurre más movimiento por la fauna. Esto puede reflejar la luz de los vehículos y podrá ahuyentar a los animales cerca de la zona para evitar que estos traten de cruzar en el momento que viene el vehículo.

## **Capítulo 4 Proceso de evaluación de los pasos de fauna en estudio**

En este capítulo se describe el proceso con el que se evaluó las estructuras de paso de fauna. Es necesario para evaluar inicialmente el impacto que tiene la infraestructura, conocer todo aspecto de los proyectos como: sus características, uso de suelo, cercanía a áreas ambientales frágiles (corredores biológicos, áreas de conservación, áreas silvestres protegidas). Se evaluó el diseño de cada estructura, según su tipo, los materiales de diseño, la durabilidad, nivel sonoro, entre otros factores. Adicionalmente, se complementó la información recolectada en campo con registros biológicos de otras investigaciones para determinar la efectividad de los pasos de fauna.

### **4.1 Ruta Nacional N°1: Sección Cañas – Liberia**

#### ***4.1.1 Características del proyecto***

La sección Cañas-Liberia de la carretera Interamericana Norte, fue un proyecto de ampliación y rehabilitación desarrollado en el 2012 e inaugurado en el 2016. El proyecto está ubicado en la provincia de Guanacaste, conectando los cantones de Liberia (al norte), Bagaces y Cañas (al sur). El contratante del proyecto es el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), fue financiado por medio del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el contratista principal fue FCC Construcción Costa Rica y también fue desarrollada por Constructora Meco, S.A., Consorcio Codocsa-Holcim y Constructora Sánchez Carvajal, S.A. (Dirección de Relaciones Públicas, MOPT, 2016).

El tramo comprende de 50,5 kilómetros y fue ampliado de dos carriles a cuatro carriles. La carretera está compuesta por 26 puentes nuevos, 10 puentes rehabilitados, 3 intercambios e intersecciones a desnivel, 11 puentes peatonales, 12 km de ciclovía, aceras, 8 pasos de fauna subterráneos y 9 aéreos.

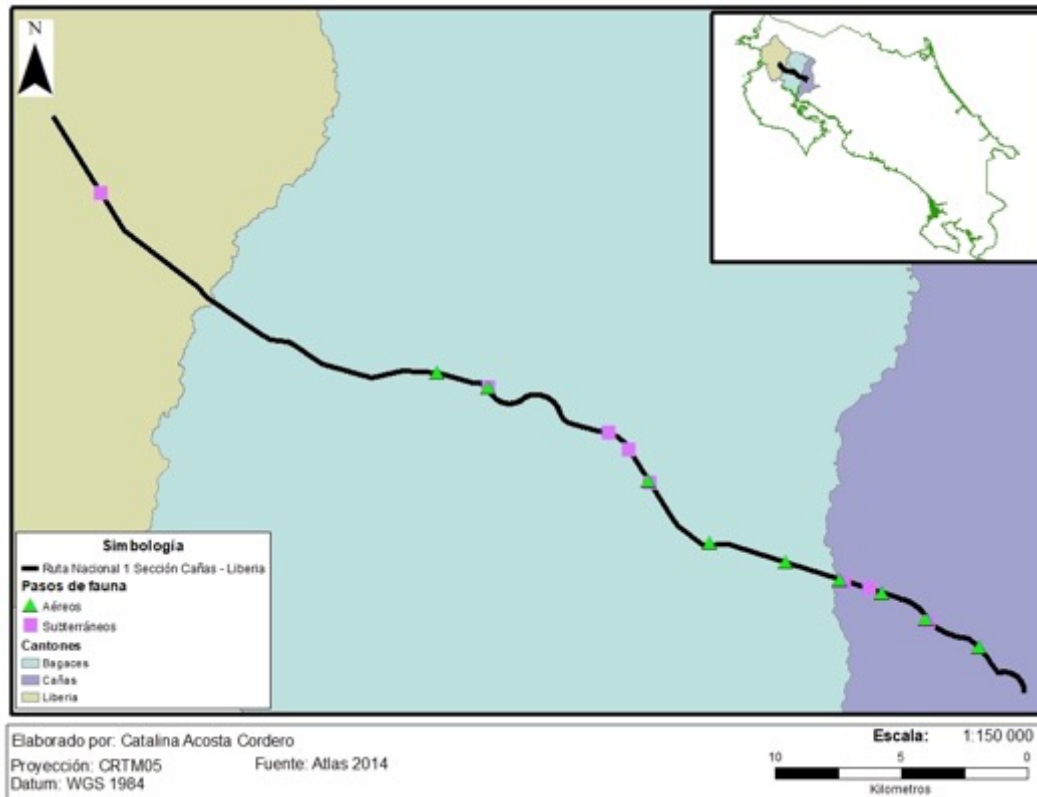


Figura 19. Ubicación geográfica de la sección Cañas-Liberia de la Carretera Interamericana Norte.

Para la rehabilitación y ampliación de la carretera Interamericana Norte se realizó una inversión superior a los 200 millones de dólares. Según el Anuario de Información de Tránsito del 2018 del Ministerio de Obras Públicas y Transporte esta sección de carretera, tiene registrado en el año 2015 un promedio de tránsito promedio diario (TPD) de 8477 vehículos por día. El TPD proyectado con la tasa de crecimiento anual para el año actual se estima a 9797 vehículos por día. Los límites de velocidad en esta sección varían entre 40 - 80 kph; sin embargo, se ha registrado velocidades mayores que llegan hasta los 160 kph por la policía de tránsito.

#### **4.1.2 Uso de suelo aledaño al proyecto**

La zona circundante de la carretera está compuesta primordialmente por cultivos y pastos que se definen como "formaciones vegetales compuestas por gramíneas que se consideran dominantes de hierbas y en ocasiones acompañadas con árboles y arbustos esparcidos; frecuentemente son dedicadas a la ganadería extensiva, pero en algunos casos no presentan ningún uso" (FAO, 2010). Algunas zonas restantes tienen una cobertura forestal de bosque natural y secundario, sin embargo, como se puede observar en la Figura 20 se encuentran muy fragmentadas y únicamente cercanas a cuerpos de agua.



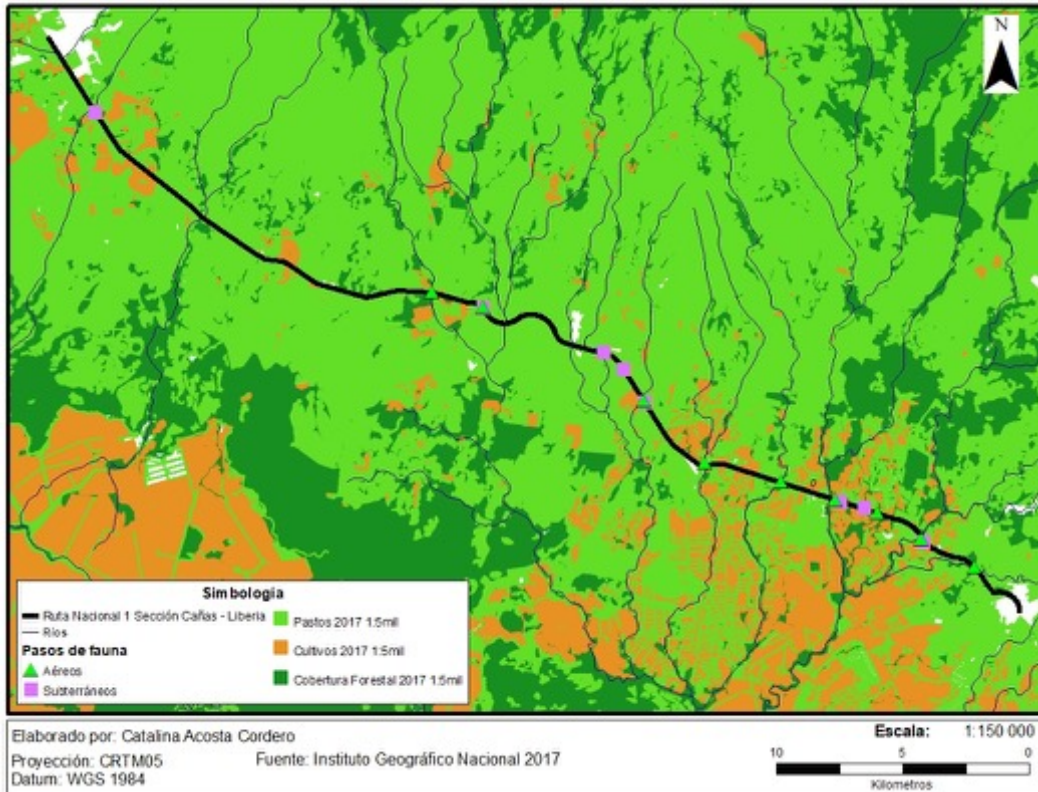


Figura 20. Mapa de uso de suelo de la zona de estudio, Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas – Liberia

Adicionalmente, la sección de carretera pertenece al Área de Conservación Arenal-Tempisque y Área de Conservación Guanacaste y cruza tres corredores biológicos: Morocochas, Rincón-Barbudal y Miravalles-Santa Rosa. Un corredor biológico se define por SINAC como “un territorio continental con el fin de proporcionar conectividad entre áreas silvestres protegidas, paisajes, ecosistemas y tipos de hábitat para asegurar el mantenimiento de la biodiversidad y los procesos ecológicos y evolutivos; proporcionando espacios de concertación social para promover la inversión en la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en esos espacios.” Al interrumpir este territorio se deben tomar las medidas necesarias para cumplir con su objetivo de conservación y uso sostenible. Como se puede observar en la Figura 21, existen 4 pasos de fauna (3 aéreos y 1 subterráneo) en la carretera que traspasa los corredores; sin embargo, se puede observar que queda mucha área pasando por corredores sin estas medidas mitigadores que son los pasos de fauna.



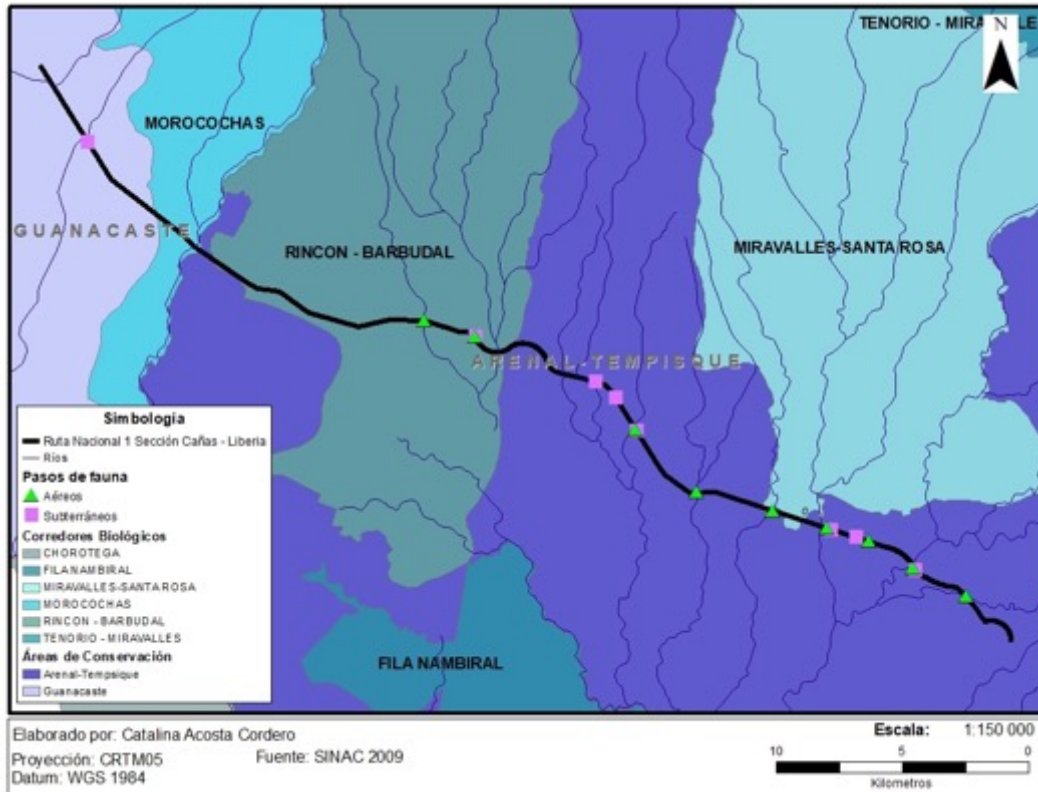


Figura 21. Ubicación de corredores biológicos en la zona de estudio, Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas - Liberia

#### 4.1.3 Estudios ambientales para fauna

Según el informe de cierre de Regencia Ambiental de noviembre 2016, para este proyecto no se realizaron estudios previos que permitieran conocer con precisión los sitios donde la ruta fuera atravesada por animales silvestres. Al no tener esta información, se conversó directamente con los trabajadores, a quienes se les solicitó la colaboración para ir conociendo los lugares donde se daban avistamientos y atropellos. Adicionalmente, se realizaron recorridos a diferentes horas para verificar en campo y analizar en planos la posibilidad de colocar pasos para animales silvestres. Se realizaron reuniones en el SINAC en Cañas y en Bagaces donde se consultó los hallazgos encontrados, en estas reuniones se contó con la participación de representantes de las instituciones del Estado y de la sociedad civil. Finalmente, con el conocimiento de las especies y de los sitios se realizaron propuestas para la colocación de estos. Aparte de los pasos de fauna exclusivos, la carretera cuenta con 113 alcantarillas las cuales en algunos casos y dependiendo de las condiciones se pueden usar para el paso de los animales.

#### 4.2 Ruta Nacional N°4: Sección Vuelta de Kooper – Bajos de Chilamate

#### 4.2.1 Características del proyecto

El proyecto de la carretera Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper inició en el 2014 y se habilitó en agosto 2017. El trayecto inicia en la Ruta Nacional N° 4 en el poblado de Bajos de Chilamate ubicado en el distrito de La Virgen, en Sarapiquí de Heredia y finaliza en la intersección de la Ruta Nacional N° 4 con la Ruta Nacional N° 751 cerca del poblado Vuelta de Kooper ubicado en el distrito de Aguas Zarcas, en San Carlos de Alajuela. El contratante del proyecto es el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), fue financiado entre la Corporación Andina de Fomento (CAF) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el contratista principal fue Constructora Sánchez Carvajal y también involucró la Compañía Asesora de Construcción e Ingeniería S.A. (CACISA), Vieto y Asociados S.A. y Consultorías Ambientales Guayacán S.A, en la regencia ambiental.

