

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ARBORIZACIÓN Y ENRIQUECIMIENTO VEGETATIVO DE
PASOS DE FAUNA, PROYECTO REHABILITACIÓN Y
AMPLIACIÓN RUTA NACIONAL No. 1, SECCIÓN:
LIMONAL-CAÑAS**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

HARLYN ORDÓÑEZ CRUZ

**CARTAGO, COSTA RICA
ENERO 2021**

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ARBORIZACIÓN Y ENRIQUECIMIENTO VEGETATIVO DE
PASOS DE FAUNA, PROYECTO REHABILITACIÓN Y
AMPLIACIÓN RUTA NACIONAL No. 1, SECCIÓN:
LIMONAL-CAÑAS**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

HARLYN ORDÓÑEZ CRUZ

**CARTAGO, COSTA RICA
ENERO 2021**

ARBORIZACIÓN Y ENRIQUECIMIENTO VEGETATIVO DE PASOS DE FAUNA, PROYECTO REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN RUTA NACIONAL No. 1, SECCIÓN: LIMONAL-CAÑAS

Harlyn Ordóñez Cruz¹

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue diseñar un plan de arborización y enriquecimiento vegetativo, para pasos de fauna silvestre, que permita el desplazamiento de las especies entre los parches de vegetación colindante con el derecho de vía del Proyecto Rehabilitación y Ampliación Ruta Nacional No. 1, Sección: sección Limonal-Cañas, Guanacaste, Costa Rica. Para elaborar la propuesta de arborización se evaluaron las condiciones físicas de los sitios en términos edáficos, topográficos, climáticos y ambientales, se determinó las especies forestales adecuadas para la arborización según criterios de tolerancia a la humedad, hábitat ecológico, estacionalidad y velocidad de crecimiento y se estimaron los costos. Se obtuvo que los sitios tienen condiciones físicas de regular a buena para la reforestación y que seis se ubican en zonas de protección. Se identificaron 28 especies forestales adecuadas para la reforestación, de las cuales 7 son ideales para las zonas de protección, aunque todas se podrían utilizar en estas zonas. El espacio disponible en derecho de vía es variable por lo que se consideró un diseño en forma de embudo, que dirija la fauna al paso, con árboles distribuidos de mayor a menor altura, desde el límite del derecho de vía hacia la calzada y con un distanciamiento de 3 x 3 m. La arborización propuesta corresponde a una restauración activa que debe ser complementada por una restauración pasiva que involucra a Conservación Vial del CONAVI. Los costos estimados para la ejecución de la propuesta de arborización fueron de ₡15 872 288 (\$26 542).

Palabras clave: Restauración, costos, condiciones físicas de sitio y especies forestales.

ABSTRACT

The objective of this project was to design an arborization and species enrichment plan, that would allow corridor movement of fauna between adjacent forest patches along the National Route No. 1 Section: Limonal-Cañas section, Guanacaste, Costa Rica (Rehabilitation and Expansion Project). To elaborate the arborization proposal, the edaphic, topographic, climatic and environmental conditions were evaluated. The suitability of the forest species for arborization were determined according to criteria of tolerance to humidity, ecological habitat, seasonality, growth rates and costs. It was found that the sites had fair to good physical conditions for reforestation and six were located in protected areas. Twenty-eight forest species were suitable for reforestation, and 7 were ideal for protection zones, but all of them showed some use for restoration. The space available in the right-of-way was variable, thus a funnel-shaped design was considered to direct the fauna to corridors, with trees distributed from taller to shorter, and from the limit of the right-of-way towards the road in a 3 x 3 m spacing. The proposed urban reforestation project includes an active restoration phase that must be complemented by a passive restoration phase foreseen by the CONAVI's Road Conservation. The estimated costs for the execution of the tree planting proposal were ₡15 872 288 (\$26 542).

Keywords: Restauration, costs, physical site conditions and forest species.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 4.0 Internacional.

*Ordóñez Cruz, Harlyn. Arborización y enriquecimiento vegetativo de pasos de fauna, Proyecto Rehabilitación y ampliación Ruta Nacional No. 1, sección Limonal-Cañas. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 110p.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por MAP. Igor Zúñiga Garita, Lic. Andrea Ávila Alfaro y MV. Marlon Ledezma García como requisito parcial para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

IGOR
FERNANDO
ZUÑIGA GARITA
(FIRMA)
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por IGOR FERNANDO
ZUÑIGA GARITA
(FIRMA)
Fecha: 2021.01.27
18:58:18 -06'00'

ANDREA MARIA
AVILA ALFARO
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por ANDREA MARIA
AVILA ALFARO (FIRMA)
Fecha: 2021.01.29
07:15:19 -06'00'

Igor Zúñiga Garita MAP
Director de Tesis

Andrea Ávila Alfaro Lic. Lectora. Programa
de Infraestructura de Transporte. Ministerio
de Obras Públicas y Transportes

MARLON
LEDEZMA GARCIA
(AUTENTICACION)

Firmado digitalmente por MARLON
LEDEZMA GARCIA (AUTENTICACION)
Nombre de reconocimiento (DN):
serialNumber=CPF-06-0247-0985,
sn=LEDEZMA GARCIA,
givenName=MARLON, c=CR,
o=PERSONA FISICA, ou=CIUDADANO,
cn=MARLON LEDEZMA GARCIA
(AUTENTICACION)
Fecha: 2021.01.27 17:39:25 -06'00'

DORIAN MAURICIO
CARVAJAL
VANEGAS (FIRMA)

Firmado digitalmente por
DORIAN MAURICIO
CARVAJAL VANEGAS
(FIRMA)
Fecha: 2021.01.29 08:41:12
-06'00'

Marlon Ledezma García MV. Lector
Especialista Ambiental INECO
Unidad Ejecutora del Proyecto

Dorian Carvajal Vanegas M.Sc. Coordinador
Trabajos Finales de Graduación



Harlyn Ordóñez Cruz
Estudiante

DEDICATORIA

A Dios por la oportunidad de vida y salud para hacer las cosas cada día, porque sin su gracia diaria, nada sería posible.

A mi esposo Roy Soto Vargas y a mi hijo Sergio Soto Ordóñez porque han vivido conmigo todo este proceso.

A mi familia por llevarme en sus oraciones cada día.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a las personas que con su apoyo incondicional contribuyeron en el desarrollo de este Trabajo Final de Graduación.

A mis familiares y amigos que siempre me han motivado y apoyado en todas las circunstancias que han llegado a mi vida.

A los profesores del Instituto Tecnológico de Costa Rica por su aporte de conocimiento en mi formación profesional.

A mi tutor, el Ing. Igor Zúñiga Garita y a mis lectores, el Ing. Marlon Ledezma García y la Bióloga Andrea Ávila Alfaro por aceptar ser parte de la realización de este Trabajo Final de Graduación.

Al Ing. Quirico Jiménez, Ing. Catherine Salazar, Arq. Liseth Calderón, Bióloga. Karla Rojas, Asistente Administrativa. Mónica Solís, Trabajadora Social. Marice Miranda, Ing. Andrea Molina, Gestor Ambiental. Hugo González.

Al Ministerio de Obras Públicas y Transportes y a la Unidad Ejecutora del Programa de Infraestructura de Transporte.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. General.....	17
2.2. Específicos	17
3. MARCO TEÓRICO.....	18
3.1. Infraestructura vial	18
3.1.1. Impactos de las carreteras en los ecosistemas	18
3.1.2. Impactos de las carreteras sobre la vida silvestre.....	19

3.1.3. Medidas de mitigación dirigidas a la fauna.....	21
3.1.4. Funcionalidad de los pasos de fauna.....	23
3.2. Papel del Ministerio de Obras Públicas y de Transportes.....	24
3.2.1. Proyecto Rehabilitación y Ampliación Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca-Cañas, Tramo Limonal-Cañas.....	25
3.3. Restauración ecológica e infraestructuras de transporte.....	31
3.3.1. Concepto de restauración ecológica.....	31
3.3.2. Objetivos de la restauración.....	31
3.3.3. Metodologías de restauración.....	32
3.3.4. Proyectos de restauración.....	33
3.4. Arborización y enriquecimiento vegetativo.....	34
3.4.1. Arborización urbana.....	34
3.4.2. Enriquecimiento vegetativo del bosque nativo.....	36
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	37
4.1. Área de estudio.....	37

4.1.1. Ubicación geográfica	37
4.1.2. Descripción meteorológica.....	39
4.1.3. Descripción del ambiente físico	40
4.1.5. Descripción del ambiente biológico.....	41
4.2. Procedimientos para la evaluación de las condiciones físicas de los sitios a arborizar	43
4.2.1. Recolección de datos físicos de los sitios a arborizar.	43
4.2.2. Análisis de los datos físicos de los sitios a arborizar	49
4.3. Procedimientos para la determinación del conjunto de especies forestales adecuadas para la arborización.....	51
4.3.1. Recolección de datos para la selección de especies forestales de arborización.	51
4.3.2. Análisis de los datos para la determinación de especies forestales de arborización	52
4.4. Procedimientos para elaborar la propuesta técnica y económica (estimación de costos) de la arborización y enriquecimiento vegetativo de los pasos de fauna	54
4.4.1. Proceso para la elaboración de la propuesta técnica de arborización.....	54
4.4.2. Estimación de costos de arborización y seguimiento (mantenimiento y monitoreo).....	56

5. RESULTADOS.....	57
5.1. Evaluación de la condición física de los sitios a arborizar.....	57
5.2. Determinación del conjunto de especies forestales adecuadas para la arborización.....	60
5.2.1. Selección de especies para lista general.....	60
5.2.1. Selección de especies forestales para cada sitio de arborización.....	62
5.3. Propuesta técnica y económica (estimación de costos) de la arborización y enriquecimiento vegetativo de los pasos de fauna.....	65
5.3.1. Propuesta técnica de arborización.....	65
5.3.2. Estimación de costos de arborización y seguimiento (mantenimiento y monitoreo).....	80
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
7. REFERENCIAS.....	85
8. ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Localización geográfica y kilometraje de los sitios para la instalación de pasos de fauna, (Fuente Rojas, 2016).....	29
Cuadro 2. Tarjeta de calificación de indicadores de calidad del suelo, (Fuente Guía de campo de INAFOR, INTA y FAO).....	46
Cuadro 3. Matriz para clasificación de los sitios según la pendiente, (Fuente Elaboración propia con base en el Decreto Ejecutivo No. 23214-MAG-MIRENEM, 1994).	47
Cuadro 4. Descripción para la calificación de la escala de valoración de cada variable de riesgo antrópico, (Fuente Elaboración propia).....	48
Cuadro 5. Matriz para evaluar el riesgo antrópico al que estarán expuestos los árboles en cada sitio, (Fuente Elaboración propia).....	49
Cuadro 6. Matriz para valorar la condición de sitio de acuerdo con las variables físicas evaluadas, (Fuente Elaboración propia).....	50
Cuadro 7. Escala de valores para llenar la matriz de condición física de sitio según la clasificación de cada variable, (Fuente Elaboración propia).....	50
Cuadro 8. Matriz para la determinación general de las especies forestales para la arborización, (Fuente Elaboración propia).....	52
Cuadro 9. Valoración de la condición de cada sitio de acuerdo con las variables físicas evaluadas, (Fuente Elaboración propia).....	59

Cuadro 10. Lista general de especies forestales obtenida de las distintas fuentes de información disponibles, (Fuente Reyes, 2012; Rojas et al. 2015, Rojas, 2016 y Prado, 2016).	60
Cuadro 11. Lista de especies forestales ideales para la zona comprendida entre Limonal y Cañas, (Fuente Elaboración propia basado en Cuadro 10).	62
Cuadro 12. Espacio en el derecho de vía disponible para la arborización de los pasos de fauna, (Fuente C, Sandoval, comunicación personal, 15 de setiembre, 2020).	64
Cuadro 13. Lista y cantidad de especies forestales a plantar en cada sitio identificado para la colocación de pasos de fauna, (Fuente Elaboración propia).	65
Cuadro 14. Cronograma de actividades de mantenimiento y monitoreo de los árboles a realizar durante los primeros tres años de desarrollo, (Fuente Elaboración propia).	79
Cuadro 15. Costos estimados para la actividad de plantación de árboles en los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el Tramo Limonal-Cañas, (Fuente Elaboración propia basado en costos de reforestación de los Anexos 10 y 11).	81
Cuadro 16. Costos estimados para el mantenimiento de los árboles en los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el Tramo Limonal-Cañas, (Fuente Elaboración propia basado en costos de los Anexos 10 y 11).	82
Cuadro 17. Costos totales estimados para la arborización de los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el Tramo Limonal-Cañas, (Fuente Elaboración propia basado en Cuadros 15 y 16).	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica del tramo Limonal-Cañas, (Fuente Secretaría Planificación Sectorial-MOPT, 2016).	25
Figura 2. Uso del suelo del tramo Limonal-Cañas, (Fuente Rojas, 2016).	27
Figura 3. Esquema metodológico para el desarrollo de la RE, (Fuente Mola, 2018 a partir de Clewell et al. 2005).	34
Figura 4. Ubicación político geográfica del tramo Limonal-Cañas, (Fuente elaboración propia).....	38
Figura 5. Sitios para la instalación de pasos de fauna en el tramo Limonal-Cañas, (Fuente elaboración propia).	39
Figura 6. Derecho de vía que deberá arborizarse, (Fuente Pomareda et al., 2014).....	43
Figura 7. Media de las variables climáticas de la estación meteorológica automática Hacienda Taboga, años 2017,2018 y 2019, Cañas, Guanacaste (Fuente K, Prado, comunicación personal, 03 de setiembre, 2020).	58
Figura 8. Diseño propuesto para la arborización en pasos de fauna superiores, Limonal-Cañas.	71
Figura 9. Diseño propuesto para la arborización en pasos de fauna inferiores, Limonal-Cañas.	71
Figura 10. Diseño propuesto para las intervenciones de chapea por parte de CONAVI, en las áreas de pasos de fauna, tramo Limonal-Cañas. Adaptado de “Protocolo para el mantenimiento de Pasos de Fauna Silvestre” por M. Venegas, 2017, Universidad Nacional de Costa Rica.	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Evaluación de indicadores y respectiva calificación o valor visual.	93
Anexo 2. Evaluación visual del suelo obtenida en campo, (Fuente Elaboración propia).	98
Anexo 3. Valores de pendiente obtenidos en campo, (Fuente Elaboración propia).	99
Anexo 4. Información de la variable ambiental levantada en campo, (Fuente Elaboración propia). ..	100
Anexo 5. Valores de los indicadores de la variable ambiental con su respectiva interpretación, (Fuente Elaboración propia).	102
Anexo 6. Lista de especies observada en cada uno de los sitios, (Fuente Elaboración propia).	103
Anexo 7. Lista de especies obtenida del estudio de pasos de fauna, (Fuente Elaboración propia).	104
Anexo 8. Lista de especies obtenida del inventario forestal realizado en cada sitio, (Fuente Elaboración propia).	105
Anexo 9. Lista de especies obtenida de estudios realizados en sitios con zonas de vida, (Fuente Elaboración propia).	107
Anexo 10. Costos de reforestación (E, Calderón, comunicación personal, 23 de octubre, 2020).	108
Anexo 11. Costos de reforestación (C, Brenes, comunicación personal, 22 de octubre, 2020).	109

Anexo 12. Descripción de los rubros utilizados para la estimación de costos de arborización, (Fuente
Elaboración propia)..... 110

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de infraestructura vial genera una serie de efectos sobre el medio ambiente. Dentro de los principales se encuentra la modificación de los paisajes, debido a la creación de fragmentos de hábitat natural y de barreras para el desplazamiento de fauna, entre otros. Lo anterior, crea la necesidad de construir carreteras ambientalmente amigables, que proporcionen vínculos directos entre hábitat fraccionados, como estructuras para el cruce de vida silvestre (pasos de fauna inferiores, superiores y mixtos) que en combinación con las cercas vivas compensan el efecto de barrera y dirigen la fauna hacia el paso (Iuell et al., 2005). El Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), como parte de su compromiso ambiental y en pro del desarrollo sostenible, ha incorporado el tema de compensación ambiental por afectación sobre la fauna silvestre y corta de árboles para el desarrollo de obras viales. Entre las obras compensadas bajo esta línea se pueden señalar las ubicadas en las Rutas Nacionales No. 1 (Cañas – Liberia), No. 4 (Chilamate - Vuelta Kooper), No. 35 (Abundancia – Florencia – Ciudad Quesada) y No. 257 (tramo que conecta APM Terminals con la Ruta Nacional No. 32) (A, Ávila, comunicación personal, 24 de febrero, 2020).

Siguiendo la visión de desarrollo sostenible, el MOPT ha asumido la responsabilidad de compensar los impactos que resultarán de la ampliación del tramo Limonal-Cañas. Actualmente, se cuenta con el estudio de pasos de fauna, el cual tiene como objetivo aplicar medidas para disminuir el impacto vial sobre la vida silvestre, por ejemplo, se construirán e instalarán pasos de fauna superiores (arborícolas) e inferiores y se implementará señalización y mallado. El estudio de pasos de fauna identificó 12 sitios de ubicación para la construcción y la instalación de los pasos de fauna, 12 inferiores y 6 superiores. En estos sitios se observaron especies arborícolas (mono congo, ardillas, zorro pelón, perezoso y martilla), semi - arborícolas (oso hormiguero, mapache y el puercoespín), aves (garza tigre, jacana, piche, zopilote cabeza roja y cabeza negra, caracara, gavilán guardacaminos, lora de frente blanca, oropopo, momoto, carpintero, pecho amarillo, sotorrey nuquirufo, urraca, oropéndula y zanate), carnívoros (puma, coyote, ocelote, caucel, yarangundí, nutria, pizote y mapache), otros mamíferos (mofeta, grisón,

tepezcuintle, guatusa, ratón espinoso, armadillo, tamandúa y murciélago), reptiles (lagartijas y serpientes) y algunos anfibios (ranas, sapos y salamandras) (Rojas, 2016). Sin embargo, para lograr la efectividad de cruce de fauna se requiere acondicionar el entorno, de tal forma que se mantenga la continuidad entre la cobertura forestal y el paso habilitado (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015). Por lo anterior y en vista de que se eliminó toda la vegetación existente en el derecho de vía, es indispensable para el MOPT contar con un plan de arborización que complemente las estructuras de pasos de fauna a instalar. La elaboración de este plan se concibe como herramienta valiosa que proporcione una propuesta de especies adecuadas para cada uno de los pasos de fauna y que, a su vez, sea técnica y económicamente viable.