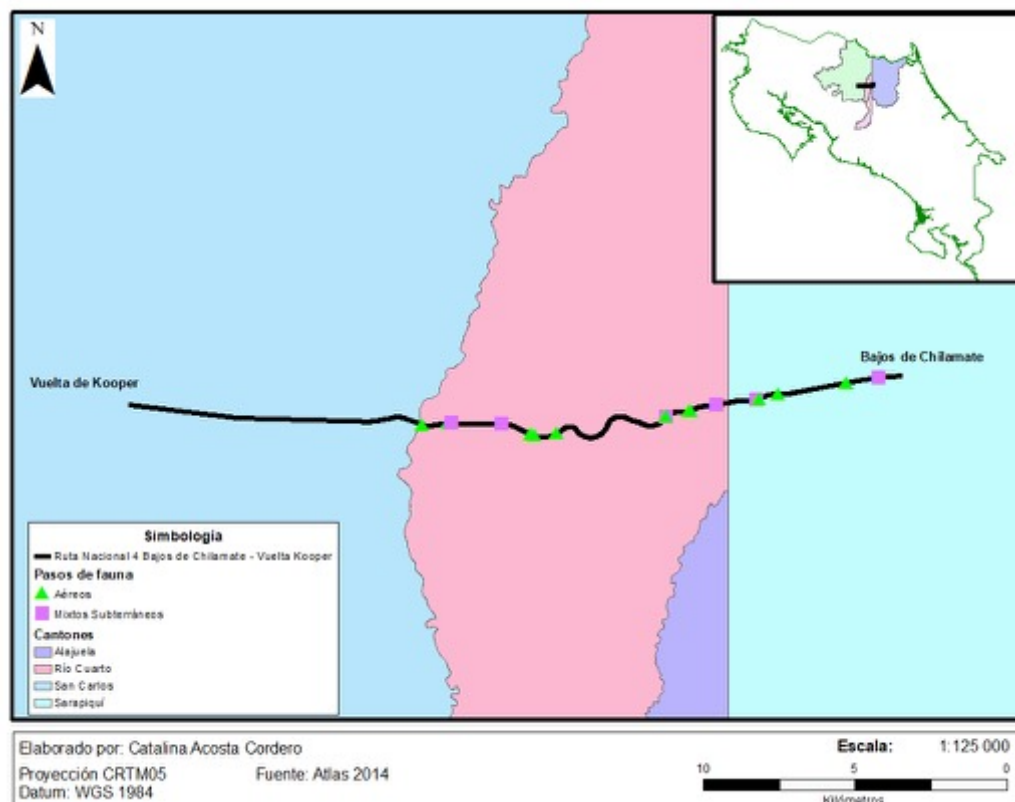


Figura 22. Ubicación geográfica de la Ruta Nacional N° 4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper.

#### 4.2.2 Uso de suelo aledaño al proyecto

La zona circundante de la carretera está compuesta principalmente por cultivos y pastos como se puede observar en la Figura 23, tiene una cobertura forestal fragmentada a lo largo de la zona

que recorre la carretera. Esta región es reconocida por los cultivos de granos básicos, raíces, tubérculos y frutales (Barrientos & Chaves, 2009). La producción de piña es uno de los cultivos principales ubicados en los cantones de Sarapiquí, Río Cuarto y San Carlos, asimismo ha sido problemático en estos cantones por la contaminación de los agroquímicos utilizados (Oneal, 2018).

La carretera recorre dos Áreas de Conservación Arenal Huetar Norte y Cordillera Volcánica Central y los primeros 2 kilómetros empezando por Bajos de Chilamate cruza el corredor biológico San Juan La Selva. Como se muestra en la Figura 25, se colocaron 2 pasos subterráneos y 1 aéreo en esa distancia. Se puede observar al comparar la Figura 23 y Figura 25, la mayoría de la cobertura forestal pertenece a la zona ubicada limitada por el corredor biológico.

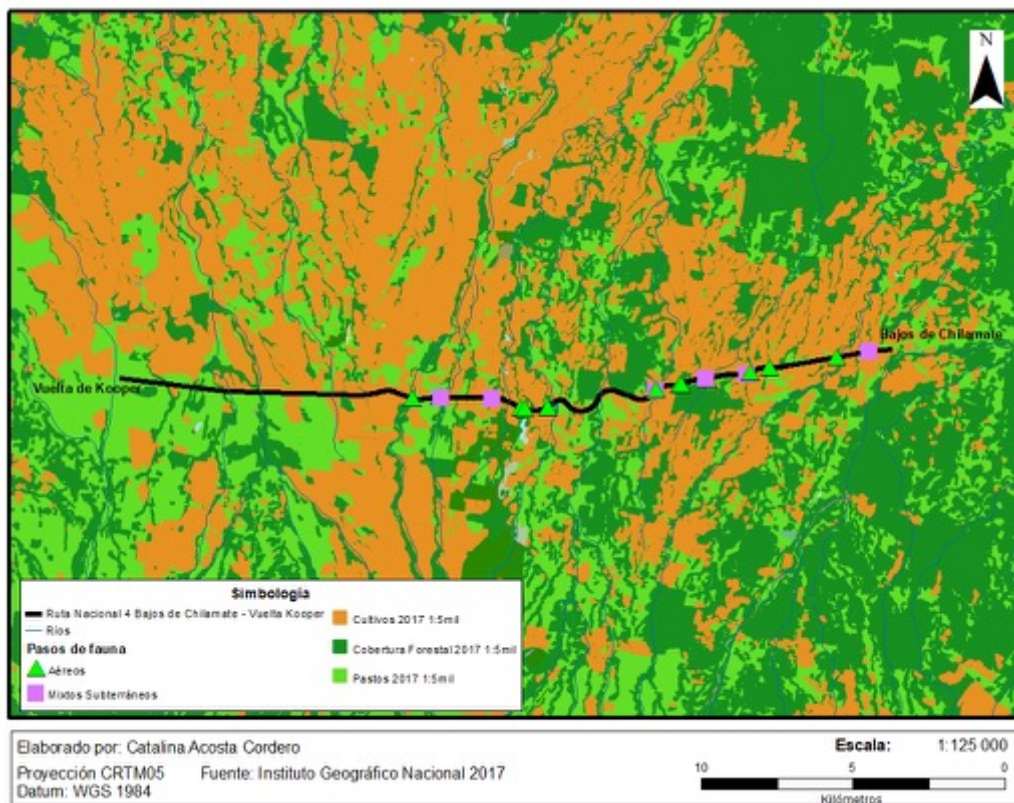


Figura 23. Mapa de uso de suelo de la zona de estudio, Ruta Nacional N° 4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper.





Figura 24. Fotografía aérea del uso de suelo alrededor de la Ruta Nacional N° 4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper.

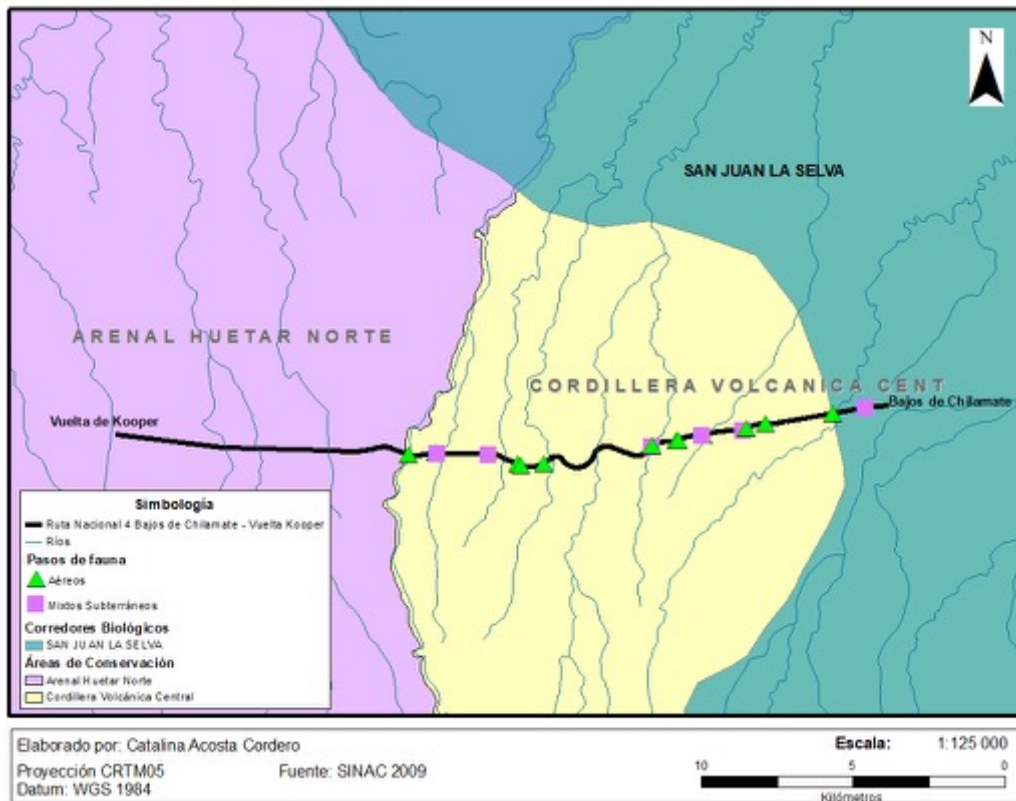


Figura 25. Ubicación de corredores biológicos en la zona de estudio, Ruta Nacional N° 4 sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper.

### **4.2.3 Estudios ambientales para fauna**

Según el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) requerido para la construcción de este proyecto se analizaron los impactos dirigidos a la fauna silvestre. Se concluyeron varios impactos conocidos por la construcción de una nueva carretera como la disminución de biodiversidad, fragmentación de hábitat y atropellos de fauna. Por esta razón se tomó en cuenta la construcción de pasos de fauna aéreos y el uso de los drenajes como un paso.

Por criterio de la regencia ambiental del proyecto, se realizó una revaloración de las estructuras de alcantarillado para convertir estructuras cuadradas con pasarelas sin interrumpir las necesidades hidráulicas (G. Retana, entrevista personal, 2019). Estas pasarelas tienen como dimensiones: 30-40 cm de ancho y 40 cm de altura, ubicadas en los costados de las alcantarillas. Se continua con aletonas para darle continuidad a los animales hacia la tierra. La alcantarilla puede funcionar para el paso de otros tipos de animales más acuáticos. En cambio, las pasarelas funcionan para mamíferos que no les gusta mojarse.

Los pasos aéreos construidos tienen una longitud cercana a 40 – 45 m, al costado del derecho de vía. Fueron diseñados y construidos con materiales de líneas de media y alta tensión, galvanizado en caliente, con longitudes estándares. La altura mínima sobre la carretera es de 5,50 m. Las pasarelas aéreas son hechas de un alambre de acero galvanizado en forma de triángulo con una base de 40 cm de ancho, una malla recubierta de PVC, 30 cm de ancho de lados. De los postes hacia los árboles se ubicaron 3-5 tirolesas para crear una conectividad entre los árboles y el paso, con un nudo especial en caso de una ruptura en las ramas no se afectará el paso de fauna, es decir no es posible caerse si se fuera a romper en una tormenta o evento natural.

Está zona se caracteriza como húmeda y caliente por lo que las estructuras están aterrizadas para energía estática para prevenir una carga eléctrica que afecte el uso de la fauna.

Existen 6 estructuras diseñadas en está carretera como pasos de fauna mixtos de drenaje adaptado; sin embargo, se considera que ciertas estructuras como debajo de los puentes y algunos drenajes funcionan como paso de fauna.

### 4.3 Evaluación de los pasos de fauna

Para este estudio se analizaron 2 tipos de pasos de fauna: pasos aéreos y pasos inferiores (subterráneos). Los pasos inferiores de la Ruta Nacional Nº 1 son estructuras cuadradas exclusivamente diseñadas para el uso del paso de la fauna. En la Figura 26 se puede observar el detalle de la estructura de esta carretera. Tiene un ancho de aproximadamente 1,5 metros y una altura de 1,2 metros hecho de concreto. Están apoyados en sus laterales por muros de gaviones de 2 metros de ancho y 1,5 metros de altura.

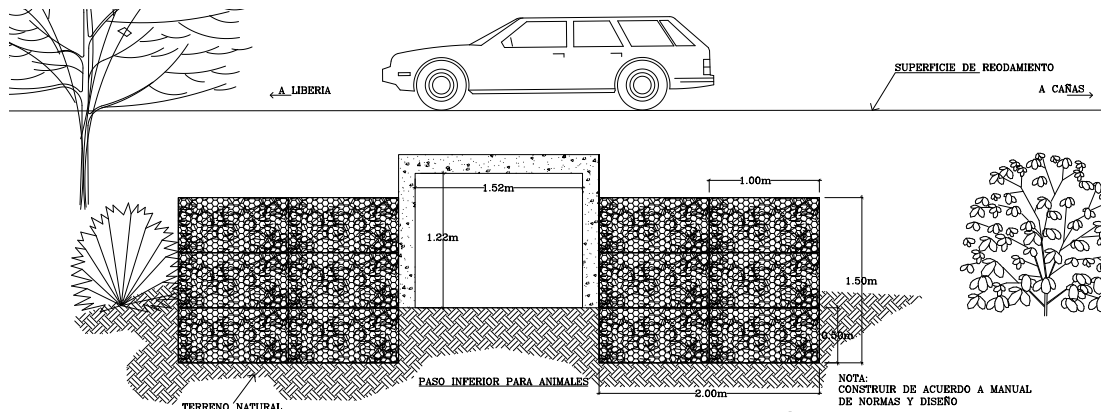


Figura 26. Diseño paso inferior para Ruta Nacional Nº 1 Sección Cañas - Liberia.

Nota: Tomado de MOPT & CONAVI, 2011

En el caso de la Ruta Nacional Nº 4 los pasos inferiores son de uso mixto, ya que fueron diseñados como drenajes inicialmente, posteriormente de la construcción se modificaron para el uso del paso de fauna. La modificación consistió en colar pasarelas de concreto en las paredes laterales de los drenajes para facilitar el acceso de los animales en el caso de que el drenaje fuera a estar inundado e impidiera el paso. Seguidamente se muestran esquemas de los pasos existentes en esta carretera (Figura 27).

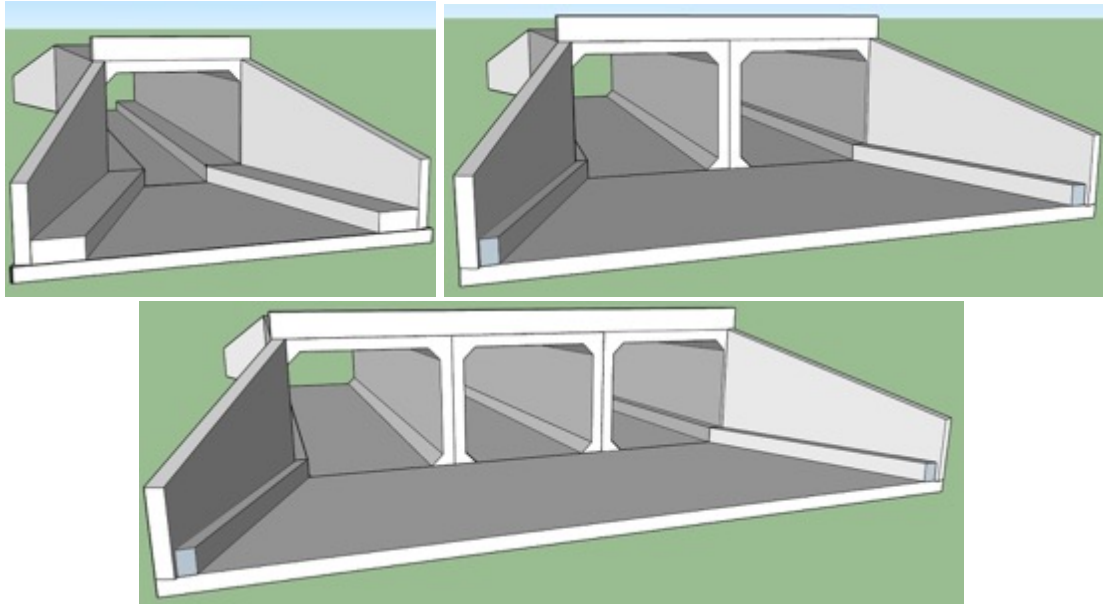


Figura 27. Esquemas de alcantarillas cuadradas modificadas para el paso de fauna con pasarelas laterales.

Los pasos aéreos para ambas rutas nacionales en estudio tienen un diseño similar, son puentes de malla conectados mediante cables de forma triangular sujetos a un cable superior atados a los postes en los extremos de la calzada. Adicionalmente, los postes se conectan a los árboles cercanos mediante sogas, tirolesas o mallas para facilitar el acceso de las especies arborícolas al paso. En la Figura 28 se detalla el paso aéreo de la Ruta Nacional N° 1. Está compuesta por una malla plástica de ½ pulgada de cavidad con un soporte de varillas de 30 – 40 cm de ancho a lo largo de la malla, cables de acero y dos postes a 50 cm de distancia y 11 metros de altura en cada extremo.

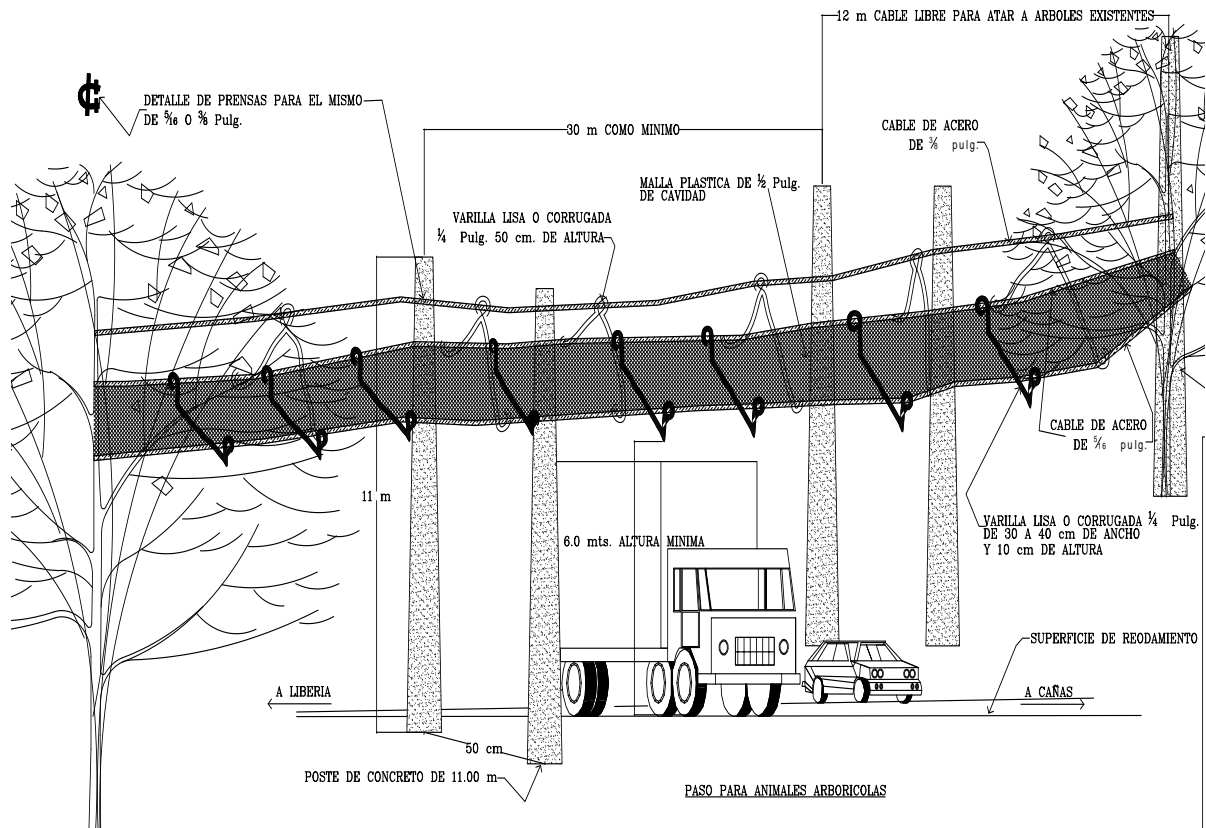


Figura 28. Diseño paso aéreo para Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas - Liberia.  
 Nota: Tomado de MOPT & CONAVI, 2011

En la Ruta Nacional N° 4 el diseño difiere en el soporte utilizado, ya que solo se tiene un poste de concreto en los extremos de la calzada con su respectiva ancla. El cableado también difiere, ya que no se utiliza un soporte de varillas a largo de la malla, sino 3 cables uniendo el cable superior y la malla de manera que forman un triángulo, esto se puede ver en la siguiente Figura 29.



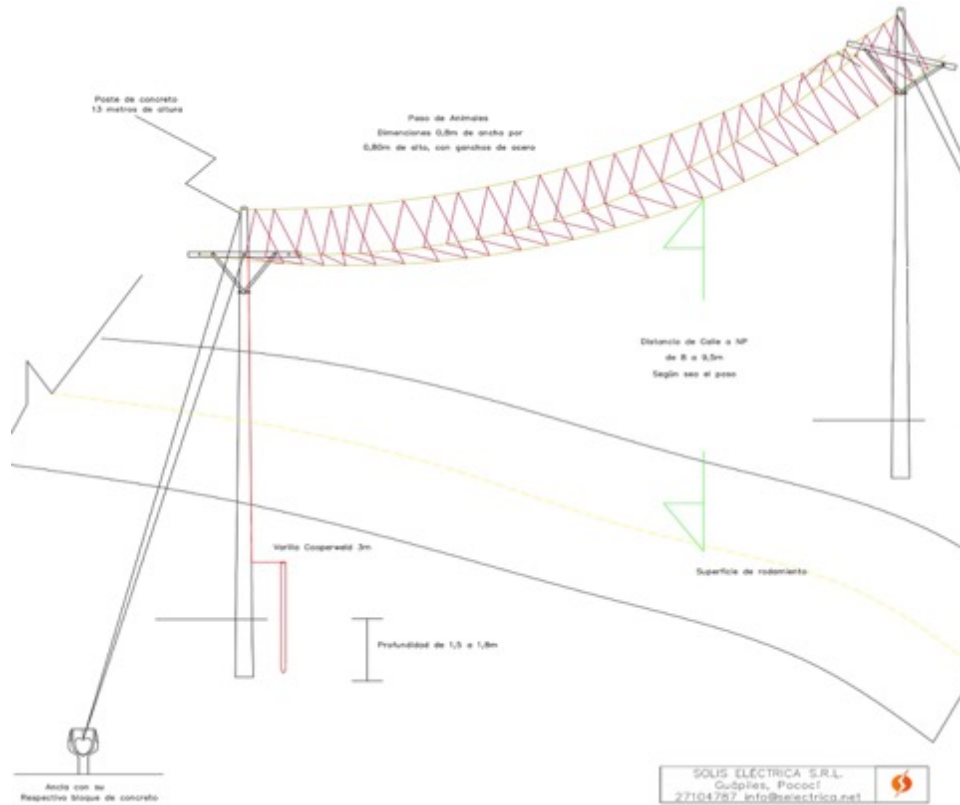


Figura 29. Diseño representativo de paso aéreo de la Ruta Nacional N° 4.  
 Nota: Tomado de PROGAS, MOPT, n.d.

Para la evaluación de las estructuras se considera la efectividad de la estructura en cumplir con el objetivo de ser utilizado como un paso para los animales, la durabilidad de la estructura con respecto a los materiales, el proceso constructivo de la estructura u otros variables como el sonido adentro de las estructuras que puedan afectar el desplazamiento de la fauna.

En las siguientes Figura 30 y Figura 31, se detalla la ubicación e identificación de cada paso utilizada para la evaluación.

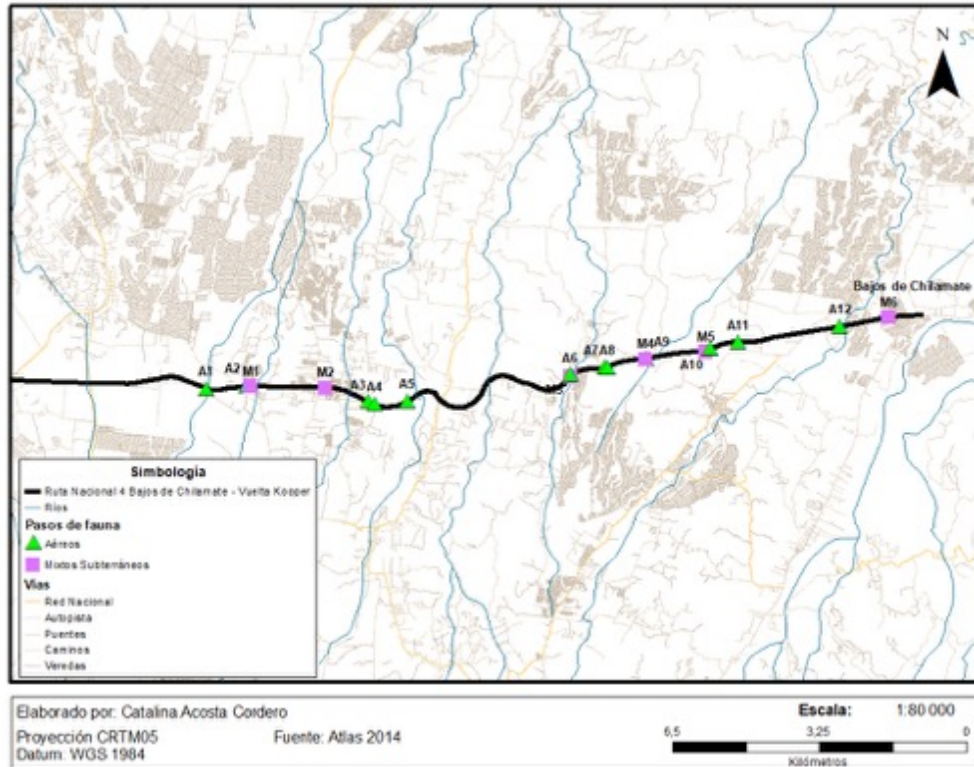


Figura 30. Ubicación y numeración de cada paso de fauna en Ruta Nacional N° 4 Bajos de Chilamate - Vuelta de Kooper

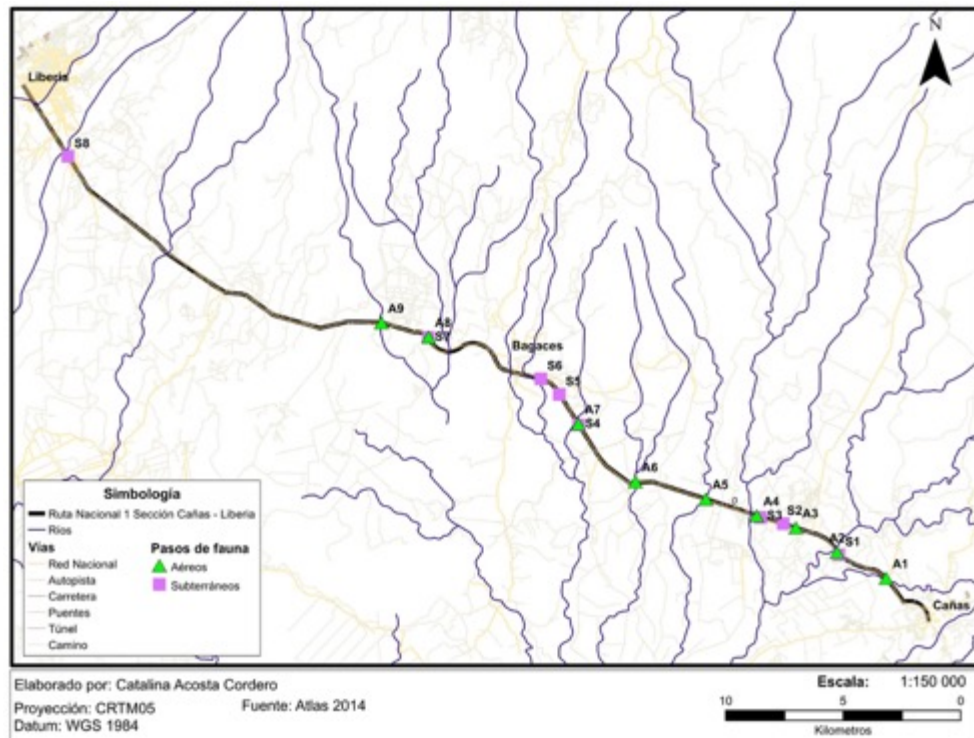


Figura 31. Ubicación y numeración de cada paso de fauna en Ruta Nacional N° 1 Sección Cañas – Liberia.