Ante el panorama expuesto de la necesidad de mitigar la afectación causada sobre la fauna por la eliminación de la cobertura forestal en todo el derecho de vía y la ampliación del tramo Limonal-Cañas, surge la interrogante ¿Cuál es el plan de arborización y enriquecimiento vegetativo adecuado a lo largo del tramo Limonal-Cañas, que permita el desplazamiento de las especies de fauna silvestre entre los parches de vegetación existentes?

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar un plan de arborización y enriquecimiento vegetativo, para pasos de fauna silvestre, que permita el desplazamiento de las especies entre los parches de vegetación colindante con el derecho de vía del Proyecto Rehabilitación y Ampliación Ruta Nacional No. 1, Sección: sección Limonal-Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Diseñar un plan de arborización y enriquecimiento vegetativo, para pasos de fauna silvestre, que permita el desplazamiento de las especies entre los parches de vegetación colindante con el derecho de vía del Proyecto Rehabilitación y Ampliación Ruta Nacional No. 1, Sección: sección Limonal-Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

2.2. Específicos

- a) Evaluar las condiciones físicas de los sitios identificados para la habilitación de pasos de fauna, en términos edáficos, topográficos, climáticos y ambientales para la selección de las especies vegetales.
- b) Determinar las especies forestales adecuadas para la propuesta de arborización, de acuerdo con criterios de tolerancia a la humedad, hábitat ecológico (zonas de vida), estacionalidad, condiciones físicas de sitio y velocidad de crecimiento.
- c) Elaborar la propuesta técnica y económica (estimación de costos) de la arborización y enriquecimiento vegetativo de los pasos de fauna habilitados en el proyecto de Rehabilitación y ampliación de la Ruta Nacional No. 1., sección: Limonal-Cañas.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Infraestructura vial

Las carreteras son líneas de vida esenciales de un país, debido a que proporcionan a la población humana conectividad y acceso a bienes y servicios (Quintero, 2016). La infraestructura vial y los servicios que ésta presta influyen significativamente en las economías nacionales y la calidad de vida de los habitantes.

3.1.1. Impactos de las carreteras en los ecosistemas

El desarrollo económico y social de un país depende de la red vial de carreteras que posea ya que son la infraestructura de transporte más utilizada. Sin embargo, cada vez es más evidente que su construcción y uso tienen fuerte impacto en los hábitats naturales. Uno de los problemas más desafiantes de la conservación biológica, es hacer compatibles las acciones que generan desarrollo económico con las acciones enfocadas en la preservación de los ecosistemas naturales y las especies que los habitan (Sánchez, Delgado, Mendoza y Sauzo, 2013).

Las actividades y obras comprendidas durante la construcción y conservación de la infraestructura de transporte modifican el territorio y el paisaje, causando diversos impactos ambientales. A su vez, el impacto ambiental generado está determinado por factores como la ubicación geográfica, el tipo, frecuencia e intensidad de la actividad, el área de afectación, el uso de suelo y la cubierta del mismo anterior a la construcción (Secretaría de Comunicaciones y Transporte [SCT], 2016).

A nivel de ecosistema, los hábitats se ven afectados debido a la alteración de la dinámica hidrológica y el microclima, el incremento en la entrada de contaminación acústica y de partículas generadas por los automotores. Las carreteras causan secuelas directas en la biodiversidad al favorecer la expansión del área de distribución de especies de plantas y

animales invasores y actuar como barreras para el movimiento de animales, lo cual reduce la conectividad de sus poblaciones y aumentan la fragmentación de su hábitat (Sánchez, et al., 2013). Además, Forman et al. (2003) menciona que los principales efectos ocasionados por las carreteras son: la mortalidad en el camino, principalmente por atropellamiento; la pérdida de hábitat, fragmentación del paisaje; reducción de la conectividad física de los bosques y reducción de intercambio entre las poblaciones.

3.1.2. Impactos de las carreteras sobre la vida silvestre

El desarrollo de infraestructura vial puede afectar los ecosistemas, según sea la naturaleza del proyecto, ya sea por la construcción de una carretera nueva o el mejoramiento y rehabilitación de una ya existente. A su vez, los impactos sobre el medio ambiente circundante y la vida silvestre que se esperan incluyen la fragmentación de los hábitats remanentes en el derecho de vía, la modificación y restricción de movimiento de los animales, las lesiones y la mortalidad de las especies de la fauna silvestre, la erosión del suelo y las alteraciones hidrológicas, la contaminación ambiental y las perturbaciones inducidas por la colonización humana, entre otras (Arroyabe et al., 2006).

Los impactos directos de las carreteras sobre la biodiversidad o vida silvestre específicamente son fragmentación y modificación de hábitat, restricción de movimiento de animales, lesiones y mortalidad de especies.

- ✓ Fragmentación y modificación de hábitat: Una nueva carretera puede reducir grandes áreas de hábitat en muchos parches pequeños que no son funcionales al ecosistema original. Rajvanshi, Mathur, Teleki, y Mukherjee (2001) señalan que las carreteras separan poblaciones y limitan el intercambio genético entre especies que quedan aisladas con la eventual declinación y posibles extinciones locales. La pérdida del hábitat afecta más a las especies de baja densidad y/o requerimientos de grandes áreas, de bajas tasas reproductivas y especies del interior del bosque (Forman et al., 2002).

- ✓ Restricción de movimiento de animales: Las carreteras crean una barrera que restringe el paso de los animales de un área a otra, limitando la conectividad de las poblaciones (Bissonette, 2007). A su vez, según Lodge (2000) el movimiento de los animales terrestres, se ve afectado por componentes de la carretera que crean una barrera al movimiento como las carreteras de superficie desnuda, hábitats al borde de la carretera alterados y amplio espectro de emisiones y disturbios tales como el ruido, polvo, altos niveles de iluminación, y contaminantes químicos sobre el suelo y la vegetación aledaña a la carretera.

- ✓ Lesiones y mortalidad de especies: El tránsito de vehículos puede afectar la fauna provocando impactos significativos sobre la dinámica poblacional de las especies presentes en los alrededores (Rajvanshi et al., 2001). Principalmente aquellas especies que son atraídas por la carretera, de alta movilidad, de hábitos generalistas, de demanda de múltiples recursos, baja densidad, de requerimientos de área de gran tamaño y baja tasa reproductiva (Forman et al., 2002).

Las carreteras se convierten en una barrera y afectan la funcionalidad de los ecosistemas, como los procesos hidrológicos que a la vez afectan a otros procesos como la conectividad entre hábitats, productividad primaria, descomposición, ciclo de los nutrientes y disturbios en el régimen de lluvias, así como cambios en la frecuencia e intensidad de inundaciones (Jones, Swanson, Wemple y Snyder, 2000).

3.1.3. Medidas de mitigación dirigidas a la fauna

La mortalidad relacionada con carreteras y la reducción de la movilidad de la vida silvestre, tienen grandes efectos en la conservación y viabilidad de poblaciones a lo largo del tiempo. Además, es importante considerar que el grado con el que estos factores amenazan a las poblaciones depende del volumen del tráfico (Clevenger y Huijser, 2011). Por lo anterior, es importante definir medidas que reduzcan los impactos de mortalidad y aislamiento de poblaciones ocasionados por las carreteras. A continuación, se resume las principales estrategias para mitigar los impactos de las colisiones fauna-vehículo y como aumentar la permeabilidad estructural de las carreteras. Beckman, Clevenger, Huijser y Hilty (2011) agrupa en dos grandes categorías, 41 medidas de mitigación:

- ✓ Las que influyen sobre el conductor como la educación e información pública, señalización y aumento de la visibilidad de las carreteras para el conductor, a través de diferentes formas, como la reducción de la velocidad o del tráfico, eliminación de la vegetación al borde de la carretera (mejorar la visibilidad del conductor para detectar animales hacia la vía) y otros medios de detección animal.
- ✓ Las que influyen sobre el comportamiento animal como los puentes, pasos para la fauna como los pasos aéreos (sobre la carretera), pasos subterráneos (se consideran los más efectivos), ambos pueden ser cercados o no, uso de reflectores y repelentes de olor.

Los pasos para la fauna silvestre son técnicas empleadas por décadas (Forman et al., 2002), desde 1995 los autores identifican a los pasos de fauna silvestre como medios de mitigación de los impactos de las carreteras (Bekker, 1998). Se sabe, que las agencias de transporte los consideran medidas efectivas para reducir las colisiones animal-vehículo y para conectar los hábitats que son interrumpidos por las carreteras (Forman et al., 2002). Entre las estructuras más comunes catalogadas como pasos de fauna se describen a los pasos elevados, puentes

expandidos, pasos de fauna subterráneos y drenajes sobredimensionados (Jackson y Griffin 2000). También, Beckman et al. (2011) hace énfasis a los pasos de fauna aéreos y subterráneos.

- ✓ Los pasos elevados son estructuras prediseñadas, construidas principalmente en carreteras de Europa, Estados Unidos, y Canadá, parecen acomodarse a un mayor número de especies a diferencia de los pasos subterráneos. Son relativamente silenciosos y mantienen condiciones ambientales estables como precipitación, temperatura y luz, además pueden servir como hábitat intermedio para pequeños animales como reptiles, anfibios y mamíferos (Jackson y Griffin 2000). Estas estructuras son menos efectivas para especies semi-acuáticas, son costosas, su uso parece estar determinado por la localización y relación con caminos naturales, tamaño, diseño, apariencia visual y cobertura vegetal alrededor de sus bordes (Bekker, 1998).

- ✓ Los puentes expandidos, se ubican en donde las carreteras cruzan ríos y corrientes de agua, son puentes de mayor tamaño que el necesario y proveen de corredores adyacentes al curso de agua que facilitan el desplazamiento de muchas de las especies ribereñas (Jackson y Griffin 2000).

- ✓ Los pasos de fauna subterráneos proveen abundante luz y movimiento del aire, pero podrían ser demasiado secos para algunas especies de anfibios y reptiles. Pueden presentar varios diseños y pese a ser menos costosos que los pasos elevados aún demandan inversiones considerables para su construcción (Jackson y Griffin 2000). Dentro de esta categoría se encuentran a los pasos subterráneos para mamíferos, pasos subterráneos para múltiples especies, pasos subterráneos para pequeños y medianos mamíferos, pasos para anfibios y reptiles, y las alcantarillas modificadas. Estas últimas tienen en su interior pasarelas para el paso de fauna ubicadas sobre el nivel del agua y sirven para especies acuáticas, anfibios, reptiles, pequeños y medianos mamíferos, y carnívoros (Clevenger y Huijser, 2011).

- ✓ Los drenajes sobredimensionados, son drenajes en medio de cursos de agua y pequeños ríos de mayor tamaño que el requerido para el paso del agua, de esta manera la estructura del drenaje alcanza un tamaño suficiente para permitir el paso de la fauna silvestre. Generalmente los drenajes en forma rectangular proveen más espacio para la movilización de la fauna que drenajes largos en forma de tuberías (Jackson y Griffin 2000).

- ✓ Los pasos de fauna aéreos y subterráneos ayudan a cumplir el objetivo de conexión, otras medidas como cercados, detección vehicular de animales, baja velocidad, reflectores, manejo del hábitat, incremento en el ancho medio del son útiles para la seguridad del conductor y para reducir las colisiones vehículo-fauna (Beckman et al., 2011).

3.1.4. Funcionalidad de los pasos de fauna

Los pasos para la vida silvestre conectan hábitats, poblaciones e incrementan la seguridad de conductores y reducen la mortalidad de la fauna silvestre que atraviesa la carretera, siempre y cuando los pasos enlacen paisajes funcionales u hábitats complejos que permitan a la fauna silvestre dispersarse, moverse libremente y cumplir con sus requerimientos ecológicos. Los pasos de fauna no sólo requieren de consideraciones a escala del paisaje, sino también, la incorporación de cambios futuros o proyectados en el uso de la tierra, así como cambios dentro de los procesos de planeación de las carreteras (Beckman et al., 2011).

La funcionalidad de los pasos de fauna depende de varias herramientas complementarias que ayuden a disminuir la colisión de vehículos con animales en las carreteras como la señalización del cruce de fauna, la remoción de la vegetación cercana al margen, reductores de velocidad, vallados o cercas perimetrales, educación ambiental y concientización (Iuell et al., 2005; Huijser et al.; 2007 Clevenger et al., 2010). Además, los pasos de fauna requieren de acondicionamiento del entorno con vegetación. Según la experiencia de España (donde se exige el establecimiento de pasos de fauna desde el año 2001) en diseños de cruce de fauna, para los pasos arborícolas

se requiere acondicionar el entorno, de tal forma que se mantenga la continuidad entre la cobertura forestal y el paso. También, para el caso de los pasos de fauna inferiores, la vegetación es viable en los tramos próximos a los accesos, debido a que en el tramo central las condiciones no son aptas para el crecimiento de la vegetación (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015). A su vez, Quintero (2016) menciona que para los pasos inferiores pueden ser plantados arbustos alrededor de la entrada, para guiar a los animales al paso y para proteger contra perturbaciones de luz y ruido de la carretera.

3.2. Papel del Ministerio de Obras Públicas y de Transportes

El MOPT es el ente rector del Sector Transporte, por lo tanto, es el responsable de regular y controlar el transporte, así como de ejecutar obras de infraestructura del transporte, seguras y eficientes, con el objetivo de contribuir al crecimiento económico – social en armonía con el ambiente (www.mopt.go.cr). Aunado a lo anterior, la Resolución Ministerial No. 246-2011-ProGAS (2011) contempla la creación en el MOPT, del Proceso de Gestión Ambiental y Social (ProGAS). Este Proceso se crea con el objetivo general de garantizar que el componente ambiental y social se incorpore tanto dentro de la gestión institucional, como dentro del ciclo de los proyectos que se ejecuten en los Consejos adscritos, a fin de contribuir con el desarrollo sostenible (pág. 10).

Desde el año 2011, ProGAS ha liderado el tema ambiental del MOPT y a partir del año 2017, se ha incorporado en los proyectos de infraestructura vial el tema de compensación por corta de árboles (ACG, 2016) y habilitación de pasos de fauna en los proyectos viales ubicados en las Rutas Nacionales No. 1 (Cañas – Liberia), No. 4 (Chilamate - Vuelta Kooper), No. 35 (Abundancia – Florencia – Ciudad Quesada) y No. 257 (Tramo que conecta APM Terminals con la Ruta Nacional No. 32). Todos los proyectos mencionados, han compartido la necesidad de la presencia de cobertura forestal alrededor de los pasos para mantener la continuidad entre el paso y la vegetación colindante con el derecho de vía (A, Ávila, comunicación personal, 24 de febrero, 2020).

3.2.1. Proyecto Rehabilitación y Ampliación Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección: Barranca-Cañas, Tramo Limonal-Cañas.

El Proyecto Rehabilitación y Ampliación Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte, sección Barranca-Cañas comprende 71,3 km de longitud. Las obras se desarrollan en tres etapas: Limonal - Cañas, San Gerardo de Chomes - Limonal y Barranca - San Gerardo de Chomes. El tramo Limonal-Cañas está actualmente en construcción y comprende 20,8 km de longitud (Figura 1). La construcción de las obras incluye la rehabilitación y ampliación de la ruta existente a cuatro vías (dos por sentido) en concreto, con una barrera divisoria tipo New Jersey. Comprende, además, la construcción de bahías para autobús ubicadas en ambos sentidos de circulación, espaldones, puentes peatonales en los principales centros de población, construcción e instalación de pasos para animales arborícolas y terrestres, ciclovías y aceras en los centros urbanos y semiurbanos de la vía. Así como otras obras conexas como intercambiadores, puentes, entre otros (Muñoz et al., 2016).

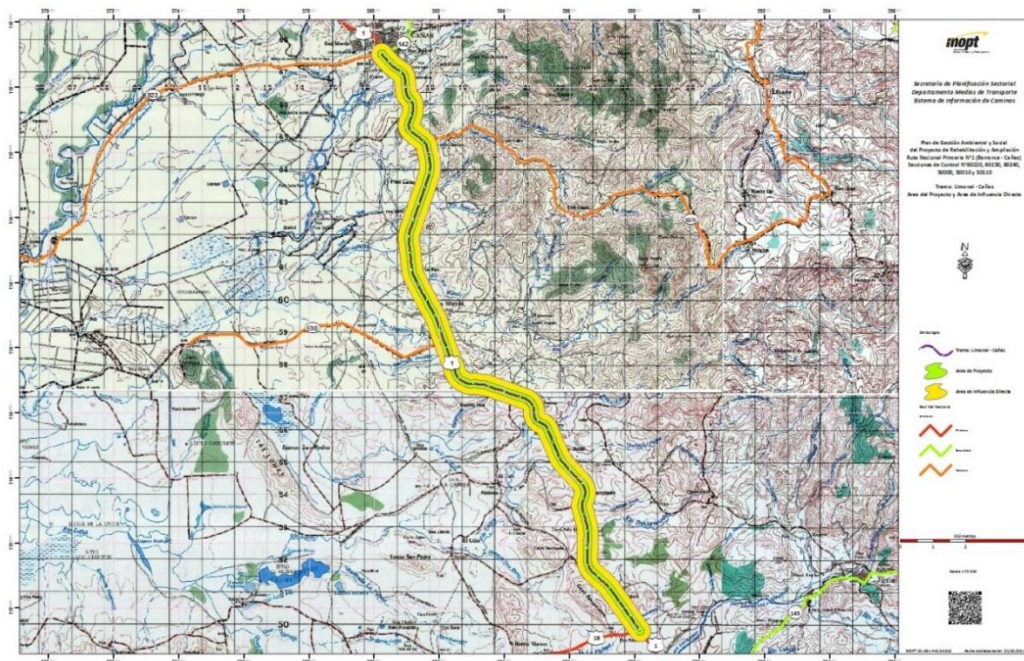


Figura 1. Ubicación Geográfica del tramo Limonal-Cañas, (Fuente Secretaría Planificación Sectorial-MOPT, 2016).