#### **4.4 Caracterización de las estructuras y la efectividad de uso**

Se determina la efectividad de los pasos, analizando las especies que se han comprobado utilizan las estructuras, mediante investigaciones realizadas por estudiantes de biología u organizaciones en los últimos años. Estas investigaciones se utilizaron de referencia para la presente investigación; las mismas se habían realizado mediante documentación con cámaras trampa y recorridos de campo, con el fin de registrar las especies presentes en las carreteras en estudio y el uso de los pasos de fauna. Adicionalmente, se analizaron las características de cada estructura mediante visitas en sitio y se compararon con las recomendaciones según los manuales existentes para fomentar el uso de estas estructuras de paso por la vida silvestre.

Se realizaron fichas descriptivas donde se detalla las características, dimensiones y registros de fauna en los pasos. Seguidamente, se hace una síntesis de estas fichas ubicadas en el Anexo B por tipo de paso de fauna, destacando lo más relevante a continuación:

##### ***4.4.1 Paso subterráneo mixto (drenaje adaptado con pasarela)***

Los pasos de fauna mixtos con 2-3 secciones tienen pasarelas de 30 cm de ancho. Las cuales se consideran muy angostas ya que no cumplen con el ancho mínimo recomendado de 50 cm estipulado por Clevenger & Huijser, (2011) y MAGRAMA, (2015). Este ancho es recomendado para fomentar el uso del paso por animales de pequeño a mediano tamaño. Si la dimensión es muy angosta puede provocar inseguridad a la fauna y no se van a animar a utilizar la estructura. Las aletas que son extensiones de las pasarelas tienen las mismas dimensiones que inducen el mismo problema. Asimismo, en varios pasos se encontró los accesos obstruidos por vegetación alta. Es importante que haya mantenimiento para que la fauna tenga un acceso claro hacia la entrada del paso ya que en esta carretera no existe un cerramiento o barrera que los guíe hacia el paso y los impida a cruzar la carretera. Las estructuras de drenaje también tenían malezas y escombros en las entradas y partes internas del drenaje lo que puede afectar el cauce y provocar que se inunde debida a la obstrucción, lo que directamente afecta el uso, si las pasarelas se inundan. Por ser una zona agrícola, se encontró en varios pasos accesos a potreros, cercas de púas perimetrales y acceso vehicular. Se recomienda que los pasos se ubiquen lejano a zonas alteradas o transitadas debido a que la actividad humana puede afectar la presencia de la fauna cerca de la zona.

En un estudio de efectividad realizado por Araya (2019), no se encontró registros de fauna utilizando los pasos con 3 secciones y se registraron atropellos en el mismo punto sobre la carretera. Para los pasos con 2 secciones se registró un único avistamiento de la especie toluco, la cual tiene una contextura muy angosta lo que le permite el uso de una pasarela angosta (Araya, 2019).

La pasarela del paso de fauna (M6) de una sección cuadrada es de 40 cm. Igualmente no se cumple los 50 cm recomendados; sin embargo, son 10 cm adicionales que pueden hacer una diferencia para otras especies de mayor tamaño. Esto se vio representativo ya que en el estudio se registró 10 avistamientos por la especie *Procyon lotor* conocido como el mapache (Araya, 2019). Adicionalmente la aleta para acceder a la pasarela es de 2 metros lo cual es una gran diferencia a las aletas de las otras estructuras de 5 – 7 metros. El recorrido de entrada a salida del paso debe ser el más corto posible incluyendo las pasarelas y las aletas. Esto también reduciría costos dado que se necesitaría menos material.

#### **4.4.2 Paso subterráneo exclusivo**

Los pasos en estudio (Ruta Nacional N° 1) tienen un ancho y altura de 1,2 - 1,5 metros por lo cual se consideran adecuados para mamíferos pequeños y medianos (se recomienda un mínimo de 1,2 m). Esto concuerda con los resultados del estudio biológico realizado por Robledo (2016). En este estudio se registraron 83 avistamientos de vida silvestre, un 89% de mamíferos de tamaño mediano y 1% por mamíferos de tamaño grande (Robledo, 2016). Todos los pasos tuvieron registros de mamíferos y la mayoría obtuvieron 5 – 12 mamíferos utilizando el paso. Adicionalmente, se encontró evidencia de uso dentro de algunos pasos con presencia de huellas (S3 y S8). Las estructuras tienen como complemento una malla perimetral iniciando en la entrada del paso y extendiéndose lateralmente hacia el bosque. Estas mallas se encuentran en ambos lados de la carretera, las cuales guían los animales hacia el paso y evitan que intenten desplazarse por la carretera.

En el estudio realizado por Arévalo-Huezo (2015), se registraron 671 atropellos de 55 especies en la Ruta Nacional N° 1 en un periodo de 7 meses. Durante este estudio, todavía no existía la colocación de los pasos de fauna en esta ruta. En la investigación de Robledo (2016) mencionado anteriormente, se registraron 291 atropellos durante un periodo igual de 7 meses. Se puede

observar claramente una gran disminución en este número después de la construcción de las estructuras.

#### **4.4.3 Paso aéreo**

Los pasos aéreos de ambas rutas (Ruta Nacional N° 1 y N° 4) tienen un diseño similar; sin embargo, tienen algunas características diferentes como su largo. Esto debido a que la carretera de Ruta N° 4 solo tiene un carril por sentido y la Ruta N°1 tiene dos carriles por sentido. Adicionalmente, los pasos aéreos de la Ruta Cañas – Liberia están alejados del bosque, por lo que la fauna debe recorrer una distancia aún más larga para cruzar al otro lado. El largo de esta estructura también puede comprometer la estabilidad, ya que los únicos apoyos que la malla tiene están en los extremos. Al ser un material liviano sin apoyos adicionales, la rigidez puede ser afectada por factores climáticos como el viento o el efecto dinámico por los mismos vehículos pesados que transitan debajo de la estructura. Esto se ha documentado en video por Vías Amigables de la Vida Silvestre CR (2019) y también se ha observado en las visitas en campo. En el video se observa el animal tratando de cruzar y parando varias veces en el paso cuando los camiones pasaban, para que la estructura se estabilice. Para minimizar esta inestabilidad se recomendaría un cambio al diseño con otro tipo de apoyo cuando sea de pasos largos.

En el estudio realizado por Araya (2019) se monitorearon 6 de los 12 pasos de fauna en la Ruta N° 1, se obtuvo 122 registros de 6 especies de mamíferos utilizando las estructuras. Los pasos que tuvieron más presencia tienen la característica que están ubicados menos de 2 metros del bosque y hasta presentan conectividad con el mismo (enredaderas de los árboles conectando a la estructura). En el caso de los pasos para la Ruta N°1, el estudio realizado por Lavalle (2019) se monitorearon los 9 pasos aéreos por 54 días y se obtuvo únicamente un registro de cuatro individuos de la especie mono cariblanco. Adicionalmente, se registraron 9 atropellos de animales arbóreos a una distancia menor de los 500 metros de algunos pasos de fauna (Lavalle, 2019).

#### **4.5 Evaluación de la durabilidad de las estructuras**

La durabilidad se evalúa analizando el estado actual de las estructuras y como se han mantenido durante los años desde que se construyeron. Se registraron, durante las visitas en campo, los materiales y sus condiciones, lo cual es parte del análisis. Los detalles de estas estructuras se pueden observar en la Figura 28 y Figura 29.

Los materiales utilizados para la estructura de la Ruta N° 4 consiste en:

- cable de acero recubierto
- marcos en varillas #2 con pintura anticorrosiva
- malla ciclónica de PVC, con huecos de 2" x 2" resistente a la intemperie.
- sogas (mecate de polietileno, con fibras resistente a la intemperie y desgaste (25.4 de grosor)
- postes de concreto de 13 metros de altura aterrizados y enterrados a una profundidad de 1,5 – 1,8 metros.

Los materiales como pernos, herrajes, cruceros, separadores y los triángulos de hierro son galvanizados en caliente para mayor durabilidad y requiere bajo mantenimiento (Selectrica, n.d). Adicionalmente los pasos cuentan con un sistema de desenganche que soporta un peso hasta los 50 kg. Esto con el fin de evitar que ante cualquier situación que se caiga partes del árbol, no se vea afectada la estructura.

En la Ruta N° 1 se utilizaron los siguientes materiales:

- cable de acero de 3/8" y prensas
- malla plástica de 1/2 pulgada de cavidad
- varillas lisas o corrugada #2
- postes de concreto de 11 metros de altura a 50 cm de distancia
- mecate para amarre de la malla y alambre negro

En el siguiente cuadro se puede observar el estado de cada estructura durante las visitas, estos pasos tienen 4 - 5 años de funcionamiento. Las estructuras de la Ruta N° 4 se instalaron entre los años 2015-2016 y las de la Ruta N° 1 en el 2016. Se observaron las siguientes variables: la condición de la estructura, presencia de materiales deficientes/rotos y la conectividad de la estructura al bosque (promueve la adaptación al hábitat).

Cuadro 3. Estado de las estructuras de los pasos de fauna aéreos en las secciones de carretera Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper (Ruta N° 4) y Cañas – Liberia (Ruta N° 1)

<b>Ruta N° 4</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>	<b>A7</b>	<b>A8</b>	<b>A9</b>	<b>A10</b>	<b>A11</b>	<b>A12</b>
Condición de estructura	✓	✓	✓	✓	✓	X 3 rotos	X 5 rotos	X 4 rotos	✓	✓	X 8 rotos	✓
Conectividad (enredaderas)	Sí	-	-	-	-	-	-	Sí	-	Sí	-	Sí
<b>Ruta N° 1</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>	<b>A7</b>	<b>A8</b>	<b>A9</b>			
Condición de malla	✓	✓	✓	Malla rota	✓	✓	✓	Huecos en malla	Malla rota y huecos			
Condición de cable	✓	✓	Cable superior suelto	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Conectividad (enredaderas)	-	-	-	-	-	-	-	Sí, de un lado	-	-		

Simbología: ✓: buen estado X: mal estado

En general, se puede observar que las estructuras de la Ruta N° 4 tienen deficiencias en el cableado triangular (marcos en varillas #3) y las de la Ruta N° 1 tienen deficiencias en la malla plástica. Entre 1 – 5 cables rotos no se consideran tan grave, ya que en la estructura se determinó que tiene aproximadamente 20 marcos dependiendo de su largo (con un distanciamiento de 1,2 metros entre cada triángulo). Sin embargo, la estructura todavía no tiene mucho tiempo desde su instalación y al romperse más cables del marco se puede perder estabilidad en la estructura y afectará directamente el uso y seguridad de la fauna. En el caso de la malla rota, esto se considera más grave, ya que, si se rompe completamente, como se ve en la Figura 32, es un gran peligro para la fauna transitándolo y los conductores debajo del paso.

En la Figura 32 se puede observar fotografías tomadas de las condiciones de las estructuras aéreas durante las visitas en campo.



Figura 32. Paso A11 de la Ruta N° 4 con 8 triángulos rotos y paso A9 de la Ruta N° 1 con la malla rota

De igual forma se analizó si existía conectividad entre el área boscosa y la estructura, la cual se comentó anteriormente en la caracterización de cada estructura. En el caso de la Ruta N° 4, 4 de las 12 estructuras aéreas presentaron conectividad de vegetación, estos pasos también obtuvieron la mayor cantidad de registros monitoreados (Araya, 2019). Para el caso de la Ruta N° 1, solo un paso tenía un tipo de conectividad, pero solo de un lado, ya que el otro lado más bien estaba muy alejado del área boscosa (Figura 33). Al construir estos pasos se recomienda sembrar árboles y vegetación nativa de la zona para fomentar la conectividad del hábitat con las estructuras.



Figura 33. Paso A7 con presencia de conectividad en un extremo de la estructura

En el caso de los pasos subterráneos exclusivos están compuestos por concreto colado y concreto prefabricado. Para el caso de los pasos mixtos (Ruta N° 4), las pasarelas fueron coladas después de la construcción de las estructuras de drenaje. Por ser parte de un drenaje están expuestos constantemente al paso de las aguas que depende de varios factores (ubicación, clima,



obstrucciones, entre otros). Este concreto debe ser impermeable y hermético para que sea una estructura duradera. La visita en sitio se realizó a finales de junio 2019, y se observó que el nivel de agua pasando por la mayoría de los drenajes se considera de bajo caudal.

En el caso del paso M1 ambas pasarelas se encontraban completamente saturadas en la parte interna del drenaje, se encontró una gran obstrucción de escombros de troncos y ramas en la entrada de la alcantarilla. Esto puede alterar el nivel del cauce, se debe dar mantenimiento para prevenir este tipo de alteraciones, ya que puede afectar directamente el uso de la pasarela y la condición del concreto.

La mayoría de las pasarelas (M3, M2 y M6) están selladas en sus laterales por una pasta y se puede observar hongos a los lados donde seguramente llega el agua constantemente, aproximadamente a 15-20 cm de altura, se puede observar en la Figura 34.



Figura 34. Condición interna lateral de las pasarelas

En el paso M4 se pudo observar en las paredes del drenaje pequeñas fisuras donde se puede observar humedad. En esta sección la pasarela se encontraba saturada. Lo que puede afectar la condición del concreto a futuro si se sigue exudando por la pared. En esta sección de drenaje se encontraron residuos de concreto adentro y en la salida del drenaje obstruyendo el flujo del agua, lo cual pudo haber ocurrido durante la construcción y no sé desecho apropiadamente. En grandes cantidades esto puede llegar a obstruir el flujo del cauce.



Figura 35. Condición interna del paso M4

En el paso M5 se pudo observar humedad en las esquinas de las entradas desde arriba (cielo de la estructura) hasta abajo y a lo largo de la pared. Las pasarelas de acceso (afuera de la estructura) si estaban completamente humedecidas ya que tienen otros drenajes de la carretera vertiéndose y atravesando las mismas. Esto se puede observar en la Figura 36 lo que puede afectar el uso por la fauna ya que pasa constantemente escurriendo agua cortando la pasarela.



Figura 36. Alcantarillas cortan las pasarelas de acceso en el paso M5

Para el caso de los pasos subterráneos de la sección Cañas – Liberia, estos son estructuras cuadradas de concreto destinadas únicamente para el paso de la fauna. Durante la visita que se realizó en julio 2019, no se encontró ningún daño físico/mecánico en estas estructuras como fisuras o grietas, ni químicas como algún tipo de corrosión o retención de humedad. La mayoría se encontraban completamente secas internamente con excepción del paso S6, que se encontró barro con señas de movimiento de agua, lo que se deduce que se está drenando agua y arrastrando sedimentos adentro de la estructura. Igualmente, en otras estructuras se encontró tierra seca y vegetación; sin embargo, esto es una recomendación para el uso de la fauna y no afecta la durabilidad de la estructura.

En este proyecto, todos los pasos de fauna tienen un cerramiento de malla en ambos lados de la carretera, estos también se encontraban en buena condición con un largo de 40 m a 90 m. El único paso que solo tenía una malla de un lado de la carretera era el S6, que posiblemente pudo ser sustraída.

#### **4.6 Evaluación del nivel sonoro en las estructuras**

El ruido generado por la actividad humana ha incrementado debido al crecimiento de población, infraestructura y transporte de recursos. En las últimas décadas se han investigado el impacto que tiene el ruido en los animales, ya que existe una relación entre las reacciones biológicas y la percepción del sonido. Esto es importante medirlo debido a que el sonido se puede percibir como una amenaza, si una estructura presenta un sonido que provoca una reacción negativa hacia el animal, el animal no se va a acercar y utilizarlo.

Para cada estructura en análisis se midió el nivel sonoro percibido, en decibeles (dBA), para obtener una medición de ruido en los alrededores del paso. Se realizaron las mediciones a una altura de 1 m en las entradas de cada estructura. Se realizaron 10 mediciones por paso, una cada minuto por 10 minutos, entre las horas de la mañana 9:00-11:00 y de la tarde 12:30-16:30. Los horarios de medición se escogieron por comodidad y disponibilidad. Este método se tomó de una investigación realizada para determinar los efectos del ruido del tráfico en especies de aves tropicales en Alajuela (Arévalo & Newhard 2011).

Seguidamente se presenta los resultados de niveles de sonido medidos adentro de los pasos de fauna subterráneos y mixtos.

Cuadro 4. Nivel de sonido registrado adentro de los pasos de fauna en las secciones de carretera Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper (Ruta N° 4) y Cañas – Liberia (Ruta N° 1)

<b>Ruta N° 4</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>		
Promedio (dBA)	76	63	70	67	68	52		
Mínimo (dBA)	74	61	69	64	66	45		
Máximo (dBA)	78	70	71	70	75	67		
<b>Ruta N° 1</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>	<b>S8</b>
Promedio (dBA)	68	55	52	47	53	54	53	54
Mínimo (dBA)	63	52	45	39	46	48	41	44
Máximo (dBA)	84	60	63	56	63	65	65	61

Con estas mediciones se calculó un promedio total de la sección Cañas – Liberia de 55 dBA y un máximo de 65 dBA. Lo cual difiere a las mediciones de la sección Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper con un promedio de 66 dBA y un máximo de 72 dBA. La generación del ruido por tránsito vehicular de una carretera puede depender de varios factores como la rodadura y el ruido motor, número de vehículos, la forma de conducción, entre otros (Lopez & Rangel, 2014). En este caso el porcentaje de tráfico pesado que ambas carreteras tienen es de 23 - 24%, se consideran camiones tipo C2, C3, C4, C5+ de la clasificación del Anuario de información de Tránsito del MOPT (Zúñiga B., 2018). El ruido motor es relevante en vehículos pesados y aumenta con los años de uso del vehículo, por lo que puede afectar la emisión sonora en estos casos, ya que el porcentaje de pesados en estas carreteras es significativo. Adicionalmente, la superficie de rodamiento en la Ruta N° 4 es de pavimento flexible y la Ruta N° 1 es de pavimento rígido (MOPT, 2017). En estudios realizado se ha determinado que en carreteras con pavimentos rígidos (concreto hidráulico) presentan niveles superiores a los registrados en carreteras cuyos recubrimientos son de pavimentos flexibles (carpetas asfálticas) (Lopez & Rangel, 2014). En el caso de la Ruta N° 4 se generó más ruido que la Ruta N° 1, a pesar de ser de pavimento flexible. Esto puede ser debido a la distribución de vehículos pesados, para el 2019 se estima 1620 vehículos pesados en la Ruta N° 4 de 2 carriles (810 vehículos por carril) y 2350 vehículos pesados en la Ruta N° 1 de 4 carriles (586 carriles por carril). Existe evidencia de aumento de estrés con niveles sonora entre 52 – 68 dBA en mamíferos terrestres (Shannon, et. al, 2015). La emisión sonora generada por el tránsito vehicular de las carreteras puede afectar el uso de los pasos de fauna. Según Clevenger

& Huijser (2011) se puede reducir el sonido generado con la instalación de vegetación densa, paredes amortiguadoras u otras barreras.

#### **4.7 Proceso constructivo de las estructuras**

Antes, durante y después de la corta de vegetación, se aplica el protocolo para el manejo de vegetación y el protocolo manejo de fauna, con la finalidad de proteger, ahuyentar, rescatar y relocalizar la fauna silvestre (CCVWS, 2015). También se coordinan inducciones para los trabajadores sobre la prohibición de caza y extracción de la fauna. Se debe implementar el Plan de Compensación y Mitigación Forestal, con el objeto de compensar la pérdida de individuos removidos por la ejecución de obra.

Adicionalmente el desarrollador (MOPT-CONAVI), en los términos contractuales solicita la colocación de pasos aéreos temporales, con el propósito de que no se interrumpa la conectividad, posterior a la corta de vegetación (Calvo, comunicación personal, 5 de marzo 2020). Sin embargo, en algunos casos no se implementan los temporales por diferentes situaciones, por ejemplo: obras constructivas no lo permiten, no se cuenta con permisos para las conectividades, no fue contemplado el costo, porque el derecho de vía quedo desprovisto de vegetación, entre otros. Igualmente, se solicita que los definitivos se construyan e instalen lo más pronto posible en la programación constructiva, con el fin de que las especies arborícolas se adapten a estas infraestructuras. Sin embargo, usualmente se colocan en la última fase constructiva (Calvo, comunicación personal, 5 de marzo 2020).

Se realizaron entrevistas a ingenieros y profesionales que han participado en la construcción de los pasos de fauna en el país. De estas entrevistas se recopiló información para entender el proceso constructivo de los pasos de fauna.

Para la construcción e instalación de un paso de fauna aéreo se debe considerar los siguientes puntos.

1. Tiempo estimado para la construcción/instalación: 1 semana
2. Equipo requerido (Solís, comunicación personal, 30 de abril 2020).
  - a. Grúa con canasta
  - b. Bob Cat con broca

- c. Herramienta de Liniero para Media Tensión
3. Mano de obra: 4 personas necesarias
4. Tipos de materiales usados (Moya, comunicación personal, 11 de agosto 2020)
  - d. Cable acero 3/8 clase "B" resistente a la intemperie
  - e. Cruceros 1.2 m Norma ICE, pernos, arandelas curvadas, alambre de atar, remates preformados.
  - f. Postes de concreto, fondos para poste, varillas cooperWeld
  - g. Grapas puestas a tierra, cable THHN 1/0 AWG, conector de compresión aluminio-cobre, malla de acero/ciclónica de PVC
  - h. Tiroleras de mecate nylon 1" por seguridad
  - i. Todos los equipos metálicos galvanizados en caliente.
5. Complicaciones  
Las alturas desde el suelo al sistema y el acceso a los bordes de la servidumbre.

Para la construcción e instalación de un paso de fauna subterráneo se debe considerar los siguientes puntos.

1. Tipos de materiales usados
  - a. Cajón estructura de concreto  
Los cajones se pueden colar en sitio o se puede utilizar elementos prefabricados.  
El concreto utilizado debe tener las especificaciones según ASTM y ACI.
  - b. Material para gaviones (malla para canastas, sujetadores permanentes, alambres internos de conexión, roca para gaviones, relleno estructural, geotextil)
2. Complicaciones  
Si el terreno es muy plano los pasos de fauna se pueden inundar en temporadas de lluvia, que afectaría directamente el uso por los animales.

Observaciones y comentarios de la construcción de los pasos de fauna:

- Se han observado malas prácticas constructivas por parte de constructoras que no tienen experiencia en la construcción de los pasos de fauna (Solís, comunicación personal, 30 de abril 2020).

- Existen sistemas realizados sin suprimir la electricidad estática (lo que inhibe el paso de los animales, por el voltaje que se crea con la humedad), materiales de mala calidad.
- Las constructoras tienden a subir el precio de manera desmedida.
- Usar única y exclusivamente, materiales galvanizados en caliente, que cumplan la norma ASTM A123.
- Diseño de la carretera puede afectar la colocación/construcción posterior de los pasos de fauna, por eso es importante planificar las ubicaciones de los pasos para hacer las acomodaciones necesarias.

Con la información recomendada estudiada se resume en el siguiente cuadro las dimensiones recomendadas según el tipo de paso de fauna.

Cuadro 5. Dimensiones de pasos de fauna recomendadas

Tipo de paso	Uso	Grupos de fauna	Dimensiones del paso
Paso aéreo entre árboles	Específico para la fauna	Mamíferos arborícolas	Ancho mínimo de 30 cm
Paso inferior exclusivo para grandes mamíferos	Específico para la fauna	Mamíferos grandes	12 x 4,5 m
Paso inferior exclusivo para pequeños vertebrados	Específico para la fauna	Vertebrados pequeños	2 x 2 m
Drenaje adaptado	Drenaje y paso de fauna	Vertebrados pequeños	Ancho mínimo de 50 cm

Nota: Con base en Clevenger & Huijser (2011) y MAGRAMA (2015)

#### 4.8 Estimación de costos

##### 1. Pasarela para convertir alcantarilla a un paso mixto

El costo de una pasarela de la longitud típica (20 m – 40 m) para una carretera de dos carriles como el caso de los pasos en la Ruta N° 4 sería entre \$ 450 - \$950 (CEMEX, 2020). Si se mantiene la altura utilizada en estas estructuras de 0,40 m y se cambia el ancho al mínimo recomendado de 0,5 m, se estima un volumen de aproximadamente 4 m<sup>3</sup> – 8 m<sup>3</sup> por pasarela. Cada paso de

fauna tiene 2 pasarelas por lo cual el costo total sería entre ₡500.000 - ₡1.1 millones por paso de fauna mixto.

## 2. Paso subterráneo exclusivo

Los ocho pasos inferiores tipo alcantarilla de cuadro que fueron construidos en Ruta N° 1 tuvo un costo estimado de ₡47.898.839,75, por lo que cada paso costaría aproximadamente 6 millones de colones (SETENA, 2016).

## 3. Paso aéreo

El costo aproximado para un paso aéreo según la empresa constructora Seléctrica de los pasos del proyecto Bajos de Chilamente – Vuelta de Kooper es de 2.85 millones de colones en los materiales y 1.75 millones de colones para la mano de obra.

Como se mencionó anteriormente la efectividad de una estructura depende de varios factores, en el estudio se analizó el diseño, tamaño y condición de la estructura, los materiales, el nivel sonoro, el proceso constructivo, el costo de la obra, entre otros. La ubicación de los pasos de fauna es un factor clave que se debe establecer antes del proceso constructivo para garantizar el uso y la efectividad. Para el caso de la Ruta N° 1, no se realizaron estudios previos que permitieran conocer con precisión los sitios donde la ruta fuera atravesada por animales silvestres. La colocación de los pasos de fauna se hizo durante la etapa constructiva con base de avistamientos y atropellos. Con estos hallazgos se realizaron la propuesta para los pasos de fauna, lo cual no es lo recomendado por la literatura (Cano G., 2016). Dado esto se puede relacionar al poco uso de los pasos de fauna aéreas en esta ruta, agregando que varias estructuras están alejadas del bosque, causando un recorrido muy largo para la fauna. Adicionalmente, el diseño de esta estructura se encontró muy inestable por el largo de 4 carriles de ancho, a diferencia de la Ruta N° 4 que solo es de 2 carriles de ancho. Los únicos apoyos que la malla tiene están en los extremos y hay evidencia de ser afectada por factores climáticos como el viento o el efecto dinámico por los vehículos pesados que transitan debajo de la estructura (Lavalle & Vías Amigables de la Vida Silvestre CR, 2019). Por otro lado, analizando los materiales, se encontraron deficiencias en la malla del paso que es el elemento principal para el paso seguro de la fauna. En el caso de los pasos aéreos de la Ruta N° 1, fueron más efectivas por la evidencia de fauna en los estudios biológicos de Araya (2019) y durante la inspección se encontraron pocas deficiencias



en los materiales. Una mejora se puede hacer con respecto al nivel sonoro encontrado en la ruta, ya que puede existir una afectación del uso de los pasos de fauna por la emisión sonora generada por el tránsito de vehículos pesados que frecuentan esta carretera.