El proyecto atraviesa tres zonas de vida: bosque húmedo tropical (bh-T), bosque húmedo tropical transición a seco (bh-T10) y bosque húmedo premontano transición a basal (bh-P6). El Área del Proyecto (AP) se encuentra dentro del Área de Conservación Arenal – Tempisque (ACA-T), lo atraviesa 6 ríos (río Jabilla, río Salitral, río San Miguel, río Higuerón, río Lajas y el río Desjarretado) y forma parte del Corredor Biológico Paso del Mono Aullador (CBPMA) (Rojas, 2016). El proyecto cuenta con Viabilidad Ambiental para su ejecución otorgada mediante Resolución No. 1750-2017-SETENA y Declaratoria de Conveniencia Nacional para las acciones de la rehabilitación y ampliación de la carretera por medio del Decreto Ejecutivo No. 349838 de la Gaceta No. 243 del 16 de diciembre de 2008. A su vez, el proyecto cuenta con el permiso de corta de árboles AT-AT01-PAF-PCE-CN-127-2017 obtenido con el inventario forestal realizado por Prado (2016) y el estudio de pasos de fauna para la ubicación de los cruces de fauna a lo largo de la ruta, realizado por Rojas (2016).

Inventario Forestal

El inventario forestal fue realizado por Prado (2016) en los 50 m del ancho del derecho de vía. El área inventariada se describe con una superficie plana en su mayoría, pero con algunas zonas de alta pendiente principalmente en las zonas de protección determinadas por los causes de los ríos. A su vez, el inventario identificó la corta de 4.202 árboles con un volumen total de 3.742,45 m³, representados por 101 especies.

La especie más abundante fue *Guazuma ulmifolia* (guácimo) con 1.081 árboles seguida por *Cordia alliodora* (laurel), la cual presenta características similares al guácimo, es una especie típica de zonas con disposición de mucha luz y que crece en un amplio rango de condiciones ecológicas. Por otra parte, las especies menos abundantes fueron: *Hirtella racemosa* (garapatillo), *Lonchocarpus rugosus* (cola de pava), *Pouteria sp.* (sapotillo), *Sterculia apetala* (panamá), *Tamarindus indica* (tamarindo), *Vismia baccifera* (achiotillo) y *Xylosma intermedia* (peipute), posiblemente se debe a que son especies con mayores requerimientos ambientales, edáficos y ecológicos, lo cual hace más difícil su establecimiento. Adicionalmente se

identificaron las especies vedadas, *Cordia gerascanthus* (laurel negro), con 2 individuos y *Swietenia macrophylla* (caoba), con 7 individuos, según el Decreto Ejecutivo No. 25700-MINAE (Prado, 2016).

Estudio de pasos de fauna

El estudio de pasos de fauna fue realizado por Rojas (2016) durante un periodo de 5 meses. Determinó que el Área de Influencia Indirecta (AII) del proyecto, 100 m después del derecho de vía, cuenta con cinco tipos de capacidad de uso del suelo (II, III, IV, VII y VIII) y presenta una cobertura boscosa fuertemente fragmentada por la expansión agropecuaria y el desarrollo de asentamientos urbanos, pero aún conserva grandes fragmentos de bosque (Figura 2).

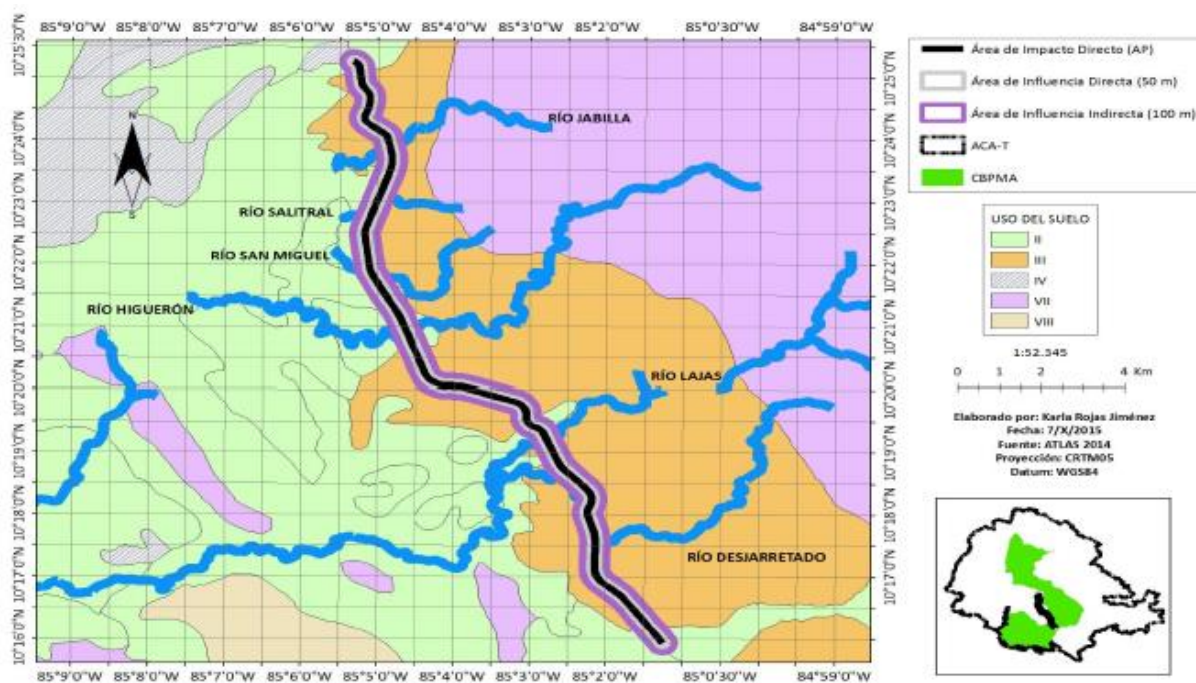


Figura 2. Uso del suelo del tramo Limonal-Cañas, (Fuente Rojas, 2016).

También en el estudio se identificaron cinco Áreas Ambientalmente Frágiles (AAF): sección que incluye los ríos Desjarretado y Lajas, río Higuieron, río San Miguel, río Salitral y río Jabilla.

Estas áreas se caracterizan en su mayoría, por presentar bosques en galería, donde claramente se observan especies de flora de tipo ribereño, típicas de estos bosques. Además, se pudo distinguir de dos a tres estratos en su estructura vegetal, predominando especies como: espavel (*Anacardium excelsum*), coyol (*Acrocomia aculeata*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cenízaro (*Hymenaea courbaril*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guarumo (*Cecropia sp.*), guapinol (*Hymenaea courbaril*), entre otros.

En relación con la conectividad estructural se identificaron seis sitios. El sitio I (incluye los ríos Desjarretado y Lajas) y II presentan parches de bosque secundario, bosque deciduo y zonas de plantaciones forestales. El sitio III se asocia al cauce del Río Higuierón que debido a su estructura vegetal; hace posible el traslado de animales de un parche a otro, los cuales se conectan hacia la Reserva Forestal Taboga donde existen áreas de bosque maduro importantes en términos biológicos. Los sitios IV, V y VI mantienen conectividad con un parche muy extenso de bosque que se encuentra dentro del CBPMA, localizado hacia la parte Este de la carretera.

Como resultado, el estudio identificó 14 sitios (Cuadro 1) para la instalación de pasos de fauna para los cuales 12 corresponden a pasos inferiores y 6 a pasos superiores o arborícolas. Los sitios podrán ser reubicados más-menos de 100 m de los sitios identificados en caso de ser necesario debido a las condiciones de diseño, topográficas, curvatura de la carretera, entre otras razones. Las especies de fauna observadas a lo largo de la ruta fueron separadas en los grupos taxonómicos anfibios (sapo común, sapo y rana ternero) y reptiles (basiliscos común, garrobo, toboba chinga, toboba gata y coralillo), aves (garza tigre, jacana, piche, zopilote cabeza roja y cabeza negra, caracara, gavián guardacaminos, lora de frente blanca, oropopo, momoto, carpintero, pecho amarillo, sotorrey nuquirufo, urraca, oropéndula y zanate) y mamíferos (yarangundí, puma, coyote, ocelote, caucel, mofeta, nutria neotropical, grisón, pizote, mapache, tepezcuintle, guatusa, ratón espinoso, Congo, ardilla, armadillo, tamandúa, zorro pelón y murciélago).

Cuadro 1. Localización geográfica y kilometraje de los sitios para la instalación de pasos de fauna, (Fuente Rojas, 2016).

Número	Tipo de paso	Estación	Latitud	Longitud
1	Inferior	164+115	10°23'58.97"N	85° 4'51.96"O
2	Inferior	161+970	10°22'51.79"N	85° 5'3.62"O
3	Superior/inferior	160+030	10°21'49.95"N	85° 5'4.23"O
4	Superior/inferior	158+250	10°20'58.85"N	85° 4'38.74"O
5	Superior	158+020	10°20'50.38"N	85° 4'35.60"O
6	Inferior	156+835.24	10°20'15.00"N	85° 4'22.64"O
7	Inferior	156+328.16	10°20'6.99"N	85° 4'16.86"O
8	Superior	156+328	10°20'04.00"N	85°04'11.02"O
9	Superior/inferior	153+180	10°19'16.90"N	85° 2'48.81"O
10	Superior/inferior	150+670	10°18'7.02"N	85° 2'13.13"O
11	Inferior	149+628	10°17'36.19"N	85° 2'8.49"O
12	Inferior	147+836	10°16'50.64"N	85° 1'58.45"O

Adicionalmente en los sitios propuestos para la instalación de pasos de fauna (superiores e inferiores) se observó vegetación riparia, bosque secundario y cercas vivas. La vegetación riparia presente en el margen de los ríos Desjarretado, Lajas, Higuerón, San Miguel, Salitral y Jabilla estaba compuesta por espavel (*Anacardium excelsum*), coyol (*Acrocomia aculeata*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cenízaro (*Hymenaea courbaril*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guanacaste blanco (*Albizia niopoides*), guarumo (*Cecropia sp.*), guapinol (*Hymenaea courbaril*), entre otros. La vegetación presente en el bosque secundario en diferentes estados de sucesión presente en los sitios 7, 8, 11 y 13 estaba compuesta por corteza (*Tabebuia ocracea*), guayacán (*Guaiacum officinale*), pochote (*Pachira quinata*), peine de mico (*Apeiba tibourbou*), ceiba (*Ceiba pentandra*), cenízaro (*Hymenaea courbaril*), madroño (*Calycophyllum candidissimun*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cedro (*Cedrela odorata*), chaperno (*Lonchocarpus sp.*), balsa (*Ochroma pyramidale*), canelo (*Ocotea verguensis*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), níspero (*Eriobotrya japonica*), sacoya (*Annona purpurea*), indio desnudo (*Bursera simarouba*), lagarto o lagartillo (*Zanthoxylum sp.*), ceibo (*Pseudobombax septenatum*) y el guarumo (*Cecropia sp.*). A su vez, los pasos inferiores 6 y 14 se encuentran relacionados directamente a potreros con árboles dispersos y asentamientos humanos, donde los

animales se desplazan entre pequeños parches de bosque los cuales se conectan a otros parches con mayor tamaño por medio de cercas vivas de las especies guácimo (*Guazuma ulmifolia*), indio desnudo (*Bursera simarouba*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), madero negro (*Gliricidia sepium*) y mango (*Mangifera indica*).

Finalmente se hace referencia a la necesidad de crear escenarios de corredor en los sitios con vegetación riparia y bosque secundario. En estos sitios se recomienda utilizar especies pionera y arbustivas durante el crecimiento de las especies forestales con el fin de proveer cobertura y funcionalidad a los pasos de fauna establecidos. A su vez, utilizar especies vulnerables según la UICN y protegidas por la LCVS como lo son el *Cedrela odorata*, *Paquira quinata* y *Samanea saman*.

Información adicional

Los pasos de fauna determinados en el estudio realizado por Rojas (2016) fueron 18 (12 inferiores y 6 superiores) y se encontraban ubicados en 14 sitios. Sin embargo, es normal que durante la ejecución de obras ocurran cambios ya sea por el diseño u obstáculos naturales que impidan la habilitación del paso de fauna en el sitio específico determinado por el estudio. A raíz de lo anterior, según el avance de las obras, se realiza un análisis puntual de cada paso propuesto y su funcionalidad. El informe de actualización de pasos solicitado por el MOPT indicó que actualmente existen 12 sitios identificados donde se instalarán 16 pasos de fauna en total, donde 10 son inferiores y 6 son superiores. A su vez, justifica la razón del cambio o desplazamiento del paso según la ubicación original indicada en el estudio de pasos de fauna (UEP-PIT, 2019).

3.3. Restauración ecológica e infraestructuras de transporte

3.3.1. Concepto de restauración ecológica

La Sociedad internacional para la Restauración Ecológica (SER) (2004) define la restauración ecológica como “proceso de ayudar el restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido”. También la restauración ecológica es reconocida como herramienta elemental para revertir la degradación de los ecosistemas, reponer el capital natural, y garantizar el suministro de bienes y servicios que el ecosistema ofrece a la sociedad para un disfrute y aprovechamiento sostenible a medio y largo plazo (Mola, de Torre y Sopena, 2018).

3.3.2. Objetivos de la restauración

La restauración ecológica va más allá de una dimensión ecológica porque involucra disciplinas como la social, política, económica y ética (SER, 2004; Vargas, 2007). Existen tres tipos de intervención ecológica según el objetivo buscado en el ecosistema (SAR, 2004; Vargas, 2007; Holl y Aide, 2011; MINAMBIENTE, 2015):

- ✓ Restauración ecológica (RE): El ecosistema degradado se restablece a una condición similar al disturbado en relación con su composición, estructura y funcionamiento; el ecosistema resultante debe ser autosostenible y garantizar la conservación de especies y de la mayoría de sus bienes y servicios.

- ✓ Rehabilitación ecológica (REH): El ecosistema degradado se lleva a un sistema similar o no al disturbado y debe ser sostenible, preservar algunas especies y prestar algunos servicios ecosistémicos.

- ✓ Recuperación ecológica (REC): Se recupera en el ecosistema degradado algunos servicios ecosistémicos de interés social pero el ecosistema resultante no es

autosostenible, es diferente al sistema disturbado y se integra ecológica y paisajísticamente a su entorno.

Todas las obras de infraestructura lineal, implican grandes dimensiones ambientales, sociales y económicas. Como resultado de estas obras, se genera un nuevo escenario en el que las técnicas de restauración ecológica, en general, y la revegetación, en particular, deben contribuir a resolver cuestiones relacionadas con la gestión ambiental en función de la infraestructura vial y su entorno. En el caso de carreteras se trata de evitar deslumbramientos y la hipnosis del conductor, atropellamiento de vida silvestre y la reducción del peligro marginal que obligan a realizar importantes acciones por las implicaciones realizadas (Valladares, Balaguer, Mola, Escudero y Alfaya, 2011).

El tratamiento de restauración y rehabilitación de ecosistemas de los espacios afectados por la construcción de infraestructuras viales, constituyen una herramienta primordial dentro de los planes de conservación, gestión de especies y sitios afectados (Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible [MINAMBIENTE], 2015). En términos generales las técnicas de restauración de ecosistemas afectados por infraestructura vial integra dos objetivos principales, orientar y acelerar procesos, de modo tal que el dinamismo natural de los sitios alterados vaya direccionado hacia un determinado mosaico de comunidades de organismos; como acelerar los procesos naturales de regeneración de los sitios alterados (Valladares, Balaguer, Mola, Escudero y Alfaya, 2011).

3.3.3. Metodologías de restauración

Para la restauración es necesario conocer bien los objetivos planteados según el estado de degradación del ecosistema y el contexto socio-ecológico de manera que se escojan las acciones y técnicas adecuadas (Aguilar-Garavito y Hernández, 2016; Lanuza, 2016; Linares, 2018). A su vez, siempre va a existir un rango aceptable de variación para el resultado obtenido en un proyecto de restauración, según las condiciones ambientales previas sobre las cuales se delimitaron los objetivos finales de la restauración (Brudvig et al., 2017).

No existe una fórmula exacta para aplicar en los proyectos de restauración, pero sí existen prácticas estandarizadas utilizadas en la planificación, implementación, monitoreo y evaluación de este tipo de proyectos, que son adaptables a las condiciones y factores únicos de cada caso (Aguilar-Garavito y Hernández, 2016; McDonald et al., 2016). En cada proyecto las intervenciones de restauración cambian según los factores extensión, perturbación, oportunidades y limitaciones (SER, 2004).

3.3.4. Proyectos de restauración

Para los proyectos de reforestación se debe comprender que el objetivo de la restauración es operar sobre variables ecológicas clave de forma que se inicie y acelere un proceso espontáneo de cicatrización y no es reunir una colección de elementos característicos para recrear un paisaje. La atención se debe centrar en la reparación de procesos, como la hidrología, el ciclo de nutrientes o la captación de energía, más que en la recuperación de la composición (Valladares, Balaguer, Mola, Escudero y Alfaya, 2011).

El nuevo paradigma de la restauración basa las estrategias de actuación en una intervención mínima sobre los procesos autogénicos del sistema, deben representar un costo económico reducido y ser efectivas en vastas superficies. A su vez es apropiado cuando el objetivo que se persigue es el establecimiento de una cubierta vegetal de escaso o nulo mantenimiento, soporte de un uso múltiple que pueda incluir desde la conservación de la diversidad biológica, hasta la explotación agropecuaria y forestal o el turismo (Valladares, Balaguer, Mola, Escudero y Alfaya, 2011).

Para aplicar una restauración, en sitios altamente degradados, es necesario evaluar la condición del sitio para definir el rumbo que se le va a dar a ese ecosistema. Factores como el presupuesto, el material vegetativo, la disponibilidad de agua, entre otros, afectarán el diseño del proyecto (McDonald et al., 2016). Un proyecto de restauración inicia con una representación de la

naturaleza que revela el estado del ecosistema y se concibe como una guía para los aspectos de planificación e implementación del proyecto (Clewell y Aronson, 2013). Mola (2018) propone un esquema metodológico para el desarrollo de la RE (Figura 3) basado en documentos SER sobre directrices para el desarrollo y gestión de proyectos de RE y en los estándares internacionales para la práctica de RE.