A diferencia de los pasos aéreos de la Ruta N° 1, los pasos subterráneos resultaron ser más efectivos con la presencia de fauna. Esto puede ser debido a la topografía ya que varios pasos están a nivel con su hábitat y la carretera pasa por encima, lo que facilita para la fauna el acceso a la estructura. Adicionalmente, los pasos tienen mallas perimetrales que guían a la fauna hacia las estructuras e impiden el cruce de la carretera. Esta estructura complementaria no se encontró en los pasos mixtos de la Ruta N° 4, lo que es importante ya que la topografía no tiene las mismas características que la otra ruta. Por otra parte, las pasarelas de los drenajes adaptados de la Ruta N° 4 no tienen las dimensiones y diseño recomendado por la literatura (Clevenger & Huijser, 2011).

## **Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1 Conclusiones**

Se logró identificar el estado del arte respecto a los procedimientos y medidas a seguir para el diseño de pasos de fauna en las carreteras mediante entrevistas realizadas a profesionales con experiencia en la construcción y por medio de información encontrada en prescripciones técnicas realizadas en otros países. Es sumamente importante el estudio previo como el monitoreo y registros de fauna antes del diseño, para conocer el tipo de fauna que se va a ver afectada por el proyecto, para diseñar e implementar las medidas adecuadas para mitigar el impacto y promover el uso.

Luego de analizar los pasos aéreos de las dos carreteras en estudio, se encontraron similitudes entre diseños; sin embargo, se encontraron diferencias entre los materiales y el estado de éstos que pueden afectar significativamente la efectividad de los pasos. La malla ciclónica de PVC 2"x2" de las estructuras de la Ruta N° 4 se encontraron más resistentes ya que fueron instaladas en el 2015 y no se identificó ninguna deficiencia como las rupturas de la malla plástica de 1/2" de la Ruta N° 1. Adicionalmente, las dos carreteras tienen una diferencia de ancho de 2 carriles por lo cual se considera que la Ruta N° 1 con 4 carriles debe tener un diseño más enfocado en la estabilidad de la estructura.

Las estructuras de paso inferior exclusivo de la Ruta N° 1 tenían características favorables para el paso de fauna, como sus dimensiones (ancho de 1,5 metros), estado de material (concreto en buen estado) y estructuras complementarias (presencia de mallas perimetrales en ambos lados). Para el drenaje adaptado para el paso de fauna de la Ruta N° 4 se observó dimensiones no favorables por ser muy angostas para ciertas especies presente y condiciones inadecuadas para una adaptación sencilla al uso del paso. Su efectividad puede mejorar, si se complementara con una malla perimetral que guíe la fauna hacia los pasos y/o la instalación de vegetación densa, paredes amortiguadoras u otras barreras que reduzcan el nivel sonoro del tránsito vehicular pesado.

Se identificó el efecto mitigador del impacto ambiental sobre la fauna producto de la instalación de los pasos de fauna en los corredores analizados. Como efecto mitigador principal en los pasos

de fauna, se busca reducir la cantidad de atropellos sobre estas carreteras mediante el uso de las estructuras para el desplazamiento de los animales. En el caso de la Ruta N° 1 Cañas – Liberia, hay una correlación entre las estructuras de pasos subterráneos y la cantidad de mamíferos terrestres pequeños registrados en estudios biológicos. Se consideran efectivas para disminuir el número de atropellos en la carretera y mantener una conexión entre hábitats, lo cual se considera un efecto mitigante importante. A diferencia de esta ruta, la Ruta N° 4 tuvo un efecto mitigante sobre otro tipo de fauna, los mamíferos arbóreos, y una relación con los pasos de fauna aéreos que se encontraban en mejores condiciones y características que los pasos aéreos de la Ruta N° 1.

Al analizar las estructuras desde un punto costo – efectividad se encontró que, aunque hay formas más sencillas y de menor costo como la inclusión de pasarelas en las estructuras de drenajes, la eficacia es reducida en comparación con los pasos de fauna exclusivos, los cuales representan un mayor costo en el proyecto, pero a largo plazo obtuvo un mejor resultado de efectividad. Sin embargo, como se mencionó en el análisis de las estructuras, se puede hacer una mejora en las dimensiones de las pasarelas, lo cual puede afectar la efectividad del uso, ya que las analizadas tenían dimensiones inadecuadas según las recomendaciones documentadas. También existen otros diseños más económicos, como pasarelas hechas de otro material que no sea concreto chorreado que tiene un costo más alto, que igualmente puede aportar un beneficio a carreteras antiguas que pueden ser adaptadas para el paso de fauna.

En cuanto a la efectividad de los pasos de fauna se puede interpretar de varias formas; ya sea identificando la presencia de fauna utilizando las estructuras o cuantificando la reducción de atropellos o de la mortalidad de fauna en las carreteras. De acuerdo con los resultados de esta investigación, los pasos analizados son efectivos, dado que son utilizados por la fauna; además, para el caso específico de la Ruta Nacional N° 1, se registró una disminución de atropellos (291 atropellos) con la inclusión de los pasos de fauna, en comparación con los atropellos contabilizados (671 atropellos) en años anteriores, donde no se contaba con las estructuras.

## 5.2 Recomendaciones

- Los pasos de fauna no son efectivos por sí solos, sino que dependen de otros elementos y factores para lograr un uso exitoso, como el cerramiento perimetral y el señalamiento vial. Las investigaciones de impacto biológico que se encontraron parecen señalar que el paso inferior de la Ruta N° 1 fueron más efectivos porque se incluyeron mallas perimetrales a lo largo de ambas entradas del paso lo que guía los animales hacia el paso, así evitando el intento de desplazarse por la carretera. Se recomienda incluir este elemento complementario en todos los pasos de fauna inferiores para acelerar el proceso de adaptación y disminuir la cantidad de atropellos.
- La seguridad vial es un elemento importante que puede reforzar el paso de fauna y el proceso de adaptación de los animales para su uso. Ya que las carreteras están cortando corredores biológicos naturales, los animales van a cruzar la carretera hasta que se adapten al uso de las estructuras. Esto resulta en atropellos que peligran los conductores y la fauna. Durante la investigación, se encontró que no había señalamiento adecuado antes de los pasos de fauna (señales atropelladas o señales extraviadas) y en carreteras con tránsito alto no es suficiente como único método. Se recomienda complementar con demarcación horizontal como reductores de velocidad o seguido mantenimiento de señalización.
- Es recomendable incluir guías y protocolos de diseño, construcción, operación y mantenimiento en manuales, como el CR-2010, para que estén a disposición de instituciones como el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), Municipalidades, CONAVI, SETENA u otros consultores para la construcción de pasos de fauna en carreteras.
- Cuando se proponga la construcción de un nuevo paso de fauna, es necesario recopilar información de las condiciones de la fauna, antes y después de la implementación de dicha estructura, de modo que se tengan datos para la toma de decisiones, que permitan determinar la efectividad de los pasos y hacer ajustes en sus diseños, de acuerdo con evidencia.
- Para pasos de fauna existentes, se recomienda el monitoreo y seguimiento, para poder determinar la efectividad de las estructuras, con el fin de identificar oportunidades para mejorar su diseño.

- Para futuros trabajos, se recomienda investigar y proponer diseños de pasos de fauna, adaptados según los diferentes tipos de fauna y las distintas características de las carreteras.
- Se recomienda seguir investigando en la determinación de las relaciones beneficio/costo de distintos tipos de pasos de fauna, para lo cual sería necesario tener en cuenta los costos de las estructuras y cuantificar el beneficio económico por la disminución de atropellos de fauna.

## **Bibliografía**

- Álvarez, C. R. (2015). *Estudio de comparación de procedimientos constructivos de pasos de fauna en carreteras*. Universidad de Cantabria.
- Arévalo E. & Newhard K. (2011). Traffic noise affects forest bird species in a protected tropical forest. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 59 (2): 969-980
- Araya Y. (2019). Efectividad de estructuras para el paso de fauna silvestre en la Ruta Nacional No 4, Bajos de Chilamate – Vuelta Kooper, Costa Rica. Universidad Latina de Costa Rica.
- Arévalo-Huezo E. (2015). Evaluación de la mortalidad de fauna silvestre en la carretera interamericana norte, sección Cañas-Liberia, Guanacaste, Costa Rica. Universidad Nacional, Costa Rica.
- Cano G., C. A. (2016). *Tesina para optar por el grado de: Especialista en vías terrestres*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Clevenger, A., & Huijser, M. (2011). *Wildlife Crossing Structure Handbook Design and Evaluation in North America*. FHWA-CFL/TD-11-003. Western Transportation Institute.
- Comité Científico de la Comisión Vías y Vida Silvestre (CCCVVS). (2015). *Medidas Ambientales para Vías Amigables con la Vida Silvestre*. Costa Rica.
- Cruz, N. (2019). Curso de Impacto Ambiental. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.
- Decreto N° 31849 (2004). Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). La Gaceta N° 125. 28 de junio del 2004.
- Decreto N° 32079 (2004). Manual de Instrumentos Técnicos para el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (Manual de EIA) - Parte I. La Gaceta 11 de mayo del 2004.
- Decreto N° 32712 (2005). Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) – Parte II. La Gaceta N° 223. 18 de noviembre del 2005.

Decreto N° 34624 - MOPT (2008). Reglamento Sobre el Manejo, Normalización y Responsabilidad para la Inversión Pública en la Red Vial Cantonal. La Gaceta N° 138 del 17 de julio del 2008.

Dirección de Relaciones Públicas. (2016). MOPT próximo a adjudicar para ampliar y rehabilitar Ruta Nacional N° 1. Ministerio de Obras Públicas.

Forman, R.T.T. and Deblinger, R.D. (2000) The Ecological Road-Effect Zone of a Massachusetts (U.S.A.) Suburban Highway. *Conservation Biology*, 14, 36-46. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99088.x>

Gutiérrez, D. (2017). Evaluación del riesgo de las carreteras nacionales para la fauna silvestre y el uso de ciencia ciudadana como herramienta para el monitoreo de fauna silvestre atropellada en Costa Rica. <https://www.nacion.com/el-pais/entre-canas-y-liberia-mueren-4-animales-atropellados-por-kilometro/LTQO7WWL4JALPI2B6AJBZ7DKEY/story/>

Intermodal Surface Transportation Efficiency Act OF 1991 (ISTEA), 102 Congress (1991).

Iuell, B., Bekker, H., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., ... Wandall, B. la M. (2005). *Fauna y Tráfico: Manual europea para la identificación de conflictos y el diseño de soluciones*.

LanammeUCR. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010)*. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>

Lavalle V., M. (2019). Efectividad de pasos arbóreos en la carretera Interamericana Norte, Sector Cañas – Liberia. Costa Rica. Universidad Latina de Costa Rica.

Ley de Conservación de la Naturaleza, BOE N° 179 (1999). Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha.

Ley de Conservación de la Vida Silvestre, N° 7317 (1998). La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Ley Orgánica del Ambiente, N° 7554 (1995). La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Ley de Biodiversidad, N° 7788 (1998). La Gaceta N° 101.

Ley de Simplificación y Eficiencia Tributarias, N° 8114 (2001). La Gaceta N° 131.

López G., & Rangel, D. (2014). Comparativa de mediciones de ruido generado en carreteras con carpeta de pavimento rígido vs pavimento flexible. *División de Laboratorios de Infraestructura: Grupo Mecánica de Suelos y Materiales Granulares*. Instituto Mexicano del Transporte. México.

Menacho O., R. M., & Pomareda, E. (2013). Por vías amigables para la fauna silvestre en Costa Rica. *Memoria I Simposio Ecología de Caminos*. Sabanilla Montes de la Oca: UNED.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). 2015. Prescripciones técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales (segunda edición, revisada y ampliada). Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transportes, número 1. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 139 pp. Madrid.

Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO). (1992). Red Natura 2000. Directiva 92/43/CEE. Unión Europea.

MOPT. (2018). *Pasos de Fauna*. Obtenido de Proceso de Gestión Ambiental y Social.

Obando, V. (2002). Diversidad en Costa Rica. Estado del conocimiento y gestión. 1er edición. Instituto Nacional de Biodiversidad, Santo Domingo, Costa Rica.

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

Quintero, J. (s.f.). A Guide to good practices for Environmentally Friendly Roads. The Nature Conservancy Council. Inter – American Development Bank.



Robledo, A. (2016). Evaluación del uso de pasos de fauna silvestres y alcantarillas en la carretera interamericana norte, sección cañas-liberia, Guanacaste, Costa Rica.

Safe, Accountable, Flexible, Efficient Transportation Equity Act (SAFETEA-LU), Pub.L. 109–59 (2005).

SETENA. (2016). Informe de Regencia Ambiental. Fase Constructiva Proyecto: Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional 1. Carretera Interamericana Norte, Sección Cañas - Liberia Expediente Administrativo No. D1-264-2009-SETENA

Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Fristrup, K. M., Brown, E., Warner, K. A., Nelson, M. D., White, C., Briggs, J., McFarland, S., & Wittemyer, G. (2016). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 91(4), 982–1005. <https://doi.org/10.1111/brv.12207>

SINAC. (2018). *Vida Silvestre*. Obtenido de Sistema Nacional de Áreas de Conservación Costa Rica: <http://www.sinac.go.cr/ES/visasilves/Paginas/default.aspx>

Soto, M. (28 de octubre de 2013). *Entre Cañas y Liberia mueren 4 animales atropellados por kilómetro*. Obtenido de La Nación.

Transportation Efficiency Act of the 21st Century (TEA-21), Pub. L. No. 105 - 178 (1998).

Torres, M. L. (2011). Funcionalidad de estructuras subterráneas como pasos de fauna en la carretera Interamericana Norte que cruza el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica, 134. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8958e/A8958e.pdf>



Trombulak, S.C. and Frissell, C.A. (2000), Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities. *Conservation Biology*, 14: 18-30. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>


Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, (28), 409-423.




Zuñiga B., J. C. (2018). *Anuario de Información de Tránsito 2017*. Secretaría de Planificación Sectorial Proceso de Planificación Estratégica Multimodal de Servicios de Infraestructura y de Transporte.