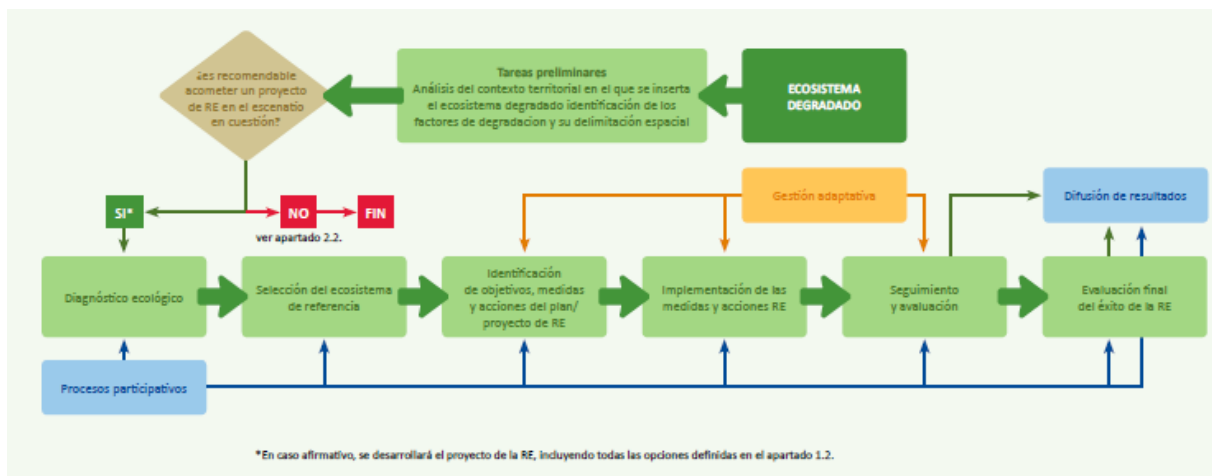


Figura 3. Esquema metodológico para el desarrollo de la RE, (Fuente Mola, 2018 a partir de Clewell et al. 2005).

3.4. Arborización y enriquecimiento vegetativo

Existen vacíos de información para el caso de arborización y enriquecimiento vegetativo de pasos de fauna, por lo que, en esta sección lo que se desarrollará es aplicar los conceptos utilizados en arborización urbana y enriquecimiento vegetativo de bosque.

3.4.1. Arborización urbana

La arborización es definida como el proceso de plantación de árboles individuales o en forma agrupada en diferentes sitios de interés (Sánchez, et al., 2015; Subcomisión Heredia-CGICRG

Tárcoles, 2016). Según Reyes y Gutiérrez (2010) la arborización en los distintos espacios es importante porque integra individuos en los ecosistemas que brindan servicios ambientales como los siguientes:

- ✓ Captura de carbono.
- ✓ Regulación de la temperatura.
- ✓ Provisión de agua en calidad y cantidad.
- ✓ Generación de oxígeno.
- ✓ Amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales.
- ✓ Protección y recuperación de suelos (estabilización de taludes).
- ✓ Barrera contra ruidos.
- ✓ Biodiversidad.
- ✓ Paisaje y recreación.

Actualmente la arborización ha tomado fuerza a nivel urbano y enfatiza como fundamental la selección de las especies que serán plantadas con el criterio y experiencia técnica suficiente y necesaria para integrar variables ambientales y métodos en acciones de arborización. En función de estas premisas y que la planeación de la arborización urbana debe ser encarada como acción básica, la variable ambiental pasa a ser vista como factor base de la planeación de cualquier iniciativa a nivel local, ya sea en medio urbano o en el rural. Por lo tanto, se insiste en que las propuestas sean ambientalmente viables y soportadas por la técnica, la legislación y la participación en aras de considerar la identidad local (Reyes y Gutiérrez, 2010).

En general los protocolos de reforestación, enfocados en la arborización, consideran aspectos generales de selección de especies a utilizar, basados criterios como: características técnicas de los individuos (porte, copa, atractivo, requerimientos de luz), distribución geográfica de las especies, zonas de vida en las que mejor se desarrollan y las condiciones particulares que presenta cada escenario (pendiente, condiciones de suelos, entre otros). Este conjunto de lineamientos forestales y agronómicos permitirán establecer herramientas, para la toma de

decisiones técnicas correctas y científicas, que permitan el desarrollo de una gestión adecuada y articulada, orientada a realizar procesos de rehabilitación ecológica, que permitan una mayor sustentabilidad ambiental (Sánchez, et al., 2015).

3.4.2. Enriquecimiento vegetativo del bosque nativo

Según Di Marco (2014), este tipo de forestación se realiza incorporando especies de alto valor, con adecuadas características técnicas, que mejoren la capacidad productiva y la calidad del bosque existente aumentando la densidad de las especies deseadas. El enriquecimiento del bosque nativo es una técnica empleada para la recuperación de bosques naturales con distinto grado de degradación y que han perdido significativamente su calidad productiva y el potencial de repoblación natural de las especies deseables. Este enriquecimiento se puede hacer en líneas: Consiste en abrir fajas o picadas paralelas cuyo ancho dependerá de las necesidades lumínicas de las especies a plantar; y en bosquetes: Consiste en aprovechar pequeños claros en el bosque para plantarlos con una o varias especies, diversificando de esta última forma la producción y disminuyendo el riesgo.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

4.1.1. Ubicación geográfica

El estudio se desarrolló en la provincia de Guanacaste, Carretera Interamericana Norte, Ruta Nacional No. 1, en los cantones de Abangares y Cañas y en los distritos de Las Juntas, San Miguel y Cañas. Específicamente en el tramo comprendido entre Limonal y Cañas que inicia en el distrito de Las Juntas de Abangares en la Comunidad de Limonal, a la altura del entronque de la Ruta Nacional No. 18, que conduce hacia Nicoya por el puente sobre el Río Tempisque, con la Ruta Nacional No. 1 (kilómetro 146+200 m) y finaliza en Cañas (Figura 4).

El tramo Limonal-Cañas tiene una longitud de 20,8 km, un ancho promedio de 50 m de derecho de vía a cada lado desde el centro de la carretera (Muñoz et al., 2016) y se ubica entre las coordenadas: inicio $X= 388593,828$; $Y= 1134725,811$ y fin $X= 380219,749$; $Y= 1153101,161$ en las hojas cartográficas Abangares y Cañas, escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional (MOPT, 2016).

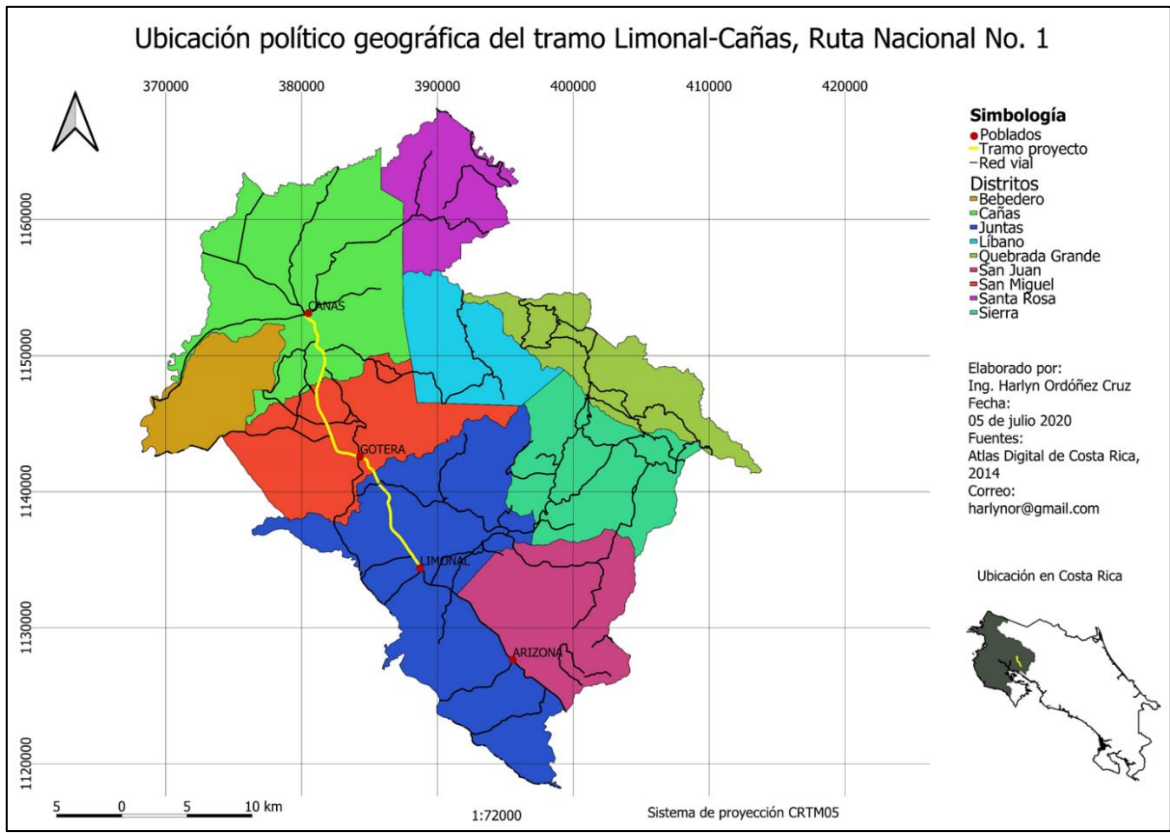


Figura 4. Ubicación político geográfica del tramo Limonal-Cañas, (Fuente elaboración propia).

El trabajo de campo se realizó en los 12 sitios propuestos para la instalación de 16 pasos de fauna, 10 inferiores y 6 superiores (Figura 5), según el estudio de pasos de fauna y el informe de actualización realizado en este tramo (Rojas, 2016; UEP-PIT, 2019).

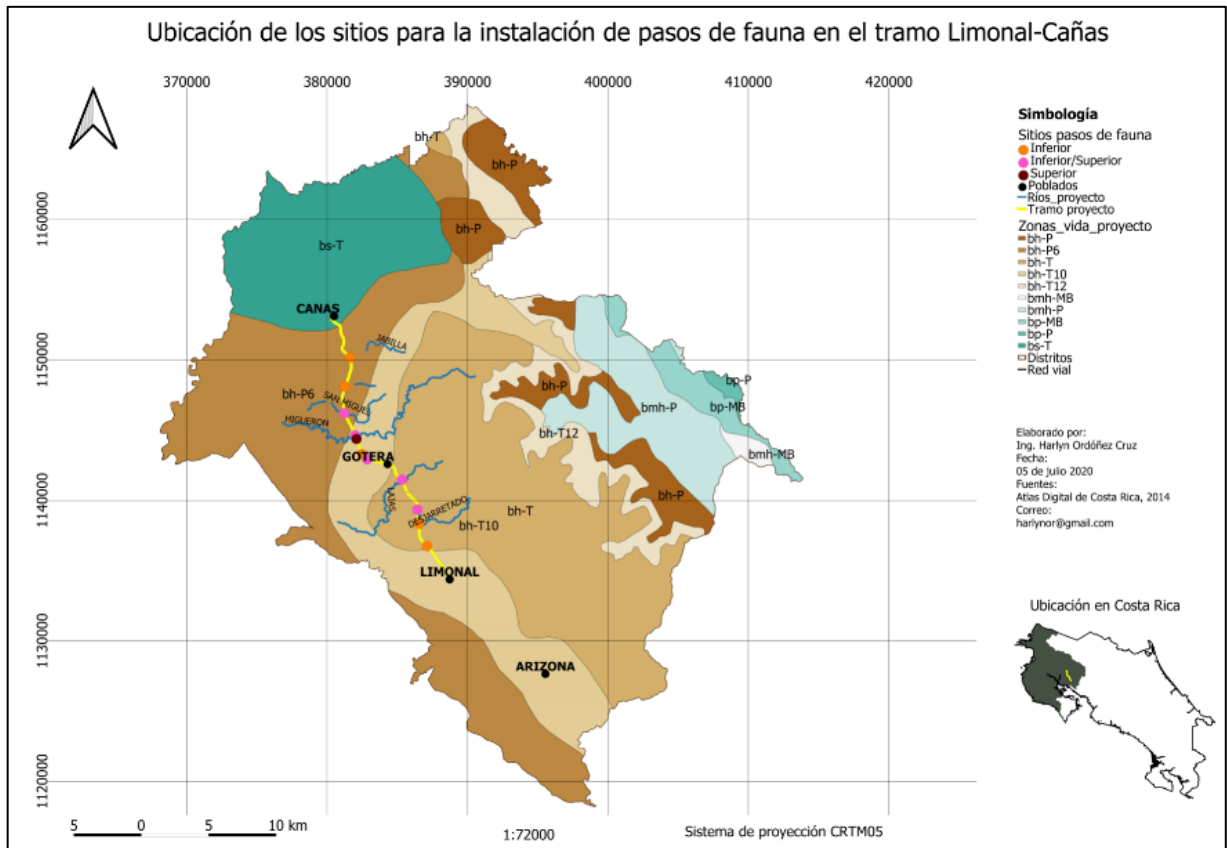


Figura 5. Sitios para la instalación de pasos de fauna en el tramo Limonal-Cañas, (Fuente elaboración propia).

4.1.2. Descripción meteorológica

El tramo de carretera comprendido entre Limonal-Cañas, está a una elevación promedio de aproximadamente 140 msnm, posee una precipitación máxima de 250-350 mm y una temperatura promedio entre 25 y 36°C (Muñoz et al., 2016).

4.1.3. Descripción del ambiente físico

Estudio de geología

Según Herrera y Soto (2014) la zona de estudio está constituida por depósitos volcanos-sedimentarios, productos volcánicos y depósitos fluviales cuaternarios. Al tratarse de un tramo de 20,8 km, comprende varias litologías. Sin embargo, dentro de las litologías que predominan en la zona están las asociadas al Grupo Aguacate. Además, esta zona se caracteriza por presentar mayormente morfologías plana-onduladas, con pendientes bajas ($< 8^\circ$) y moderadas ($8^\circ < 16$) y algunos sectores que presentan pendientes moderadas a altas. A su vez, los principales ríos que atraviesa el proyecto son Jabilla, Salitral, San Miguel, Higuierón, Lajas y Desjarretado, estos escurren por la zona forman llanuras aluviales con importantes dinámicas de erosión y deposición por encontrarse en la zona de transición entre la parte montañosa y las zonas bajas. También la zona presenta cortes en taludes de mediana altura e importantes fenómenos por socavación debido a la erosión hídrica y mal manejo de las aguas.

Hidrogeología de la zona

Las condiciones hidrogeológicas de la zona pueden ser comparadas a las presentes en los Manantiales captados en la región de Miramar, Puntarenas localizados dentro de la unidad de lavas alteradas del Grupo Aguacate en el miembro Brechas La Unión o Basaltos Miramar. La información de pozos en la zona indica que rinden caudales menores a 1,0 L/s, los niveles freáticos se ubican a menos de 15 m de profundidad, con formaciones geológicas caracterizadas por fracturas rellenas de minerales de alteración, muchos de los cuales son responsables de la formación de yacimientos de oro ya conocidos. A su vez, las alteraciones producen minerales que se depositan entre las zonas que una vez fueron permeables, lo que va disminuyendo con el tiempo la facilidad que tenía la roca de transmitir el agua. Adicionalmente, los sedimentos fluvio continentales de la parte sur de Miramar, que se extienden en gran parte del AP, la permeabilidad es limitada debido a que predominan los depósitos en matriz arcillosa, en

ocasiones parecen capas de conglomerados limpios, que serían zonas con una buena capacidad para rendir caudales en pozos que pueden ser explotados para abastecimiento de sitios específicos (EPYPSA, 2010).

4.1.5. Descripción del ambiente biológico

En relación con la cobertura vegetal, el derecho de vía en el tramo Limonal-Cañas está inmerso en tres zonas de vida (Bolaños, Watson y Tosi, 2005): Bosque húmedo tropical transición a prehúmedo (bh-T), Bosque húmedo tropical transición a seco (bh-T10) y Bosque húmedo premontano transición a basal (bh-P6). Además, está rodeado en algunos sectores, de vegetación tipo charral, hierbas y árboles aislados o en grupos pequeños y otras áreas desprovistas de vegetación. A su vez, conformada por ecosistemas naturales como bosque ripario, cuerpos de agua (ríos y quebradas) y antropogénico: sistemas agroforestales (cercas vivas) y silvícolas (plantaciones forestales), charrales, arboles aislados, desarrollo agrícola y ganadero en crecimiento, con cultivos de arroz, caña de azúcar, sandía, entre otros (Muñoz et al., 2016). Entre las especies de flora presentes en áreas riparias de los ríos Desjarretado, Lajas, Higuerón, San Miguel, Salitral y Jabilla están: espavel (*Anacardium excelsum*), coyol (*Acrocomia aculeata*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cenízaro (*Hymenaea courbaril*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guanacaste blanco (*Albizia niopoides*), guarumo (*Cecropia sp.*), guapinol (*Hymenaea courbaril*), entre otros; en el bosque secundario en diferentes estados de sucesión: corteza (*Tabebuia ocracea*), guayacán (*Guaiacum officinale*), pochote (*Pachira quinata*), peine de mico (*Apeiba tibourbou*), ceiba (*Ceiba pentandra*), cenízaro (*Hymenaea courbaril*), madroño (*Calycophyllum candidissimum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cedro (*Cedrela odorata*), chaperno (*Lonchocarpus sp.*), balsa (*Ochroma pyramidale*), canelo (*Ocotea verguensis*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), níspero (*Eriobotrya japonica*), sacoya (*Annona purpurea*), indio desnudo (*Bursera simarouba*), lagarto o lagartillo (*Zanthoxylum sp.*), ceibo (*Pseudobombax septenatum*) y el guarumo (*Cecropia sp.*) y en potreros con árboles dispersos y asentamientos humanos, cercas vivas de guácimo (*Guazuma ulmifolia*), indio desnudo (*Bursera simarouba*), guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), madero negro (*Gliricidia sepium*) y mango (*Mangifera indica*) (Prado, 2016).

A nivel de fauna, en el sitio se clasifican tres grandes grupos (Rojas, 2016):

- ✓ Mamíferos: Zorro pelón, Tamandúa, Armadillo, Murciélago, Ardilla, Congo, Ratón espinoso, Guatusa, Tepezcuintle, Mapache, Pizote, Grisón o Hurón, Nutria neotropical, Mofeta, Puma, Ocelote, Caucel y Yaragundi.
- ✓ Aves: Garza tigre, Jacana, Piche, Zopilote cabeza roja, Zopilote cabeza negra, Caracara cabeza amarilla, Caracara crestado, Gavilán guardacaminos, Lora de frente blanca, Oroporo, Momoto, Carpintero, Pecho amarillo, Sotorrey nuquirufo, Urraca, Oropéndola y Zanate.
- ✓ Anfibios y reptiles: Sapo común, Sapo, Rana ternero, Basilisco común, Garrobo, Toboba chinga, Toboba gata y Coralillo).

Este tramo de carretera atraviesa el Corredor Biológico Paso del Mono Aullador (CBPMA) en la sección entre el río Lajas y hasta el cruce del Restaurante Tres Hermanas rumbo al Puente La Amistad. El CBPMA es uno de los sitios más importantes para la conservación y el desarrollo de la provincia de Guanacaste. Su especie bandera es el mono aullador o mono congo (*Alouatta palliata*) y su objetivo principal es restablecer la conectividad biológica entre el Parque Nacional Volcán Tenorio, la Zona Protectora Miravalles, Zona Protectora Abangares, Parque Nacional Palo Verde, Refugio de Vida Silvestre Cipanci y los manglares del Golfo de Nicoya (Rojas, 2016).

4.2. Procedimientos para la evaluación de las condiciones físicas de los sitios a arborizar

4.2.1. Recolección de datos físicos de los sitios a arborizar.

En primer lugar, con la información de la ubicación y tipo de paso de fauna (Rojas, 2016), en el campo se reconoció cada sitio y se realizó el levantamiento de las coordenadas geográficas con un Garmin GPSMAP 64s. Esa demarcación corresponde al lugar donde se ubicará la infraestructura de cada paso de fauna, pero se realizó a ambos lados del derecho de vía (Figura 5), por lo que se utilizó el número del paso de fauna (asignado en el estudio de pasos de fauna) pero con A para el lado sentido Cañas-Limal y B para el lado sentido Limal-Cañas (Sitio 1: Sitio 1A y Sitio 1B).



Figura 6. Derecho de vía que deberá arborizarse, (Fuente Pomareda et al., 2014).

Se seleccionó un polígono de plantación, respetando la infraestructura y las especificaciones técnicas dictadas por CONAVI, en relación con la plantación de árboles en derecho de vía. A su vez, este polígono se definió acorde con la ubicación del paso de fauna de manera que los árboles a plantar puedan conectar la infraestructura del paso con los parches de bosque colindantes al derecho de vía, tanto para pasos superiores como inferiores.

En segundo lugar, se evaluaron las condiciones físicas de los sitios identificados para la ubicación de los pasos de fauna para la selección de las especies a utilizar en la elaboración del plan de arborización. Esta evaluación se realizó en términos de variables climatológicas, edafológicas, topográficas, ambientales y climáticas.

Variables climatológicas

Se describió la climatología de la zona utilizando la información de los últimos tres años, de la estación meteorológica automática Hacienda Taboga, ubicada en Cañas, Guanacaste; considerando variables fundamentales como: precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento.

Variables edafológicas para evaluar la calidad del suelo

Para evaluar la calidad del suelo se utilizó el Método de Evaluación Visual del Suelo (EVS) que es una herramienta fiable, rápida y fácil para la toma de decisiones. La EVS está basada en la observación visual del suelo según la Guía de campo de INAFOR, INTA y FAO basada en la metodología desarrollada por Sherpherd (2000).

Esta metodología considera la valoración cualitativa de 8 variables edafológicas: estructura y consistencia, porosidad, coloración, número y color de moteado, conteo de lombrices, compactación, cobertura y profundidad, las cuales se integran en un coeficiente de calidad del suelo. A estas variables se les asigna un valor visual dentro de una escala que varía entre 0, 1 y 2 (0 = pobre; 1 = moderado; 2 = bueno), luego se multiplica por un factor de corrección para obtener un valor absoluto los cuales se suman dando finalmente el valor visual de la calidad del suelo.

El valor obtenido es comparado con los rangos establecidos según la calidad: suelo de pobre calidad (< 10); suelo de calidad moderada (10 – 25) y suelo de buena calidad (> 25), con lo cual se caracteriza la calidad del suelo que se analiza.

Para la EVS se requiere el equipo descrito a continuación:

- ✓ 1 pala plana, cuya espada debe medir 20 centímetros para excavar la superficie del suelo.
- ✓ 1 cubeta plástica (aprox. 35x35x19 cm) para depositar la tierra al llevar a cabo las pruebas.
- ✓ 1 cuadro de madera, (aprox. 26x26x1,8 cm) para ajustar en el fondo de la cubeta plástica.
- ✓ 1 bolsa plástica (aprox. 74x49 cm) para extender la tierra, después de la prueba de fragmentos.
- ✓ La guía de campo del método EVS para hacer las comparaciones fotográficas.
- ✓ Tarjetas de Calificación para anotar la puntuación o calificación visual (Cv) en cada indicador de calidad.

La prueba debe llevarse a cabo cuando la tierra tiene humedad suficiente, es decir que al hacer un gusano de 50 cm de largo y 4 mm de grueso, la tierra se rompa y no se pueda formar el gusano. Sistemáticamente se deberá trabajar la tarjeta de calificación, asignando un valor o calificación visual para cada indicador (Cuadro 2), comparando el suelo con las fotografías facilitadas según la descripción detallada en la Guía de campo (Anexo 1).

Cuadro 2. Tarjeta de calificación de indicadores de calidad del suelo, (Fuente Guía de campo de INAFOR, INTA y FAO).

Sitio:		Fecha:	
Tipo de suelo			
Textura	Arenoso	Arcilloso	Franco
Humedad	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo
Clima	Invierno	Verano	Canícula
Indicador	Calificación 0= condición pobre 1= condición moderada 2= condición buena	Factor	Valor por indicador
Estructura y Consistencia		x 3	
Porosidad		x 2	
Coloración		x 2	
Número y color de moteado		x 1	
Conteo de lombrices		x 2	
Compactación		x 1	
Cobertura		x 3	
Profundidad		x 3	
Total			
Interpretación de Calidad del Suelo		Puntos	
Suelo Pobre		<10	
Suelo Moderado		10 a 25	
Suelo Bueno		>25	

Variables topográficas

La topografía presente en cada sitio se describió por medio del levantamiento de información referente a:

- ✓ Porcentaje de la pendiente promedio: Se obtuvo por medio de la medición de la pendiente en cuatro puntos, como máximo, con un clinómetro Suunto.
- ✓ Altitud: La medición de esta variable se realizó tomando la elevación sobre el nivel del mar en el punto más alto y en el punto más bajo con un Garmin GPSMAP 64s.

Con los valores de porcentaje de pendiente promedio, se utilizó la matriz propuesta en el Cuadro 3 para clasificar los sitios (bueno, regular o malo) según la erosión sufrida en relación con la pendiente y se les asignó un valor en la escala.

Cuadro 3. Matriz para clasificación de los sitios según la pendiente, (Fuente Elaboración propia con base en el Decreto Ejecutivo No. 23214-MAG-MIRENEM, 1994).

Pendiente	Erosión sufrida	Clasificación del sitio	Escala
0-15%	Leve	Bueno	3
15-50%	Moderada	Regular	2
>50%	Severa	Malo	1

Variables ambientales

Se caracterizó las condiciones del ambiente a las que estará expuesta la vegetación incorporada al ecosistema. Para esta caracterización se utilizó el riesgo antrópico para conocer si la vegetación podría ser afectada por la acción humana ejercida sobre la naturaleza considerando las siguientes variables: afectación por polvo, contaminación atmosférica por emisiones y daños mecánicos (presencia de ganado o personas) que pueden ser evaluados dentro de una escala que varía entre 0, 1 y 2 (0 = bajo; 1 = medio; 2= alto) como se muestra a continuación en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Descripción para la calificación de la escala de valoración de cada variable de riesgo antrópico, (Fuente Elaboración propia).

Variable	Escala	Descripción
Afectación por polvo	0	No hay posibilidad de generar polvo (suelo con cobertura vegetal).
	1	Alrededores con tierra desprovista de vegetación.
	2	Alrededores con tierra desprovista de vegetación y ventoso.
Contaminación atmosférica por emisiones	0	Paso fluido de vehículos y no existen accesos cercanos a comercios o viviendas que ocasionen la detención de ellos.
	1	Presencia de curvas o pendientes que impliquen acciones de comprensión o frenado de vehículos.
	2	Presencia de accesos cercanos a viviendas o comercios y maquinaria pesada que ocasionen la detención de vehículos.
Daños mecánicos	0	Ausencia de infraestructura que indique la presencia de personas o ganado.
	1	Presencia de ganado o personas.
	2	Presencia de ganado y personas.

Una vez asignado el valor de escala a cada variable ambiental se suman para tener un total e interpretar el riesgo antrópico presente en cada sitio (Cuadro 5). Además, se tomó una fotografía que contenga información de las coordenadas y fecha como evidencia que demuestre el valor final del riesgo antrópico obtenido en cada sitio.

Cuadro 5. Matriz para evaluar el riesgo antrópico al que estarán expuestos los árboles en cada sitio, (Fuente Elaboración propia).

Sitio	Indicadores de riesgo antrópico			Total
	Afectación por polvo	Contaminación atmosférica por emisiones	Daños mecánicos	
1				
...				
Interpretación del riesgo antrópico			Puntaje	
Bajo			<2	
Medio			2 a 4	
Alto			>4	

4.2.2. Análisis de los datos físicos de los sitios a arborizar

La información obtenida de las variables climáticas se analizó utilizando la estadística descriptiva por tratarse de una sola estación meteorológica ubicada en Cañas. Se obtuvo el promedio anual y la desviación estándar para cada variable (precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) en los últimos tres años (2017-2018, 2018-2019 y 2019-2020) con la finalidad de observar la variabilidad de estos parámetros a través de los años.

Con los resultados de las variables edáfica, ambiental y topográfica se realizó la siguiente matriz (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz para valorar la condición de sitio de acuerdo con las variables físicas evaluadas, (Fuente Elaboración propia).

Sitio	Variable edáfica (Calidad del suelo)	Variable ambiental (riesgo antrópico)	Variable topográfica (% pendiente)	Total	Condición física del sitio
1					
2					
...					
Interpretación de la condición física del sitio				Puntaje	
Condición mala				< 3	
Condición regular				3 a 7	
Condición buena				> 7	

Para completar la matriz de condición del sitio se manejaron los valores contenidos en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Escala de valores para llenar la matriz de condición física de sitio según la clasificación de cada variable, (Fuente Elaboración propia).

Variable	Clasificación	Escala
Edafológica	Calidad del suelo pobre	1
	Calidad del suelo moderada	2
	Calidad del suelo buena	3
Ambiental	Riesgo alto	1
	Riesgo medio	2
	Riesgo bajo	3
Topográfica	Sitio malo	1
	Sitio regular	2
	Sitio bueno	3

4.3. Procedimientos para la determinación del conjunto de especies forestales adecuadas para la arborización

4.3.1. Recolección de datos para la selección de especies forestales de arborización.

Para conocer las especies presentes en sitio se realizó un diagnóstico por medio de la búsqueda de información en documentos del proyecto y literatura de la flora presente en las zonas de vida en las que está inmerso el derecho de vía del tramo Limonal-Cañas. Además, se elaboró una lista de especies presentes en los parches de vegetación aledaños a los sitios.

Revisión de información existente sobre especies forestales para arborización

Se elaboró una lista de especies de plantas por medio de la búsqueda de información en las siguientes fuentes:

- ✓ Información del proyecto: El proyecto cuenta con información del inventario forestal realizado en todo el derecho de vía, previo a la corta de los árboles, y el estudio de pasos de fauna. Para el inventario forestal se extrajo una lista de árboles georreferenciados desde el punto del paso hasta 50 m hacia ambos lados en la franja de derecho de vía respectiva. A su vez, del estudio de pasos de fauna, se realizó una lista de los árboles mencionados y vinculados en campo con las especies de fauna presentes en los sitios identificados para los pasos.
- ✓ Revisión de literatura de la flora presente por zona de vida: Se revisó literatura existente sobre las especies de flora presentes en cada una de las zonas de vida identificadas a lo largo del proyecto.

Trabajo de campo para la determinación de especies forestales de arborización

Se levantó información de campo por medio de una visita a los parches de vegetación aledaños a cada paso de fauna y se elaboró una lista de las especies de flora presentes.

4.3.2. Análisis de los datos para la determinación de especies forestales de arborización

La lista de especies obtenida de las distintas fuentes de información se analizó por medio del uso de la siguiente matriz de manera que la especie que sumó dos de las cuatro fuentes utilizadas, para la búsqueda de especies, se seleccionó para ser parte de la lista general. Para esta valoración se utilizó una escala de 0 y 1, donde 0 representa la ausencia y 1 la presencia de la especie, según corresponda. Para lo anterior, se utilizó la siguiente matriz (Cuadro 8).

Cuadro 8. Matriz para la determinación general de las especies forestales para la arborización, (Fuente Elaboración propia).

Especie	Fuente de información				Total
	Calificación: 0=ausente, 1=presente				
	Inventario Forestal	Estudio de pasos de fauna	Parches de bosques aledaños	Especies según Zona de Vida	
1					
2					
...					
Interpretación			Puntos		
Queda fuera de la lista general			<2		
Forma parte de la lista general			≥ 2		

Selección de las especies a recomendar para la plantación en cada sitio

Con la lista general de especies elaborada en la sección anterior, se recomendó grupos de especies para la arborización de cada sitio, considerando el tipo de paso según el estudio de ubicación y diseño de propuesta para pasos de fauna (Rojas, 2016) y la metodología utilizada por ACG (2016) y la Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcoles (2016) con ciertas modificaciones. Esta selección de especies se realizó basada en los siguientes criterios, en orden de prioridad:

- ✓ Tolerancia a la humedad: Pasos ubicados en franjas del derecho de vía dentro de zona de protección de los cauces de agua y franjas del derecho de vía fuera de zonas de protección.
- ✓ Zona de vida: Pasos de fauna ubicados en una zona de vida determinada que representa un hábitat distinto desde el punto de vista ecológico y en consecuencia un estilo de vida diferente.
- ✓ Estacionalidad: Preferiblemente especies siempreverdes o semicaducifolia con la finalidad de proveer copas con ramas frondosas para que la fauna se desplace a través de las copas entre los parches de vegetación colindante.
- ✓ Condiciones físicas de sitio: Especies arbóreas resistentes a las condiciones físicas de sitio determinadas en la matriz de valoración del Cuadro 5.
- ✓ Velocidad de crecimiento: Especies, a la medida de lo posible, de rápido crecimiento para que satisfaga a mediano plazo, la necesidad de estructura que conecte las estructuras de pasos de fauna con los parches de bosque colindantes. A su vez, se buscó combinar con especies de lento crecimiento y que formen distintos estratos.

Esta selección de especies por sitio consideró, en mayor cantidad, especies que no necesariamente produzcan frutos, para evitar lesiones y mortalidad de la fauna que utilice el paso. Sin embargo, es necesario seleccionar, en menor cantidad, especies con frutos para dirigir la fauna al paso.

4.4. Procedimientos para elaborar la propuesta técnica y económica (estimación de costos) de la arborización y enriquecimiento vegetativo de los pasos de fauna

4.4.1. Proceso para la elaboración de la propuesta técnica de arborización

Para la elaboración de la propuesta se consideraron aspectos mencionados en protocolos para reforestación en el Gran Área Metropolitana, y Diseños técnicos de proyectos de compensación ambiental realizados por el Área de Conservación Guanacaste como especificaciones técnicas de la reproducción de las especies, plantación, mantenimiento y monitoreo de los árboles hasta su establecimiento con la finalidad de asegurar la supervivencia de los individuos y el éxito de la arborización (ACG, 2016; Sánchez, et al., 2015; Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcoles, 2016).

La propuesta de arborización se elaboró de la siguiente forma:

- ✓ Lista, distanciamiento y cantidades de especies por sitio.
- ✓ Diseño de arborización general.
- ✓ Recomendaciones técnicas para las actividades de reproducción de las especies, plantación y seguimiento (mantenimiento y monitoreo).

A continuación, se describe cada aspecto con detalle:

Determinación de las cantidades de árboles requeridos para la arborización de cada sitio

Con la lista de especies seleccionadas para arborizar cada sitio, se definió la densidad de plantación a utilizar según el espacio disponible y la altura del árbol.

Diseño de arborización general

Se elaboró un diseño para que sea considerado por el MOPT al momento de ejecutar la propuesta de arborización. Este diseño incluyó el distanciamiento y la ubicación de los árboles según el estrato de dosel a formar en relación con la conexión del paso de fauna a los parches de bosque aledaños al derecho de vía.

Recomendaciones técnicas para las actividades de selección del material en vivero, plantación y seguimiento (mantenimiento y monitoreo de los árboles)

Con la información obtenida en el análisis de las condiciones físicas y las especies seleccionadas en cada sitio se realizaron las siguientes recomendaciones técnicas para la ejecución del plan de arborización:

- ✓ Especificaciones técnicas para la selección del material en vivero: Según el tamaño de los árboles que serán llevados al campo, es importante considerar el tamaño de la bolsa, la forma del fuste, el estado fitosanitario, la copa y la raíz.
- ✓ Especificaciones técnicas para la plantación: Con la información de las condiciones físicas para cada sitio se procedió a definir los tratamientos específicos pre-plantación según sea la calidad del suelo en cada sitio, una lista de los materiales y herramientas necesarias para realizar la plantación de los árboles y el personal mínimo, las

condiciones de traslado para asegurar que los individuos lleguen íntegros al sitio de plantación sin sufrir daños mecánicos o deshidratación, los pasos a seguir para asegurar la supervivencia de los individuos desde la rodajea inicial hasta la colocación del tutor que dirige el crecimiento del árbol para evitar individuos torcidos por la acción del viento.

- ✓ Especificaciones técnicas para el seguimiento (mantenimiento y monitoreo): En esta sección se realizaron recomendaciones que incluyen una serie de labores necesarias para asegurar la supervivencia de los individuos propuestos en este plan de arborización como mapeo de áreas intervenidas para dar seguimiento a cada individuo con la finalidad de conocer las necesidades de sustitución por mortalidad o daños, rodajea, cronograma de fertilización para el buen desarrollo de los individuos, las podas sanitarias o de formación para controlar el crecimiento y el monitoreo para responder a necesidades de sustitución por muerte, enfermedad o crecimiento inadecuado.