## Anexos

### Anexo A Fichas de levantamiento de campo en las Rutas Nacional N° 1 y N° 4

Carretera: Ruta Nacional 4: Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper				
# Paso	A1	M1	M2	A5
Tipo de Paso	Aéreo	Mixto – Drenaje 	Mixto – Drenaje 	Aéreo
Ancho (m)	-	3,7	3,7	
Largo (m)	38 poste a poste	31,5	22	30
Altura (m)	9,3	3,6	3,6	10,4
Tipos de materiales	Poste prefabricado Malla verde Acero galvanizado	Concreto chorreado	Concreto chorreado	Poste prefabricado verde Acero galvanizado
Pasarela (si aplica) - Ancho - Altura - Material	N/A	Pasarela de ambos lados, en bordes exteriores  0,3 m 0,35 m  Concreto chorreado	Pasarela de ambos lados, bordes exteriores  0,3 m 0,45 m  Concreto chorreado	N/A
Descripción/ Condición física	No hay iluminación cerca del paso  5 tirolesas	Drenaje con 3 entradas, actualmente con agua pasando	Drenaje con 2 entradas, actualmente con agua pasando  Se pudo observar huellas en el paso	No hay iluminación Ubicado al borde del río
Vegetación	Vegetación cercana a paso 1-2 m, mayor conectividad, vegetación se ha formado encima del mismo paso	Vegetación a 10 m del drenaje y los accesos por pasarela llegan a vegetación	Vegetación a 18,5 m del drenaje. Un lado con poca cobertura alrededor del paso, muy descubierto, zacate corto, Otro lado con zacate mas extenso, pero igualmente lejos de bosque 14 m.	Vegetación a 2 m
Señalización	Vertical 100 m antes	Vertical 100 m antes		Vertical 200 m antes
Nivel de ruido promedio	N/A	76.02 dbA	63.08 dbA	N/A
Barandas o Mallas		No tiene ningún tipo de malla	No tiene ningún tipo de malla	N/A

Carretera: Ruta Nacional 4: Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper				
# Paso	M3	A6	A8	A8
Tipo de Paso	Mixto – Drenaje 	Aéreo	Aéreo	Aéreo
Ancho (m)	3,7			
Largo (m)	40	35,8 poste a poste	38 poste a poste	38 poste a poste
Altura (m)	3,6	9,7	9	9,7
Tipos de materiales	Concreto chorreado	Poste prefabricado Malla verde Acero galvanizado	Poste prefabricado Malla verde Acero galvanizado	Poste prefabricado Malla verde Acero galvanizado
Pasarela (si aplica) - Ancho - Altura - Material	Pasarela de ambos lados, bordes exteriores  0,32 m 0,44 m  Concreto chorreado	N/A	N/A	N/A
Descripción/ Condición física	Drenaje con 3 entradas, actualmente con agua pasando	2 aéreos seguidos  Paso lleno de telarañas	Buen estado	Buen estado
Vegetación	Vegetación a 10 m de drenaje, pasarelas tienen bastante cobertura al inicio	Cerca de vegetación	Vegetación cubre casi 1/3 del paso. Parece parte de los arboles y el bosque	A la par del río  Cerca de arboles pero de un lado hay un cultivo de piña a 15 m por lo que está expuesto
Señalización		Vertical 250 m antes		Vertical 100 m  Chocado por vehículo y doblado en el pavimento
Nivel de ruido promedio	70.19 dbA	N/A	N/A	N/A
Barandas o Mallas	No tiene ningún tipo de malla	N/A	N/A	N/A

Carretera: Ruta Nacional 4: Bajos de Chilamate – Vuelta de Kooper			
# Paso	M4	M5	M6
Tipo de Paso	Mixto – Drenaje 	Mixto – Drenaje 	Mixto – Drenaje 
Ancho (m)	3,7	3,7	1,5
Largo (m)	29	39	35
Altura (m)	3,6	2,4	1,5
Tipos de materiales	Concreto chorreado	Concreto chorreado	Concreto chorreado
Pasarela (si aplica) Ancho Altura Material	Pasarela de ambos lados, bordes exteriores 0,32 m  0,4 m  Concreto chorreado	Pasarela de ambos lados, bordes exteriores  0,33 m 0,43 m  Concreto chorreado	Pasarela de ambos lados  0,42 m 0,4 m  Concreto chorreado  2 m de pasarela antes de entrada
Descripción/ Condición física	Drenaje con 2 entradas, con agua pasando. 7,5 m de largo para entrar a drenaje  En un lado se encuentra un potrero  Adentro del drenaje se encontró unas grietas donde se puede ver exceso de humedad  Escombe de concreto adentro de drenaje	Drenaje con 2 entradas, actualmente con agua pasando color anaranjado  4,6 m de pasarela antes de entrada  Un lado tiene acceso vehicular  Y una de las pasarelas es interrumpida por una alcantarilla circular	Drenaje cuadrado, con agua pasando color anaranjado  Pasarela es visiblemente más ancha que el resto
Vegetación	Vegetación a 10 m de drenaje, bastante cobertura al inicio de las pasarelas e incluso encima de las pasarelas	El lado con el camino está completamente descubierto  Otro lado con más cobertura en los accesos de las pasarelas	Drenaje sale a grasslands con altura de 0,5 m y área boscosa está a 56 m
Señalización			
Nivel de ruido promedio	67.27 dbA	68.09 dbA	52.06 dbA
Barandas o Mallas	No tiene ningún tipo de malla	No tiene ningún tipo de malla	No tiene ningún tipo de malla

Carretera: Ruta Nacional 1: Cañas – Liberia					
# Paso	A1	S1	A2	A3	S2
Tipo de Paso	Aéreo	Paso subterráneo	Aéreo	Aéreo	Aéreo
Ancho (m)	-	1,5	-	-	1,5
Largo (m)		31,5	33,9 poste a poste	32 poste a poste	28
Altura (m)		1,5	8,9	8,75	1,5
Tipos de materiales		Concreto colado			Concreto colado
Descripción/ Condición física		Malla de perímetro impidiendo el paso de fauna de un lado		Un lado del paso está lleno de telarañas por dentro	A la par de un drenaje, tenía 10 cm de agua, se encuentra orificios en la estructura
Vegetación		Un lado sale a una propiedad con lago con poca vegetación y el otro a un bosque pero con la malla	9 m de bosque	18 m adicional de malla conectado a un árbol	De un lado vegetación está a 4 m de la entrada del paso con zacate alto y en otra está a 15 m de vegetación, con zacate bajo
Señalización					
Nivel de ruido promedio	N/A	67.82 dbA	N/A	N/A	55.27 dbA
Barandas o Mallas	-	Malla en ambos lados de la carretera 58,5 m total  40 m de un lado del acceso y 18,5 m del otro	-	-	Malla en ambos lados de la carretera 52 m

Carretera: Ruta Nacional 1: Cañas – Liberia				
# Paso	S3	A4	A5	A6
Tipo de Paso	Paso subterráneo	Aéreo	Aéreo	Aéreo
Ancho (m)	1,5			
Largo (m)	20	35	33	34,4
Altura (m)	1,52	7,7	11 m de bajo de puente 10 m sobre calle	9,14
Tipos de materiales	Concreto colado			
Descripción/ Condición física	Gran cantidad de murciélagos adentro		Cerca a puente y río	300 m de puente peatonal
Vegetación	7 m a cerca y bosque 24 m a bosque Zacate 0,5 – 1 m de alto	6,5 m de bosque y monte alto		Directamente a la par de bosque
Señalización				
Nivel de ruido promedio	52.0 dbA	N/A	N/A	N/A
Barandas o Mallas	Malla en ambos lados de la carretera 91 m total 50 m de un lado de la entrada y 41 del otro	-	-	-

Carretera: Ruta Nacional 1: Cañas – Liberia				
# Paso	S4	A7	S5	S6
Tipo de Paso	Paso subterráneo	Aéreo	Paso subterráneo	Paso subterráneo
Ancho (m)	1,5		1,49	1,5
Largo (m)	28,6	19,7	35	35
Altura (m)	1,5	9,5	1,52	1,5
Tipos de materiales	Concreto colado Una sección pequeña de techo prefabricado Gaviones		Concreto colado Una sección pequeña de techo prefabricado Gaviones	Concreto colado
Descripción/ Condición física	Exterior muro de gaviones (2 m de alto o más) Techo en mal estado		Exterior muro de gaviones (2 m de alto o más) Una entrada del paso estaba bloqueada por una malla 2x2 y conectada a una cerca de puas	Actualmente de altura mide 1,16 m por sobre tierra adentro de la estructura  Habían perros de finca cuidando cercano a una de las entradas
Vegetación	300 – 500 m de bosque, surrounded by postizales un lado y 17 m al bosque y matorral	15 m al árbol más cercano, otro lado conectado a vegetación alrededor	Área boscosa alrededor	Área boscosa alrededor, de una lado se encuentra fincas con varias cercas
Señalización (si existe, Qué tipo y distancia del paso)				
Nivel de ruido promedio	47.21 dbA		53.32 dbA	54.44 dbA
Barandas o Mallas	Un lado de la carretera sentido Liberia – San José 95,4 m de largo total		Un lado de la carretera 54 m de largo total Un lado de la malla media 49 m	Malla de 61 m de largo total



Carretera: Ruta Nacional 1: Cañas – Liberia				
# Paso	S7	A8	A9	S8
Tipo de Paso	Paso subterráneo	Aéreo	Aéreo	Paso subterráneo
Ancho (m)	1,5			1,5
Largo (m)	30,5	36	37,7	33,7
Altura (m)	1,472	8,6	10	1,49
Tipos de materiales	Concreto colado	-	-	Concreto colado
Descripción/ Condición física	Ubicada 100 m después de curva	Un lado cerca de alambre	Ubicado al lado del río Aros dañados y malla rota	Cerca del río al lado del puente
Vegetación	Plantas están creciendo adentro de la estructura debido a la tierra que se fue acumulado throughout el paso  Cerca de monte alto de y 9 m a bosque	14,5 m a bosque 6 m a bosque	16 m poste a árbol, otro lado más conectado	Existe vegetación, pero tiene una calle de lastre hacia puente, camino lleno de basura
Señalización (si existe, Qué tipo y distancia del paso)	Si	Si	Si	
Nivel de ruido promedio	53.34 dbA			53.7 dbA
Barandas o Mallas	Malla en ambos lados de la carretera de 99 m de largo total			Malla ambos lados de 58 m de largo total

## Anexo B. Fichas descriptivas y caracterización de las estructuras

Seguidamente se presentan fichas descriptivas de las estructuras de pasos de fauna que fueron analizados en esta investigación.

En cada ficha se detalla:

- Tipo de estructura
- Códigos de los pasos de fauna
- Ubicación
- Descripción de estructura
- Efectividad del paso

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Pasos de fauna</b>	<b>Ubicación</b>
Paso subterráneo mixto (drenaje adaptado con pasarela) 3 secciones cuadradas	M1 M3 Figura 37	Ruta Nacional N° 4
<b>Descripción de estructura</b>		
Dimensiones internas de cada sección: Ancho 3,7 m Altura 3,6 m Longitud: 31,5 -40 Dimensiones pasarelas: Ancho 30 - 32 cm Altura 35 - 44 cm		
<b>Efectividad del paso</b>		
Para estas estructuras no se encontró registro de especies en el periodo de estudio (108 noches trampa) para el paso M1 y se registraron atropellos en el mismo punto sobre la carretera de mamíferos terrestres (Araya, 2019). Por esto se considera que no está siendo efectivo, ya que hay evidencia de animales cruzando mediante la carretera y no por la estructura. Al analizar la estructura M1 en campo hay varios factores que puedan influir en la falta de uso. Se puede observar que las pasarelas son angostas de 30 cm y no cumplen el ancho mínimo recomendado de 0,5 m (Clevenger & Huijser, 2011; MAGRAMA, 2015). Adicionalmente las aletas que tienen el fin de llevar a los animales hacia el paso son de la misma dimensión angosta y la entrada está tapada por vegetación alta. Durante la visita, el paso tenía mucha maleza en las entradas		

de las 3 secciones y las pasarelas estaban recientemente húmedas, por lo que se puede deducir que se inundan debida a la obstrucción, lo que pueda afectar el uso por la fauna.



Figura 37. Paso mixto S1, escombros en entrada de drenaje (izquierda) y modificación de pasarela (derecha).

Para el paso M3 no se obtuvo datos del monitoreo de fauna ya que el equipo fue robado durante el estudio. El paso M3 tiene las mismas dimensiones y características similares, pero no se puede determinar efectividad, ya que no hay suficiente evidencia de paso ni de atropellos en este punto.


Tipo de estructura	Pasos de fauna	Ubicación
Paso subterráneo mixto (drenaje adaptado con pasarela) 2 secciones cuadradas	M2 M4 M5 Figura 37	Ruta Nacional N° 4
<b>Descripción de estructura</b>		
<p>Dimensiones internas de cada sección</p> <p>Ancho: 3,7 m Altura 2,7 – 3,6 m Longitud: 20 – 40 m</p> <p>Dimensiones pasarelas</p> <p>Ancho: 30 - 33 cm</p> <p>Altura: 40 - 45 cm</p>		
<b>Efectividad del paso</b>		
<p>Para el paso M2 el estudio se realizó por 151 noches trampa se registró una especie <i>Eira barbara</i> conocida como el toluuco (Araya, 2019). Adicionalmente durante la visita en campo del paso se observaron huellas en el piso de la alcantarilla. El paso M2 se diferencia de los otros dos por su largo ya que es de 22 m lo cuál es mucho más corto que los de 30 y 40 m, esto puede influir en el uso del paso. Adicionalmente el paso tiene la característica que un lado estaba completamente descubierto, seco y sin vegetación, mientras al otro lado se tenía pasto alto y denso, lo cual puede afectar el desplazamiento de la fauna. La dimensión de esta pasarela es menor que la recomendada 0,5 m, sin embargo, como se puede observar la especie que recorrió el paso tiene una contextura muy angosta lolo que le permite su uso.</p>		
		
<p>Figura 38. Especie fotografiada utilizando la estructura S2. Nota: Tomado de Panthera, 2018.</p>		



Figura 39. Paso mixto S2, entrada descubierta por vegetación (izquierda) y otra entrada con pasto alto y vegetación (derecha)

En el caso del paso M4 solo hubo 21 noches trampa en las cuales no se registró ninguna especie, por lo que no hay evidencia suficiente para determinar si está siendo efectivo. Sin embargo, se analiza la estructura y tiene las mismas características de las estructuras con 3 secciones analizadas previamente. No se cumple el ancho mínimo recomendado y las aletas tienen un largo de 7,5 m en la entrada al paso, lo que puede afectar al animal para que se anime a desplazarse. Adicionalmente de un lado de este paso se encuentra un potrero y una cerca de púas que puede afectar la actividad de la fauna cerca de esta zona. Se recomienda que los pasos se ubiquen lejano a zonas alteradas o transitadas.