4.4.2. Estimación de costos de arborización y seguimiento (mantenimiento y monitoreo)

La estimación de costos de la arborización de los 12 sitios de pasos de fauna se realizó mediante la cotización de materiales y equipo, mano de obra, labores de seguimiento (mantenimiento y monitoreo) post plantación para tres años de forma que se asegure la supervivencia de los árboles plantados y por ende el éxito de la arborización.

5. RESULTADOS

5.1. Evaluación de la condición física de los sitios a arborizar

Para observar el comportamiento de las variables climáticas en la zona se utilizaron los datos de la estación meteorológica automática Hacienda Taboga, de los años 2017, 2018 y 2019. En la Figura 7 se muestra la media del comportamiento de las variables climáticas. Se observó un fuerte patrón estacional, definido principalmente por la precipitación, en todas las variables climáticas (la precipitación, la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento). La estación seca se extendió desde noviembre hasta abril y se caracterizó por la ausencia casi total de lluvia, con la excepción de eventos esporádicos de precipitación no mayores que 63 mm; el veranillo de San Juan se presentó en los meses de julio a agosto y se caracterizó por una marcada reducción en la precipitación. La temperatura del ambiente alcanzó valores entre 27 y 29 °C, la humedad relativa alcanzó valores entre 57 y 62% y la velocidad del viento osciló entre 9 y 18 km/h.

En la estación lluviosa sobresale el mes de octubre con la mayor precipitación de 474 mm, la temperatura del ambiente alcanzó valores entre 26 y 28 °C, la humedad relativa fluctuó entre 76 y 90% y la velocidad del viento osciló entre 5 y 7 km/h.

En general las barras de desviación estándar muestran diferencias en cada una de las variables a través de los años, principalmente en la precipitación.

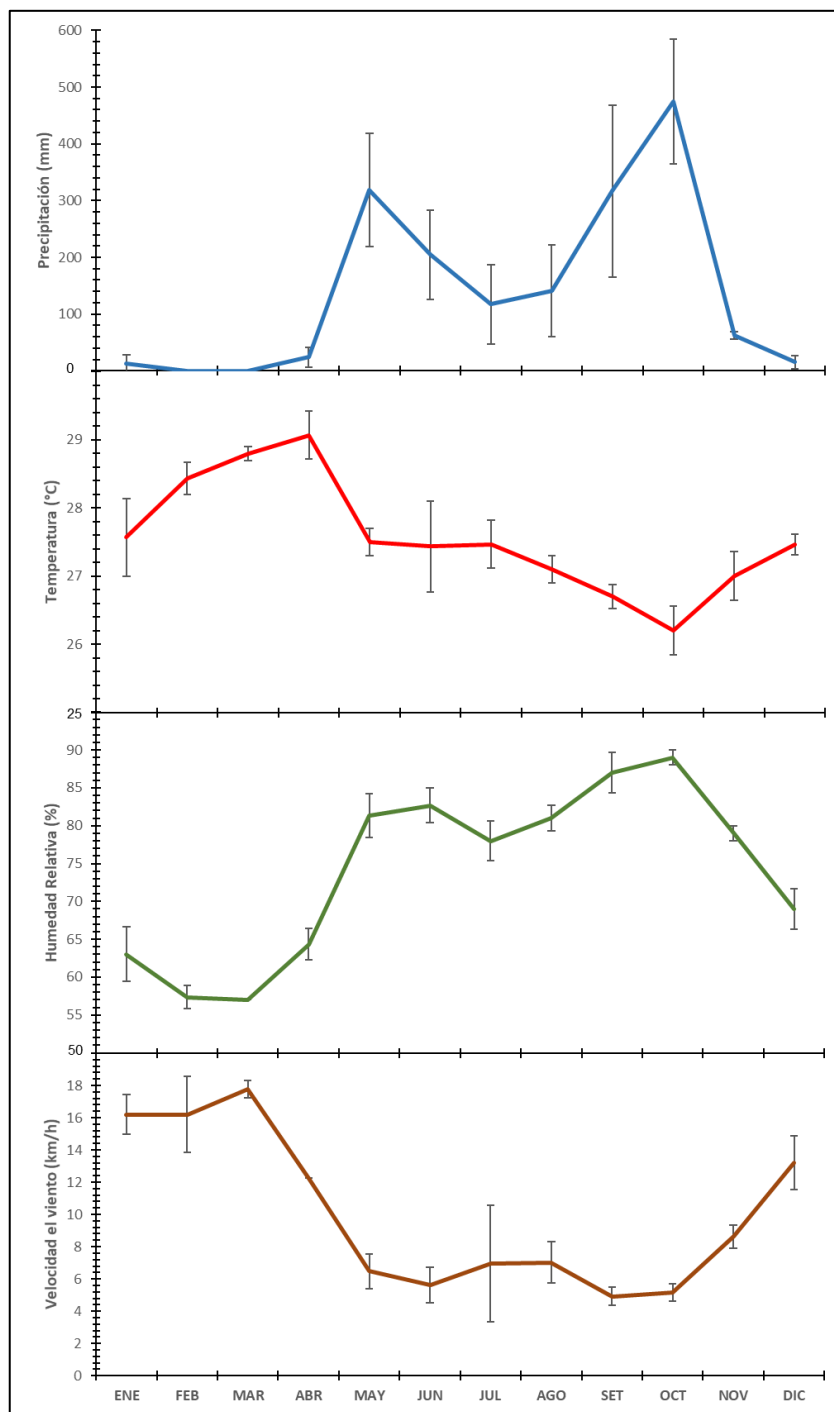


Figura 7. Media de las variables climáticas de la estación meteorológica automática Hacienda Taboga, años 2017,2018 y 2019, Cañas, Guanacaste (Fuente K, Prado, comunicación personal, 03 de setiembre, 2020).

En el cuadro 9 se muestra la evaluación de la condición física de los sitios a arborizar. Inicialmente se tenían identificados 12 sitios, pero en campo se encontró que los sitios 7 y 8, por ubicación, pueden considerarse como uno solo ya que corresponden a un paso subterráneo seguido por un paso aéreo a pocos metros de distancia. Por lo anterior, se eliminó el sitio 7 para todo análisis y se integró ambos pasos en el análisis realizado al sitio 8.

Cuadro 9. Valoración de la condición de cada sitio de acuerdo con las variables físicas evaluadas, (Fuente Elaboración propia).

Sitio*	Variable			Total	Condición del sitio
	Edáfica	Ambiental	Topográfica		
	Calidad del suelo	Riesgo antrópico	% pendiente		
1A	3	3	3	9	Buena
2B	3	2	3	8	Buena
3A	3	2	3	8	Buena
4A	3	3	3	9	Buena
5A	2	1	3	6	Regular
5B	2	3	3	8	Buena
6A	2	2	3	7	Regular
6B	2	3	3	8	Buena
8A	2	2	3	7	Regular
8B	2	3	3	8	Buena
9A	3	3	3	9	Buena
10B	3	3	3	9	Buena
11A	3	2	3	8	Buena
11B	3	3	3	9	Buena
12A	2	2	3	7	Regular

*Para efectos de este cuadro, se excluyeron los sitios sin información de evaluación visual del suelo. Las letras A y B corresponden a cada lado del derecho de vía.

Se obtuvo que los sitios tienen condiciones físicas de regular a buena para la reforestación. Para la mayoría de los sitios no se pudo evaluar la calidad del suelo en ambos lados del derecho de vía, razón por la cual no aparecen todos en el Cuadro 9. Los sitios numerados con 5, 6, 7 y 12

presentaron condiciones regulares para la plantación debido a la variable riesgo antrópico, principalmente por la presencia de ganado y de casas de habitación cercanas. La variable topográfica no fue determinante para la clasificación del sitio por tratarse de una zona bastante plana y donde todos los sitios entraron en la categoría de pendiente leve. Los datos específicos de cada variable evaluada para cada sitio se incluyen en los Anexos 2, 3, 4 y 5.

5.2. Determinación del conjunto de especies forestales adecuadas para la arborización

5.2.1. Selección de especies para lista general

La lista general de especies forestales se muestra en el Cuadro 10, esta lista es producto de la revisión de 4 fuentes de información: Especies observadas en parches de vegetación aledaños a los sitios para arborizar (Anexo 6), Estudios de pasos de fauna (Anexo 7), Inventario forestal (Anexo 8), y especies presentes en las zonas de vida bh-P6, bh-T y bh-T10. En relación con las especies según la zona de vida, la lista se obtuvo de estudios realizados en Palo Verde y Horizontes; debido a que no existe una lista específica de especies por zona de vida y a que las especies del área se adaptan a cualquiera de las zonas presentes en el tramo (Anexo 9).

Cuadro 10. Lista general de especies forestales obtenida de las distintas fuentes de información disponibles, (Fuente Reyes, 2012; Rojas et al. 2015, Rojas, 2016 y Prado, 2016).

Familia	Nombre científico	Nombre común
Fabaceae	<i>Vachellia collinsii</i>	Cornizuelo
Arecaceae	<i>Acrocomia aculeata</i>	Coyol
Fabaceae	<i>Albizia adinocephala</i>	Gavilancillo
Fabaceae	<i>Albizia guachapele</i>	Cedro amarillo
Fabaceae	<i>Albizia niopoides</i>	Guanacaste blanco
Anacardiaceae	<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel
Fabaceae	<i>Andira inermis</i>	Almendro de río
Annonaceae	<i>Annona sp.</i>	Anona
Anacardiaceae	<i>Astronium graveoloen</i>	Ron ron
Malvaceae	<i>Bombacopsis quinata</i>	Pochote

Familia	Nombre científico	Nombre común
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	Indio desnudo
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nancite
Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Madroño
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i>	Huesillo
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i>	Guarumo
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro amargo
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba
Polygonaceae	<i>Coccoloba caracasana</i>	Papaturro
Cordiaceae	<i>Cordia alliodora</i>	Laurel
Cordiaceae	<i>Cordia collococca</i>	Muñeco
Fabaceae	<i>Dalbergia retusa</i>	Cocobolo
Fabaceae	<i>Delonix regia</i>	Malinche
Fabaceae	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste
Moraceae	<i>Ficus sp.</i>	Higuerón
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i>	Guaitil
Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i>	Madero negro
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	Guapinol
Fabaceae	<i>Inga vera</i>	Guaba
Lythraceae	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Orgullo de La India
Chrysobalanaceae	<i>Licania arborea</i>	Alcornoque
Fabaceae	<i>Lonchocarpus costaricensis</i>	Chaperno
Fabaceae	<i>Lonchocarpus felipei</i>	Chaperno
Fabaceae	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	Chaperno negro
Fabaceae	<i>Machaerium biovulatum</i>	Siete cueros
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i>	Mora
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	Mango
Malvaceae	<i>Ochroma pyramidale</i>	Balsa
Lauraceae	<i>Ocotea veraguensis</i>	Canelo
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	Aguacate
Pinaceae	<i>Pinus sp.</i>	Pino
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i>	Cacalojoche
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba
Fabaceae	<i>Samanea saman</i>	Cenízaro
Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i>	Aceituno negro
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea terniflora</i>	Terciopelo

Familia	Nombre científico	Nombre común
Anacardiaceae	<i>Spondias Mombin</i>	Jobo
Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i>	Jocote
Malvaceae	<i>Sterculia apetala</i>	Panamá
Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba
Bignonaniaceae	<i>Handroanthus ochraceus</i>	Corteza Amarilla
Bignonaniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	Roble Sabana
Veberaceae	<i>Tectona grandis</i>	Teca
Sapindaceae	<i>Thouinidium decandrum</i>	Matapulgas
Meliaceae	<i>Trichilia americana</i>	Manteco
Meliaceae	<i>Trichilia martiana</i>	Manteco
Polygonaceae	<i>Triplaris melaenodendron</i>	Hormigo
Rutaceae	<i>Zanthoxylum setulosum</i>	Lagartillo
Fabaceae	<i>Zygia longifolia</i>	Sotacaballo

5.2.1. Selección de especies forestales para cada sitio de arborización

La lista de especies forestales ideales para la zona, seleccionadas de la lista general (Cuadro 10), se muestra en el Cuadro 11, aunque no todas son reproducidas en viveros.

Cuadro 11. Lista de especies forestales ideales para la zona comprendida entre Limonal y Cañas, (Fuente Elaboración propia basado en Cuadro 10).

Familia	Nombre científico	Nombre común	Altura aprox. (m)
Fabaceae	<i>Vachellia collinsii</i>	Cornizuelo	5
Anacardiaceae	<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	25
Fabaceae	<i>Andira inermis</i>	Almendro de río	15
Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche	20
Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	Indio desnudo	10
Malpighiaceae	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nancite	8
Rubiaceae	<i>Calycophyllum candidissimum</i>	Madroño	12
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i>	Guarumo	15
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	30
Polygonaceae	<i>Coccoloba caracasana</i>	Papaturro	8

Familia	Nombre científico	Nombre común	Altura aprox. (m)
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i>	Guaitil	8
Fabaceae	<i>Gliricidia sepium</i>	Madero negro	8
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo	8
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i>	Guapinol	15
Chrysobalanaceae	<i>Licania arborea</i>	Alcornoque	15
Fabaceae	<i>Machaerium biovulatum</i>	Siete cueros	6
Malvaceae	<i>Ochroma pyramidale</i>	Balsa	15
Lauraceae	<i>Ocotea veraguensis</i>	Canelo	8
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i>	Cacalojoche	8
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	Guayaba	6
Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i>	Aceituno negro	8
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea terniflora</i>	Terciopelo	12
Malvaceae	<i>Sterculia apetala</i>	Panamá	18
Bignonaniaceae	<i>Tabebuia rosea</i>	Roble Sabana	15
Sapindaceae	<i>Thouinidium decandrum</i>	Matapulgas	10
Meliaceae	<i>Trichilia martiana</i>	Manteco	6
Polygonaceae	<i>Triplaris melaenodendron</i>	Hormigo	8
Fabaceae	<i>Zygia longifolia</i>	Sotacaballo	8

Se determinaron 28 especies forestales ideales para la arborización. Además, los escenarios encontrados para definir las especies según la tolerancia a la humedad fueron pasos de fauna en zonas de protección y pasos de fauna en derecho de vía. Con base en los escenarios se obtuvo que los sitios 1, 2, 3, 4, 9 y 10 se ubican en zonas de protección. También, el criterio de zona de vida no se aplicó para la selección específica de las especies debido a que las especies de la zona se adaptan a cualquiera de las zonas de vida presentes (Q, Jiménez, comunicación personal, 31 agosto, 2020). Las especies forestales ideales para zona de protección, por crecer naturalmente en esas áreas son: *Anacardium excelsum* (espavel), *Brosimum alicastrum* (ojoche), *Licania arborea* (alcornoque), *Ocotea veraguensis* (canelo), *Sloanea terniflora* (terciopelo), *Sterculia apetala* (panamá) *Thouinidium decandrum* (matapulgas) y *Zygia longifolia* (sotacaballo). Las demás especies del Cuadro 11 podrían también utilizarse en estas zonas, pero más alejadas del cauce donde la humedad es menor a excepción de *Vachellia collinsii* (cornizuelo), *Cecropia peltata* (guarumo) y *Ochroma pyramidale* (balsa).

El espacio disponible en el derecho de vía, según el diseño del proyecto y sustrayendo los 3 m definidos para seguridad vial (MOPT, 2015), se muestran en el Cuadro 12. Es necesario considerar que la distancia mínima de aproximación de ramas y árboles es de 3 metros a partir de la cuneta y de 6 m de altura, de manera que se obtenga una zona libre de obstáculos.

Cuadro 12. Espacio en el derecho de vía disponible para la arborización de los pasos de fauna, (Fuente C, Sandoval, comunicación personal, 15 de setiembre, 2020).

Sitio #	Tipo de Paso	Distancia (m)	
		Lado A Cañas-Limonal	Lado B Limonal-Cañas
1	Inferior	17,00	3,00
2	Inferior	4,50	1,10
3	Superior/inferior	15,30	7,70
4	Superior/inferior	13,50	3,70
5	Superior	19,00	6,20
6	Inferior	22,00	5,50
7	Inferior	3,00	3,00
8	Superior	10,00	10,00
9	Superior/inferior	17,00	3,20
10	Superior/inferior	17,00	14,00
11	Inferior	4,80	3,70
12	Inferior	1,50	0,00

Según el espacio disponible en cada sitio y siguiendo las especificaciones del MOPT, en los sitios 2b, 12a y 12b no es posible plantar árboles. En los sitios 1b, 4b, 7a, 7b, 9b y 11b es posible plantar una hilera de árboles de altura mediana a pequeña.

5.3. Propuesta técnica y económica (estimación de costos) de la arborización y enriquecimiento vegetativo de los pasos de fauna

5.3.1. Propuesta técnica de arborización

Selección de las especies a recomendar para la arborización en cada sitio

Para la reforestación en cada sitio, según el espacio disponible y la selección de las especies obtenida, se recomienda utilizar las especies que se muestran en el Cuadro 13. Para la cantidad de las especies forestales se consideró una línea de 25 m en total a lo largo del derecho de vía, 12,5 a cada lado de paso con una distancia de siembra de aproximadamente 3 x 3 m y en algunos casos una línea de tendido eléctrico junto a la cerca, según las observaciones realizadas en campo (Figuras 8 y 9).

Cuadro 13. Lista y cantidad de especies forestales a plantar en cada sitio identificado para la colocación de pasos de fauna, (Fuente Elaboración propia).

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
1A	Paso inferior, en zona de protección con 17 m de espacio disponible para siembra.	Todas las especies del Cuadro 11, excepto <i>Vachellia collinsii</i> , <i>Cecropia peltata</i> y <i>Ochroma pyramidale</i>	37
1B	Paso inferior, en zona de protección con 3 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> y <i>Zygia longifolia</i>	9

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
2A	Paso inferior, en zona de protección con 4,50 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> y <i>Zygia longifolia</i>	17
2B	Paso inferior, en zona de protección con 1,10 m de espacio disponible para siembra.	<i>Senna hayesiana</i> y <i>Stachytarpheta frantzii</i>	10
3A	Paso inferior/superior, en zona de protección con 15,30 m de espacio disponible para siembra.	Todas las especies del Cuadro 11, excepto <i>Vachellia collinsii</i> , <i>Cecropia peltata</i> y <i>Ochroma pyramidale</i>	35
3B	Paso inferior/superior, en zona de protección con 7,70 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> y <i>Zygia longifolia</i>	20
4A	Paso inferior/superior, en zona de protección con 13,50 m de espacio disponible para siembra.	Todas las especies del Cuadro 11, excepto <i>Vachellia collinsii</i> , <i>Cecropia peltata</i> y <i>Ochroma pyramidale</i>	30

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
4B	Paso inferior/superior, en zona de protección con 3,50 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> y <i>Zygia longifolia</i>	8
5A	Paso superior, fuera de zona de protección con 19 m de espacio disponible para siembra.	Todas las especies del Cuadro 11.	36
5B	Paso superior, fuera de zona de protección con 6,20 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> , <i>Zygia longifolia</i> , <i>Andira inermis</i> , <i>Calycophyllum candidissimum</i> , <i>Hymenaea courbaril</i> y <i>Tabebuia rosea</i>	22
6A	Paso inferior, fuera de zona de protección con 22 m de espacio disponible para siembra.	Todas las especies del Cuadro 11	50
6B	Paso inferior, fuera de zona de protección con 5,50 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium</i>	17

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
		<i>biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> , <i>Zygia longifolia</i> , <i>Andira inermis</i> , <i>Calycophyllum candidissimum</i> , <i>Hymenaea courbaril</i> y <i>Tabebuia rosea</i>	
8A	Paso inferior/superior, fuera zona de protección con 10 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> , <i>Zygia longifolia</i> , <i>Andira inermis</i> , <i>Calycophyllum candidissimum</i> , <i>Hymenaea courbaril</i> y <i>Tabebuia rosea</i>	26
8B	Paso inferior/superior, fuera zona de protección con 10 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> , <i>Zygia longifolia</i> , <i>Andira inermis</i> , <i>Calycophyllum candidissimum</i> , <i>Hymenaea courbaril</i> y <i>Tabebuia rosea</i>	26
9A	Paso inferior/superior, en zona de protección con 17 m de espacio disponible para siembra.	Todas las especies del Cuadro 11, excepto <i>Vachellia collinsii</i> , <i>Cecropia peltata</i> y <i>Ochroma pyramidale</i>	34

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
9B	Paso inferior/superior, en zona de protección con 3,20 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> y <i>Zygia longifolia</i>	8
10A	Paso inferior/superior, en zona de protección con 17 m de espacio disponible para siembra.	Todas las especies del Cuadro 11, excepto <i>Vachellia collinsii</i> , <i>Cecropia peltata</i> y <i>Ochroma pyramidale</i>	35
10B	Paso inferior/superior, en zona de protección con 14 m de espacio disponible para siembra.	Todas las especies del Cuadro 11, excepto <i>Vachellia collinsii</i> , <i>Cecropia peltata</i> y <i>Ochroma pyramidale</i>	30
11A	Paso inferior, fuera de zona de protección con 4,80 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> y <i>Zygia longifolia</i>	17
11B	Paso inferior, fuera de zona de protección con 3,70 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> , <i>Genipa americana</i> , <i>Gliricidia sepium</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> , <i>Machaerium biovulatum</i> , <i>Ocotea veraguensis</i> , <i>Psidium guajava</i> , <i>Plumeria rubra</i> , <i>Simarouba glauca</i> , <i>Thouinidium</i>	9

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
		<i>decandrum, Trichilia martiana, Triplaris melaenodendron y Zygia longifolia</i>	
12A	Paso inferior, fuera de zona de protección con 1,50 m de espacio disponible para siembra.	<i>Vachellia collinsii, Senna hayesiana y Stachytarpheta frantzii</i>	10
12B	Paso inferior, fuera de zona de protección sin espacio disponible para siembra.	NA	NA
Total			486

Los pasos inferiores 2B y 12A tienen un espacio muy limitado que impide la plantación de árboles pero que permite sembrar arbustos que funcionen como barrera natural contra ruido y luz para que los animales no sean atraídos a la carretera y sigan hacia el paso de fauna. Además, es recomendable hacer esto en todos los sitios donde existen pasos inferiores.

Diseño general de arborización

Se elaboró dos diseños para la arborización de los pasos, estos diseños son generales para que se puedan utilizar en cualquier proyecto vial y que sean considerados por el MOPT al momento de ejecutar la propuesta de arborización (Figuras 8 y 9). Este diseño permite visualizar la distancia hacia la calzada que debe quedar libre de vegetación, la posición de los árboles con respecto al tipo de paso y según la altura alcanzada en la edad adulta, la presencia de postes y tendido eléctrico y la malla colocada en pasos inferiores.

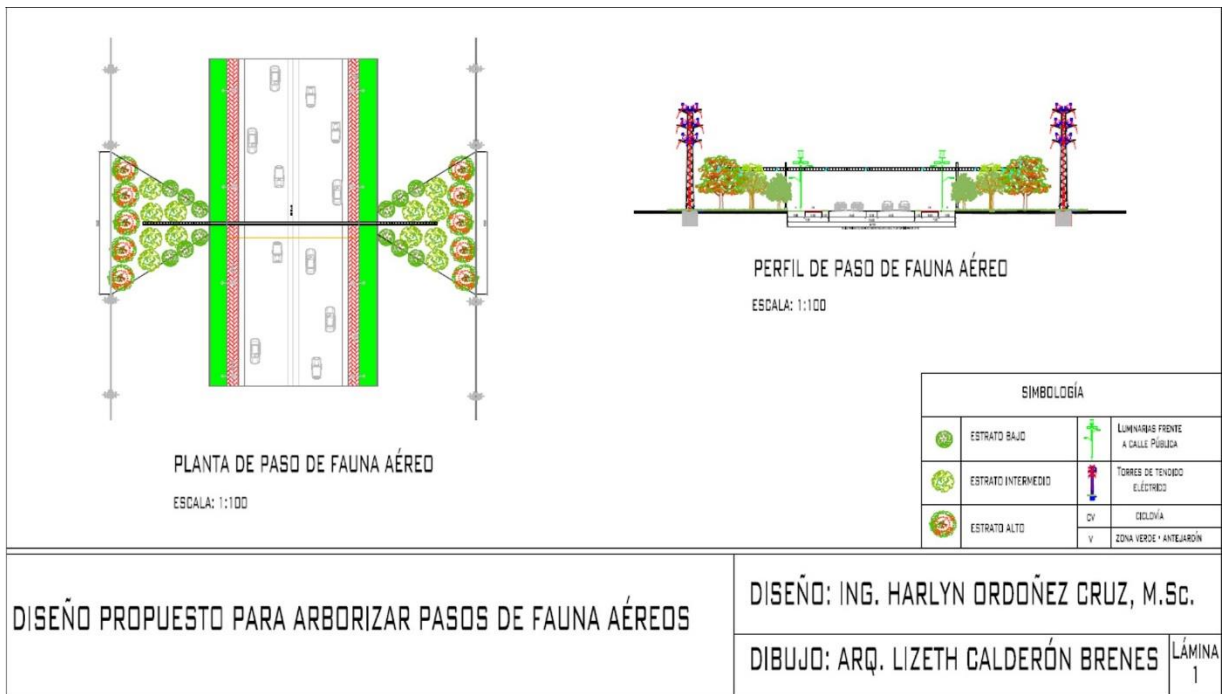


Figura 8. Diseño propuesto para la arborización en pasos de fauna superiores, Limonal-Cañas.

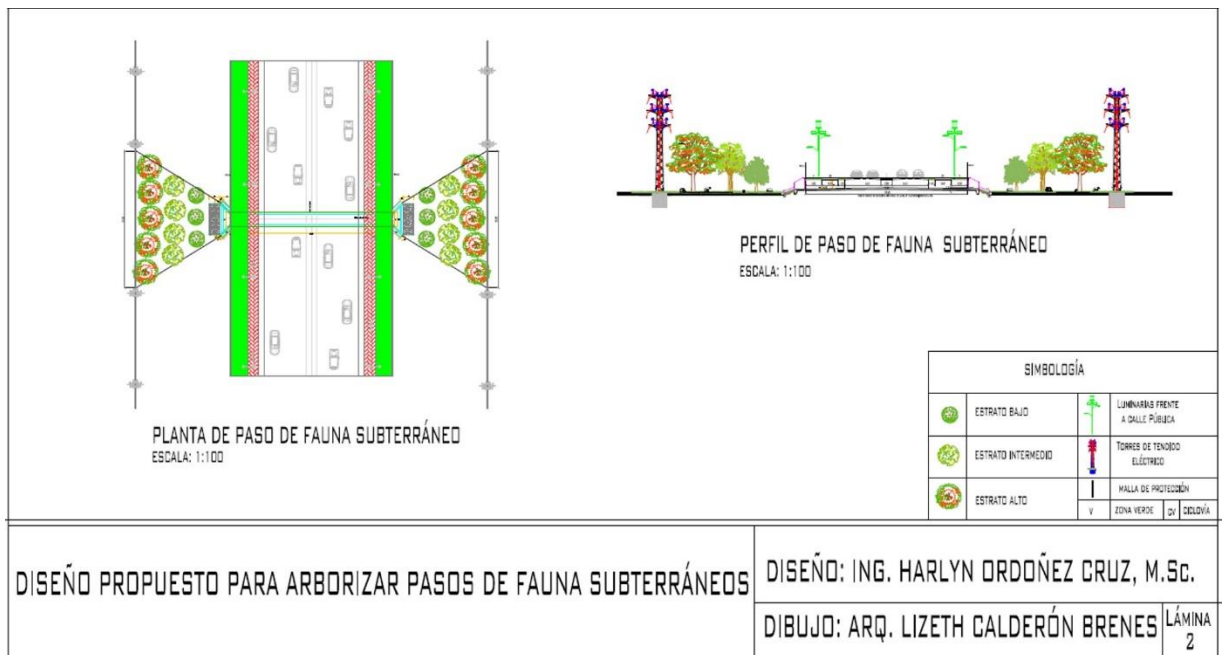


Figura 9. Diseño propuesto para la arborización en pasos de fauna inferiores, Limonal-Cañas.

Los diseños incluyen la sección de mantenimiento de 3 m, desde la calzada hacia el derecho de vía, indicada en el Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes (MOPT, 2015), los postes del tendido eléctrico y la distribución de los árboles según el tipo de paso:

- Pasos de fauna inferiores: Incluyen la malla protectora que se coloca para dirigir la fauna al paso y según el diseño propuesto, por seguridad vial, las especies forestales se distribuirían según la altura, de manera que las especies de menor altura sean ubicadas cerca de la calzada, seguidas por la de altura mediana y las de mayor altura junto a la cerca. Además, en los pasos inferiores con espacio menor que 3 m, se recomienda plantar arbustos como *Vachellia collinsii*, distribuido al azar u algunas otras plantas arbustivas de la zona como *Senna hayesiana* (abejoncillo) y *Stachytarpheta frantzii* (rabo de gato).
- Pasos de fauna superiores: A diferencia de los pasos inferiores, no incluyen la malla (para este proyecto específicamente), se recomienda no plantar árboles debajo del paso y colocar árboles de mediana altura a 2 m de distancia de cada lado del paso para evitar que los árboles empujen la estructura.

Recomendaciones técnicas para las actividades de selección del material, preparación del terreno, plantación y seguimiento (mantenimiento y monitoreo de los árboles)

Para la elaboración de las especificaciones técnicas de esta propuesta se consideraron aspectos mencionados en protocolos para reforestación en el Gran Área Metropolitana (Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcos, 2016 y Sánchez, et al., 2017) y Diseños técnicos de proyectos de compensación ambiental realizados por el Área de Conservación Guanacaste (ACG, 2016).

En primera instancia, es importante señalar que la plantación debe realizarse en el segundo mes de iniciada la estación lluviosa de manera que el suelo esté suave y húmedo, y que las plantas reciban más de dos meses de lluvia para asegurar el establecimiento. Con la información obtenida de las especies forestales seleccionadas y las condiciones físicas de los sitios se

recomienda atender las siguientes especificaciones técnicas para la exitosa ejecución del plan de arborización:

Especificaciones técnicas para la selección del material a plantar

La mayoría de las especies recomendadas no se encuentran disponibles en vivero, solamente las especies *Andira inermis*, *Byrsonima crassifolia*, *Coccoloba caracasana*, *Genipa americana*, *Hymenaea courbaril*, *Plumeria rubra*, *Psidium guajava*, *Simarouba glauca*, *Tabebuia rosea* y *Zygia longifolia*. Por lo anterior, y en vista de que el MOPT contrata una empresa para este tipo de trabajos, las especificaciones en este punto están dirigidas a los aspectos a considerar para la selección de la calidad del material a plantar:

- El tamaño de la bolsa a utilizar para reproducir las especies debe ser de 40 x 40 cm.
- Los árboles a plantar, deben tener una altura aproximada de 1,0 – 1,50 m, medidos desde la base hasta el ápice de la copa y deben permanecer en vivero entre 12 y 18 meses para evitar mayor estrés en las plantas al ser llevadas al campo.
- El fuste debe ser recto, libre de perforaciones (plagas o enfermedades) y daños físicos (mecánicos) que permitan el ingreso de plagas y enfermedades.
- El adobe debe ser consistente y proporcional al tamaño de los árboles, envuelto en bolsa plástica u otro material resistente.
- La raíz debe recibir tratamiento de poda, estar totalmente recuperada y sin raíces expuesta en el momento de la plantación.
- La copa debe estar definida, bien formada, frondosa, con buenas condiciones de turgencia, sin signos de resequeidad, sin manchas foliares (producto de hongos), sin

signos de amarillamiento o clorosis, ni mosaicos o arrugamientos (producto de virosis, bacterias, deficiencias nutricionales o enfermedades fisiológicas) y libre de mutilaciones o marcas provocadas por insectos masticadores.

Especificaciones técnicas para la plantación

Previo a la labor de plantación es necesario preparar el terreno, para lo cual primero se deben marcar los puntos donde se van a sembrar los árboles, revisar que el área esté libre de desechos, realizar una chapea localizada en cada punto y aplicar herbicida (tipo rodajea, pero más amplia). La realización de chapeas localizadas permite disminuir las gramíneas invasoras y otras hierbas en el punto a plantar para que no compitan con los árboles. La aplicación de herbicida se debe hacer por erradicación (aplicador manual o bien, el dispositivo “deshierbador ecológico”) para combatir el pasto elefante u otras malezas de crecimiento agresivo.

Los materiales requeridos para realizar la labor de plantación se describen a continuación:

- Valla proyectora: Es un cajón de madera de 8 piezas, con dimensiones de 1” x 2” y 30 y 120 cm de largo que se fabrica previamente, se utiliza para proteger el árbol y sirve también como tutor al mantener el árbol fijo y sujeto durante el periodo de arraigo de sus raíces en su nueva ubicación. Se recomienda pintar una sección de la valla con pintura fosforescente para mejor visibilidad o colocar cinta de seguridad.
- Cinta de plástico o mecate: Se utiliza para sujetar el árbol a la valla protectora y se recomienda tiras entre 45 y 50 cm de largo que pueden ser de mecate de nylon por ser resistente o plástico.
- Placa plástica y alambre: Se utiliza para grabar el código asignado al árbol para su identificación y se coloca en la valla proyectora.

- Abono: El abono tiene la función de suplir rápidamente los nutrientes no disponibles en el suelo. Para la primera abonada se recomienda las fórmulas N-P-K en proporciones de 10-30-10 o 12-24-12.
- Polímero retenedor de agua: Con el uso de este gel se busca provisionar agua a los árboles para minimizar la mortalidad en época seca, principalmente.
- Sustrato: Las condiciones edáficas de los sitios evaluados fueron de regular a buena, sin embargo, a raíz de que el proyecto está en ejecución y es inevitable la contaminación del suelo con escombros pequeños debido a la remoción del terreno, es recomendable sustrato fértil para sustituir el suelo extraído al realizar el hueco donde se colocará el árbol.
- Palines: Los palines se deben utilizar para hacer el hueco donde va a colocarse el árbol ya que debido a su tamaño y forma son ideales para esta labor.
- Palas y rastrillos: Se utilizan para la limpieza del sitio a plantar.
- Carretillo: Se utilizan para la recolección de materiales, traslado de árboles y de vallas.
- Macana, barra y pico: Se utilizan en área donde el suelo el terreno es difícil de perforar con un palín.
- Serrucho, clavos y martillo: Se utilizan para fabricar las vallas protectoras.
- Bolsas para residuos: Se utilizan para la recolección de las bolsas de los árboles y cualquier otro residuo generado durante la labor de plantación.

Para realizar la plantación de los árboles se requiere considerar las siguientes indicaciones:

- Traslado de plantas: Los árboles son muy susceptibles a sufrir estrés por lo que el traslado al sitio de plantación debe realizarse con cuidado para evitar cualquier maltrato (daño mecánico) que se les pueda ocasionar. Por lo anterior, se debe procurar al máximo trasladarlos en un vehículo con cajón cerrado para que el viento no cause daño a las hojas y en horas de la mañana, momento en el que la temperatura ambiente es más fresca y ocasiona menos deshidratación. Además, para cargar el vehículo, se recomienda levantar los árboles por la base del adobe o de la bolsa (nunca del tronco) y rociar las hojas con una solución de agua con azúcar para cerrar las estomas y evitar la deshidratación del follaje.
- Ubicación de los árboles: Se recomienda seguir el diseño general propuesto según el tipo de paso de fauna identificado en cada sitio (Figuras 8 y 9). La densidad de plantación a utilizar será de 3 x 3 m en pata de gallo para generar una alta densidad de árboles con varios estratos debido a la diferencia en las velocidades de crecimiento de las especies.
- Hoyado: Los huecos para sembrar los árboles deben ser de mayor tamaño al de las bolsas (aproximadamente 40 x 40 cm) de manera que se tenga espacio suficiente para colocar el abono, el polímero retenedor de agua y el sustrato fértil.
- Abonado: Para la plantación se debe aplicar N-P-K en proporciones de 10-30-10 o 12-24-12 con mayor cantidad de fósforo para estimular el rápido desarrollo radical, lo que mejora la adaptación colonización inicial del sitio. La dosis de abono a aplicar es de 20 g para árboles de 1-1,5 m; este se debe colocar en el fondo del hoyo y cubrirse con una capa de tierra suelta de unos 2,5 cm para aislar las raíces de los químicos contenidos en el abono y evitar que se quemem.
- Polímero retenedor de agua: Este polímero se coloca de forma uniforme sobre la capa de tierra que cubre el abono porque se requiere el contacto directo con las raíces. Se recomienda utilizar 10 g por árbol.