Por último, para el paso M5 no se obtuvo resultados de avistamiento, ya que el equipo también fue robado en este sitio. Sin embargo, se detectó factores muy pertinentes que pueden afectar el uso de este paso. En un lado se encuentra un acceso vehicular donde se pudo observar huellas de llantas, el alcantarillado sobre la carretera se desagua en el drenaje directamente al frente del inicio de las pasarelas y otra alcantarilla circular interrumpe la aleta de la pasarela. La actividad humana debe estar lejos de los pasos de fauna, ya que pueden intimidar y alienar que se acerque los animales, especialmente mediante vehículos pasando directamente al frente de la estructura. El desagüe de las otras alcantarillas también puede afectar el uso ya que el propósito de las pasarelas es ser utilizadas por mamíferos que no están adaptados o son afectados por las películas de agua. Al tener este flujo de agua al inicio o en medio de las pasarelas puede dificultar el uso de la vida silvestre.



Figura 40. Ejemplo de acceso vehicular pasando al frente del paso S9 y alcantarillas atravesando las pasarelas.


Tipo de estructura	Pasos de fauna	Ubicación
Paso subterráneo mixto (drenaje adaptado con pasarela) 1 sección cuadrada	M6 Figura 37	Ruta Nacional Nº 4
<b>Descripción de estructura</b>		
<p>Dimensiones internas de cada sección Ancho: 1,5 m Altura: 1,5 Longitud: 35 m</p> <p>Dimensiones pasarelas Ancho: 42 cm Altura: 40 cm</p>		
<b>Efectividad del paso</b>		
<p>Para el paso M6 se realizó el estudio por 144 noches trampa en las cuales hubo 10 registros de la especie <i>Procyon lotor</i> conocido como el mapache (Araya, 2019). Esta estructura se diferencia a las otras ya que es de una sola sección cuadrada de menor tamaño, pero con pasarelas más anchas de 40 cm. Igualmente no cumple los 50 cm, pero son 10 cm adicionales que pueden hacer una diferencia para otras especies de mayor tamaño. La aleta de esta estructura es de 2 m y ambos lados están rodeado por pastos altos, la zona boscosa si se encuentra lejana a más de 50 m.</p>		
		
<p>Figura 41. Especie fotografiada utilizando la estructura S12. Nota: Tomado de Panthera, 2018.</p>		



Figura 42. Paso mixto S12 y su exterior

Tipo de estructura	Pasos de fauna	Ubicación
Paso subterráneo exclusivo	S1-S8 Figura 31	Ruta Nacional N° 1
<b>Descripción de estructura</b>		
Dimensiones internas de cada sección Ancho: 1,5 m Altura 1,5 m Longitud: 20 – 35 m		
<b>Efectividad del paso</b>		
<p>Según el estudio realizado por Alejandra Robledo (octubre 2015 y abril, 2016) se registraron 83 rastros de vida silvestre, un 93% corresponde a mamíferos (16 especies) y 7% reptiles (1 especie) utilizando los pasos de fauna (Robledo, 2016). Entre los mamíferos registrados 89% está representado por mamíferos de tamaño mediano y 1% por mamíferos de tamaño grande, eso concuerda con las dimensiones de la estructura que son adecuadas para mamíferos pequeños y medianos (mínimo 1,2 - 2 m). La mayoría de los pasos tuvieron registros de 5 – 12 mamíferos, con excepción del paso S4 con únicamente 2 registros y el paso S1 con 21 registros. Todas las estructuras tienen las mismas dimensiones, varían en longitud y los factores de vegetación ya que algunos tienen acceso cercano al bosque, otros a fincas o pastos con poca vegetación.</p>		
<p><b>Paso S1:</b> Está ubicado cerca del Centro de Rescates las Pumas y el Río Corobicí, tiene la característica de tener el bosque a unos 5 m de la malla perimetral iniciando en la entrada del paso y extendiéndose lateralmente por un total de 60 m. Esto ayuda a guiar los animales hacia el paso y evitar que intenten desplazarse por la carretera. Durante la visita en campo se observó que, aunque existe esta zona boscosa tenía colocada una cerca (no se conoce si se colocó antes o después del estudio) lo que puede afectar el desplazamiento a futuro del tipo de fauna</p>		



de mayor tamaño. En este paso se registraron el garrobo, oso hormiguero, guatusa y 16 zorros pelón, los cuales no tendrían dificultad pasar por debajo de la cerca o escalarla.

**Paso S4:** Tuvo la menor cantidad de registros, varía un poco al resto de las estructuras ya que su exterior es un muro de gaviones de mayor altura (más de 2 m) debido a estar ubicado a una mayor profundidad debajo de la carretera que las otras estructuras. Adicionalmente el área boscosa está ubicada a unos 400-500 m del paso, rodeado por pastizales de un lado y del otro a unos 20 m, esto dificulta el uso del paso de los animales ya que el hábitat está a una gran distancia del paso.



Figura 43. Comparación entre el paso S1 (A) y S4 (B). Ejemplo de distancia de zona boscosa de paso S4 (C).

Unos factores importantes para aumentar la efectividad de los pasos subterráneos son los cerramientos perimetrales y los acondicionamientos de la estructura que pueden fomentar su uso. Al ser estructuras cuadradas, tienen un piso de concreto por lo que se recomienda que la base de la estructura se acondicione con sustrato natural. Al acondicionar la estructura se va a fomentar el uso ya que se da una continuidad con el hábitat afuera de la estructura. Durante la visita en campo se observó que varias estructuras tenían tierra a lo largo de los pasos (S1, S3, S6, S7 y S8). Hubo presencia de huellas en los pasos S3 y S8, y en el paso S7 se encontró crecimiento de vegetación adentro del paso.



Figura 44. Presencia de huellas y vegetación en la parte interior de los pasos

Como se ha mencionado previamente el uso de suelo en esta zona es primordialmente cultivos y ganadería, por esto existen muchas áreas cercanas a los pasos de fauna que son fincas y propiedades privadas. Por esta razón se debe tomar en cuenta la presencia de factores externos como cercas y mallas cerca de las entradas de los pasos, lo que obstaculicen el desplazamiento de los animales. Durante la visita al paso S5 se encontró una malla ciclón cerrando una de las entradas del paso al frente de una propiedad con un cerramiento de púas. En otras estructuras se encontró la presencia de cercas y mallas cercanas a los accesos y la presencia de perros guarda circulando.

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Pasos de fauna</b>	<b>Ubicación</b>
Paso aéreo	A1-12 Figura 37	Ruta Nacional N° 4

### **Descripción de estructura**

Un puente de malla con un cable en la parte superior de poste a poste, compuesto por cables en forma triangular sosteniendo a una red de aproximadamente 30 cm de ancho. Cada paso aéreo este compuesto por un poste en cada extremo, con 5 tirolesas y en algunos pasos la malla se continua hacia los árboles.

#### Dimensiones

Ancho y largo triangular: 0,8 m de ancho por 0,8 m de alto

Largo de poste a poste: 20 – 40 m

Altura de superficie a malla: 9 – 11 m

### **Efectividad del paso**

Durante el estudio realizado por Araya, 2019 los pasos aéreos que se monitorearon (A1 A5 A6 A8 A10 A12) fueron utilizados por 6 especies de mamíferos: mono cara blanca, mono congo, martilla, zorro de balsa, ardilla y puerco espín.

Los pasos A5 y A6 tuvieron menos de 10 especies registradas durante el estudio, las cuales tienen como característica tener los postes ubicados más de 2 metros de distancia de la vegetación (árboles y bosque).



Figura 45. A6 con bosque a más de 20 m de distancia

El restante de los pasos si obtuvieron más de 10 especies registradas y concuerdan en que las estructuras están pegadas (menor a 2 metros) a la vegetación, hasta en un caso se observa una enredadera sobre el paso (A10). Al analizar la estructura, el ancho de la malla cumple con

el ancho recomendado de 20 – 30 cm y existe conectividad al hábitat de los animales mediante mallas adicionales y tirolesas que facilita el acceso a la estructura. Sin embargo, en estas mismas estructuras con mayor funcionalidad se ubicaron varios atropellos de mamíferos terrestres-arborícolas como el zorro cuatros ojos, zorro pelón y oso hormiguero, a menos de 100 m de los pasos aéreos (A8 y A10). Con esta información se puede decir que los pasos aéreos si son efectivos, ya que, si están cumpliendo con el objetivo de ser utilizados, no obstante, no cuenta con el uso de toda la vida silvestre presente que fue detectada en el bosque de esta área, lo que puede depender de otros factores. En la Figura 46 se puede observar la conectividad entre el hábitat y las estructuras.



Figura 46. Ejemplo de conectividad entre estructura y hábitat

Tipo de estructura	Pasos de fauna	Ubicación
Paso aéreo	A1-A9 Figura 37	Ruta Nacional N° 1
<b>Descripción de estructura</b>		
<p>Un puente de malla con un cable en la parte superior de poste a poste, compuesto por cables en forma triangular sosteniendo a una red de aproximadamente 30 cm de ancho. Cada paso aéreo este compuesto por dos postes en cada lado con la malla extendiéndose hacia los árboles.</p> <p><u>Dimensiones</u></p> <p>Largo de poste a poste: 30 – 40 m</p> <p>Altura de superficie a inicio de paso: 7 – 10 m</p>		
<b>Efectividad del paso</b>		

En el estudio realizado por Lavalle Valdivia (2019) se monitorearon los 9 pasos aéreos por 1296 horas y se obtuvo únicamente un registro de cuatro individuos de la especie mono cariblanco (*Cebus capucinus*) en el paso A5. Este paso está ubicado sobre un cuerpo de agua, Rio Blanco, cercano a un puente. Se registraron 15 individuos de 6 especies de mamíferos arbóreos en la zona aledaña a los pasos (Levalle, 2019). Adicionalmente se obtuvieron registros de 11 individuos atropellados, donde 9 de estos se ubicaron a menos de 500 m de los pasos A1, A4, A5, A7, A8 y A9. Hubo otro registro en setiembre del 2019 capturado vía video por Vías Amigables de la Vida Silvestre CR de otro mono congo utilizado uno de estos pasos aéreos. En este registro se puede observar el animal utilizando el paso de manera discontinua, ya que el animal para en su camino cada vez que se acerca un vehículo y se puede observar la inestabilidad de la estructura.

La mayoría de los pasos tienen como característica estar alejados del bosque y no tener conectividad en ambos extremos. La distancia de poste a bosque varía entre 1 - 40 metros. Por lo que la longitud total que se debe desplazar la fauna es de 30 – 70 m. Idealmente la distancia debe ser lo menor posible para facilitar el acceso a la estructura. El largo de esta estructura también puede comprometer la estabilidad ya que los únicos apoyos que tienen la malla están en los extremos. Al ser un material liviano sin apoyos adicionales la rigidez puede ser afectada por factores climáticos como el viento o el efecto dinámico por los mismos vehículos pesados que transitan debajo de la estructura. Otra recomendación para la ubicación de estas estructuras es estar alejadas de zonas urbanas o zonas con mucha actividad humana. Algunos pasos están cerca de puentes peatonales, locales turísticos y restaurantes, donde va a haber más presencia de personas y posiblemente afectar la efectividad del uso de los pasos para algunas especies.





Figura 47. A7 con bosque a más de 20 m de distancia y A6 100 m de paso peatonal



Figura 48. Paso A2 sobre una entrada de restaurante y local de rafting.  
Paso A6 a 200 m de un puente peatonal

Según las investigaciones previas realizadas por la estudiante de biología y las características de los pasos de fauna vistas en campo, se concluye que no están siendo efectivos. Las estructuras no cumplen con varias recomendaciones para mejorar la efectividad de los pasos y se demuestra con el poco uso que se está dando por la fauna. En las estructuras de la Ruta N° 4 se ve una presencia mayor en el uso de los pasos que no se observa en esta ruta.

## **Anexo C. Formulario de entrevista**

Persona Entrevistada:

Fecha:

Institución o empresa:

Profesión:

---

En cuantos proyectos con pasos de fauna ha participado:

¿Cuáles?

### *Pasos aéreos*

¿Cuánto tiempo se requiere para la construcción/instalación de un paso de fauna aéreo como los construido en Vuelto Kooper-Chilamate y Cañas-Liberia?

¿Cuál es el proceso constructivo de estos?:

1. Equipo requerido
2. Mano de obra: cantidad de personas (cuadrilla), horas hombre
3. Tipos de materiales usados
4. Complicaciones y riesgos

### *Pasos inferiores*

¿Cuánto tiempo se requiere para la construcción/instalación de un paso mixto (alcantarilla modificada con pasarela) como las de Vuelto Kooper-Chilamate?

¿Cuánto tiempo se requiere para la construcción/instalación de un paso exclusivo como las de Cañas-Liberia?

¿Cuál es el proceso constructivo de un paso exclusivo como las de Cañas-Liberia?

1. Excavación
2. ¿Se utilizó concreto colado en sitio o alcantarillas prefabricadas? ¿Que tipo de concreto?
3. Equipo requerido

4. Mano de obra: cantidad de personas (cuadrilla), horas hombre
5. Complicaciones y riesgos

¿Cómo fue el proceso para la construcción de las pasarelas de concreto como las de Vuelta Kooper-Chilamate?

1. Equipo y materiales requerido. ¿Que tipo de concreto?
2. Mano de obra: cantidad de personas (cuadrilla), horas hombre
3. Complicaciones y riesgos

### *Preguntas generales*

¿Qué costos estimados tienen los materiales de cada paso descrito anteriormente y la mano de obra?

¿Se sigue algún protocolo para el manejo de la fauna existente durante la construcción?

¿Cuáles serían sus recomendaciones para mejorar la instalación de pasos de fauna en el país?