- **Plantación del árbol:** Primero se coloca el abono en el fondo del hueco, se cubre con suelo y se añade el polímero retenedor de agua. Para plantar el árbol, es necesario eliminar la bolsa haciendo un corte lateral desde arriba hasta la base de la bolsa y con cuidado se separa la bolsa del adobe. Posteriormente, se coloca la planta con todo el adobe en el hueco de forma recta y centrada, y se sustituye el suelo extraído por suelo fértil para ir rellenando los espacios libres e ir compactando uniformemente para evitar dejar bolsas de aire entre la raíz y el suelo (las raíces al llegar a estos espacios mueren), hasta cubrir completamente y llegar a la superficie. En la superficie se recomienda pisar la tierra para romper las bolsas de aire que pudieron quedar.
- **Vallas protectoras:** Estas deben colocarse una vez plantado el árbol y deben anclarse fuerte para poder sujetar el árbol y que no sea movido por el viento. Los árboles se atan a la valla por lo que el mecate o cinta debe fijarse a ésta y nunca al árbol y es importante velar que el mecate no dañe ni corte al árbol durante el crecimiento. Finalmente, se coloca la placa plástica para identificar el árbol a futuro durante el monitoreo.
- **Recolección de residuos:** Los residuos generados por la actividad de plantación pueden ser recolectados durante la siembra de cada árbol o al finalizar la labor en su totalidad, lo importante es estar pendiente de la recolección y colocarlos en las bolsas para residuos.

Especificaciones técnicas para el seguimiento (mantenimiento y monitoreo) de los árboles.

Una vez plantados los árboles se recomienda realizar un levantamiento geográfico, con GPS, de cada árbol con su respectivo código, para llevar un control de la mortalidad de las especies en sitio y medir los porcentajes de sobrevivencia. Además, se deberá contemplar actividades básicas de mantenimiento agrosilvicultura al menos por un periodo de tres años, que es un período crítico de establecimiento, para asegurar que el árbol se desarrolle bien, se establezca en el sitio y que se puedan sustituir los árboles muertos. A continuación, se describen las actividades que se deberán contemplar para el mantenimiento:

- Rodajea de cada árbol: Es un paso importante para garantizar el desarrollo adecuado de los árboles debido a que permite espacio inmediato con mínima competencia contra malezas, bejucos y agentes que retarden su crecimiento. Se recomienda hacer una rodajea, como mínimo de 1 m de radio, al menos de tres a cuatro veces por año. Las intervenciones por rodajea deben ser en mayor cantidad en la época lluviosa, cuando se activa más el crecimiento de malezas y otras plantas. La rodajea deberá realizarse de forma manual (machete o pala) para evitar causar daño mecánico a los árboles y lo más cercano al nivel del suelo para retardar el crecimiento de las cepas de zacate presentes. También, cuando los árboles están establecidos se podrá realizar la rodajea con un herbicida sistémico aplicado por contacto, según el crecimiento y desarrollo de las plantas invasoras, dos veces al año en época lluviosa.
- Sustitución: Los árboles muertos deberán ser sustituidos por lo que durante las visitas de mantenimiento se deberá registrar los árboles muertos para reemplazarlos en el menor tiempo posible y durante la época lluviosa.
- Podas: Las podas pueden ser sanitarias o de mantenimiento, son necesarias para mejorar la salud de los árboles, dirigir y mejorar su crecimiento. Se recomienda realizar una poda al menos una vez al año, si los árboles lo requieren; utilizar serruchos o podadoras de extensión para no desgarrar los tejidos de la corteza y aplicar la pasta selladora en el corte realizado para evitar la entrada de agentes patógenos al individuo.
- Fertilización: Los árboles deberán ser abonados, 3 o 4 meses después de la siembra, con 20 g (altura de 1,5 m) o con 40 g (altura de 2 a 3 m), con una fórmula completa, efectiva en la etapa de crecimiento activo y adaptación al terreno. Árboles con altura superior a 4 m, no es necesario aplicarles abono porque ya se han establecido. También se recomienda, antes de la época seca, aplicar una fórmula orgánica (gallinaza, compost, heces de cerdo o vaca, lombricompost) que provea gradualmente al árbol de nitrógeno y mantenga la humedad puntual. Para los años dos y tres se recomienda realizar una

abonada anual, con fórmula completa, al inicio de la época lluviosa en dos puntos con esquepe respetando la distancia de una cuarta del árbol.

Para el monitoreo, se recomienda en cada visita de mantenimiento, tomar nota en una libreta de campo, sobre aspectos visuales de los árboles como mortalidad, estado de hojas y tronco o cualquier otra afectación que se observe y que pueda perjudicar el buen desarrollo de los individuos.

Para la implementación de las labores de mantenimiento y monitoreo se elaboró el cuadro 14 donde se indica el mes recomendado para ejecutar cada actividad en los primeros tres años de desarrollo de los árboles.

Cuadro 14. Cronograma de actividades de mantenimiento y monitoreo de los árboles a realizar durante los primeros tres años de desarrollo, (Fuente Elaboración propia).

Actividad	Año 1					Año 2				Año 3			
	Set	Oct	Dic	Mar	Jun	Set	Dic	Mar	Jun	Set	Dic	Mar	Jun
Rodajea	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sustitución	x	x			x	x	x		x	x	x		x
Fertilización		x	x		x				x				x
Podas					x				x				x
Monitoreo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Especificaciones técnicas a considerar por CONAVI en las intervenciones de conservación vial en las áreas de pasos de fauna.

Esta propuesta de arborización es una restauración activa para proporcionar vegetación alrededor de los pasos de fauna. Sin embargo, esta intervención debe complementarse con una restauración pasiva de la naturaleza, de manera que las especies pioneras, arbustivas y rastreras se establezcan y junto con los árboles plantados, formen una sección de vegetación que provea cobertura y funcionalidad a los pasos de fauna establecidos. Por lo anterior, es importante que

Gerencia de Conservación vial del CONAVI, considere intervenir de forma controlada el área reforestada para permitir que la naturaleza haga su parte y se establezca un estrato bajo. En la Figura 10 se muestra una adaptación al Protocolo para el Mantenimiento de Pasos de Fauna Silvestre elaborado por Venegas (2017) y se definen los límites de corta de vegetación para los alrededores de los pasos de fauna y un área con intervención controlada donde se podrá recolectar todos los residuos inorgánicos presentes. Además, para los pasos de fauna superiores, eliminar las lianas o bejucos que trepan la estructura aérea y pasos de fauna inferiores, recolectar los residuos y ramas secas que obstruyan el cruce de la fauna en las estructuras subterráneas.

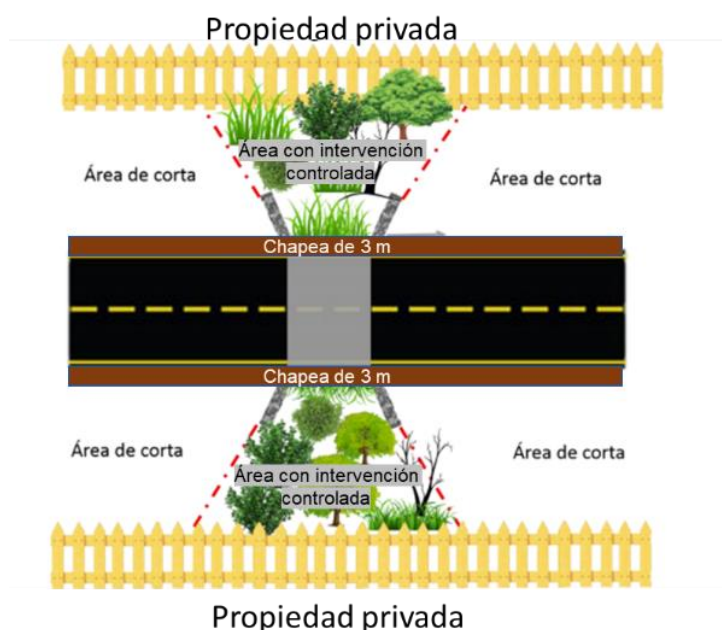


Figura 10. Diseño propuesto para las intervenciones de chapea por parte de CONAVI, en las áreas de pasos de fauna, tramo Limonal-Cañas. Adaptado de “Protocolo para el mantenimiento de Pasos de Fauna Silvestre” por M. Venegas, 2017, Universidad Nacional de Costa Rica.

5.3.2. Estimación de costos de arborización y seguimiento (mantenimiento y monitoreo)

En el Cuadro 15 se muestran los costos estimados para la plantación de los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el tramo Limonal-Cañas. La mortalidad se estimó en un 20% y las

especificaciones para cada rubro se describen el Anexo 10. Para los cálculos de los costos en dólares se utilizó un tipo de cambio del dólar de ¢598.

Cuadro 15. Costos estimados para la actividad de plantación de árboles en los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el Tramo Limonal-Cañas, (Fuente Elaboración propia basado en costos de reforestación de los Anexos 10 y 11).

Rubro	Información	Costo/árbol (¢)	Costo Total (¢)	Costo Total (\$)
Árboles para plantar	486 árboles	10000	4860000	8012
Transporte de árboles	2 viajes	823	400000	659
Sustrato para plantación	12,5 kg/árbol	967	470000	775
Transporte lombricompost	1 viaje	412	200000	330
Transporte de tierra	2 horas	74	36000	59
Valla protectora	486 unidades	1200	583200	961
Polimero retenedor de agua	10 g/árbol	108	52625	87
Fertilizante para plantación	20 g/árbol	29	14000	23
Herramientas menores	Varias	349	169500	279
Mecate	243 m	75	36450	60
Bomba de espalda	Royal	185	90000	148
Placas	Plásticas	60	29160	48
Aerosol	Fosforescente	103	50000	82
Herbicidas	6 gal	136	66000	109
Pega para herbicida	1 L	10	5000	8
Mano de obra	6 personas/8 días	818	397708	656
Transporte de personal	Alquiler camión 8 días	1317	640000	1055
Imprevistos	5%	833	404982	668
Subtotal		17499	8504626	14020
Costo administrativo	5%	875	425231	701
Utilidad	30%	5250	2126156	3505
Costo sustitución		23624	11056013	18226
Costo sustitución árboles	98	20020	1961968	3234
Costo plantación y sustitución		43644	13017981	21461

En el Cuadro 16 se muestran los costos estimados para el mantenimiento de los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el tramo Limonal-Cañas. Las especificaciones para cada rubro se describen el Anexo 12.

Cuadro 16. Costos estimados para el mantenimiento de los árboles en los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el Tramo Limonal-Cañas, (Fuente Elaboración propia basado en costos de los Anexos 10 y 11).

Rubro	Información	Costo/árbol (₡)	Costo Total (₡)	Costo Total (\$)
Fertilizante año 1	Lombricompost y 15-15-15	288	140041	231
Fertilizante 15-15-15	40 g/árbol	41	20000	33
Transporte de personal	5 días	514	250000	413
Mano de obra	5 días	818	397708	656
Imprevistos	5%	69	33385	55
Subtotal		1443	701094	1157
Utilidad	30%	433	210328	347
Total		1875	911422	1504
Año 1		2122	1031463	1702
Año 2		1875	911422	1504
Año 3		1875	911422	1504
Costo total		5873	2854307	4710

En el Cuadro 17 se muestran los costos totales para la arborización de los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el tramo Limonal-Cañas. Estos costos incluyen un mantenimiento de 3 años para asegurar el establecimiento exitoso de los árboles.

Cuadro 17. Costos totales estimados para la arborización de los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el Tramo Limonal-Cañas, (Fuente Elaboración propia basado en Cuadros 15 y 16).

Rubro	Información	Costo/árbol (₡)	Costo Total (₡)	Costo Total (\$)
Plantación	486 árboles	43644	13017981	21461
Mantenimiento	12 intervenciones	5873	2854307	4710
Costo total		49517	15872288	26171

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las condiciones de sitio encontradas en el tramo Limonal-Cañas fueron las esperadas para una zona rural, plana y con antecedentes de existencia de cobertura vegetal. A pesar de que los sitios presentaron condiciones buenas a regular para la arborización, se recomienda el uso de sustrato adicional en la plantación, rico en nutrientes y con estructura ideal para el desarrollo de raíces finas, y vallas protectoras para resguardar los árboles.

La estacionalidad definida principalmente por la precipitación en la zona, es una limitante para el desarrollo de los árboles. Se recomienda el uso de un polímero retenedor de agua en la plantación y aplicar una fórmula orgánica (gallinaza, compost, heces de cerdo o vaca, lombricompost) que provea gradualmente al árbol de nitrógeno y mantenga la humedad puntual, para que los árboles enfrenten el primer verano.

Las especies forestales recomendadas para la arborización, en su mayoría, no están disponible en vivero. Se recomienda contratar un propietario de vivero que pueda reproducir las especies con anterioridad a la siembra y seguir las indicaciones técnicas para la producción de árboles de calidad, coordinar con la Dirección de Seguridad y Embellecimiento de Carreteras del MOPT o bien establecer un convenio con el Instituto Costarricense de Electricidad para que por medio de sus viveros se pueda reproducir el material requerido para el proyecto.

El espacio disponible en derecho de vía, era el esperado en algunos sitios. Sin embargo, los sitios con limitado espacio corresponden a pasos inferiores donde no se requiere de vegetación con dosel superior. Se recomienda plantar arbustos como *Vachellia collinsii*, *Senna hayesiana* y *Stachytarpheta frantzii*, que funcionen como barrera natural contra ruido y luz para que los animales no sean atraídos a la carretera.

El levantamiento de variables evaluadas en campo fue difícil debido a las actividades de ejecución de las obras. Se recomienda para trabajos futuros similares considerar un avance de obras mayor para tener datos más exactos del estado final del derecho de vía en el que se realizará la arborización.

La propuesta de arborización de los pasos de fauna es una intervención de restauración activa para proveer cobertura, contrarrestar la fragmentación y mejorar la conectividad. Sin embargo, se recomienda a CONAVI seguir las especificaciones dadas, durante las intervenciones de Conservación Vial, para lograr una restauración pasiva del sitio, que permita el establecimiento de especies pioneras, arbustivas y rastreras como complemento a la arborización.

La arborización propuesta en conjunto con la infraestructura para el cruce contribuirá significativamente a mejorar la conectividad con la vegetación colindante, sin embargo, se recomienda valorar la creación de corredores de fauna a lo largo del derecho de vía con la plantación de una línea de árboles junto a la cerca para proporcionar a la fauna el desplazamiento hacia otras estructuras de pasos y evitar que intenten cruzar la vía directamente, al no encontrar el paso. Asimismo, recuperar las áreas de protección de los cuerpos de agua con el objetivo de fortalecer estos ecosistemas de gran importancia para el desplazamiento de la fauna silvestre al cumplir una función de corredores biológicos.

La arborización, es una variable de importancia que, en conjunto con la señalización, la remoción de la vegetación cercana al margen, reductores de velocidad, vallados o cercas perimetrales, educación ambiental y concientización, influye en el uso de las estructuras por la vida silvestre. Se recomienda el monitoreo de los pasos de fauna para validar su funcionalidad e identificar mejoras que se puedan implementar.

7. REFERENCIAS

- ACG (Área de Conservación Guanacaste). (2016). Diseño técnico del Proyecto: Corredores de Fauna entre Parque Nacional Guanacaste y Parque Nacional Santa Rosa a la altura de Ruta 1, Interamericana Norte. Guanacaste, Costa Rica. 25 pp.
- Aguilar-Garavito, M. y Hernández, W. (2016). Fundamentos y consideraciones generales sobre restauración ecológica para Colombia Resumen. *Biodiversidad En La Práctica*, 1(1), 147–176. Recuperado de:
<http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/BioP/e1/06-fundamentos-re.pdf>
- Arroyave, M., Gómez, C., Gutiérrez, M., Zapata, P., Vergara, I., Andrade, L. y Ramos, K. (2006). Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo, *Revista EIA*, 1 (5), 45-57.
- Barrantes, G. (2008). Metodología para la evaluación económica de daños ambientales. Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS). 38 pp.
- Beckmann, J., Clevenger, A., Huijser, M. y Hilty, J. (2011). Safe Passages: Highways, Wildlife and Habitat Connectivity. *Journal of Mammalogy*, 92(5), 1140–1141. doi 10.2307/23259952
- Bekker, H. (1998). Habitat fragmentation and infrastructure in the Netherlands and Europe. En *International conference on wildlife ecology and transportation*, 9-12 de febrero 1998 (151–165). Tallahassee, Florida, Estados Unidos.
- Bissonette, J. (2007). Evaluation of the use and effectiveness of wildlife crossings, NCHRP 25-27: Final Report. Logan, Utah: NCHRP.

- Bolaños, R.; Watson, V., y Tosi, J. (2005). Mapa ecológico de Costa Rica (Zonas de Vida), según el sistema de clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge), Escala 1:750 000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Brudvig, L. A., Barak, R. S., Bauer, J. T., Caughlin, T. T., Laughlin, D. C., Larios, L. y Zirbel, C. R. (2017). Interpreting variation to advance predictive restoration science. *Journal of Applied Ecology*, 54(4), 1018–1027. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12938>
- Clevenger, A. y Huijser, M. (2011). *Wildlife crossing structure handbook, Design and evaluation in North America: Technical report No. FHWA-CFL/TD-11-003*. Bozeman – United States of America: Western Transportation Institute. 223p.
- Clewell, A. y Aronson, J. (2013). Ecological Restoration, Principles, Values, and Structure of an Engineering Profession. En *The Quarterly Review of Biology* (Vol. 21).
- Di Marco, E. (2014). Práctica Silvícola: Enriquecimiento del Bosque Nativo. *Revista Producción Forestal*, 11 (4), 37-37.
- EPYPSA. (2010). Costa Rica. Programa de Agua potable y Saneamiento para el Nivel Subnacional (CR-T1034) BID, AyA, IFAM. Informe de Plan Maestro de los Sistemas de Abastecimiento de Agua y Saneamiento Municipales.
- Forman, R., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A., Cutshall, C., Dale, V... Winter, T. (2002). *Road ecology science and solutions*. Washington DC: Island Press. 481pp.
- Forman, R., Sperling, D., Bissonette, J., Clevenger, A., Cutshall, C., Dale, V... Winter, T. (2003). *Road ecology science and solutions*. Washington DC. 481pp.

- Herrera, A., y Soto, D. (2014). Estudio de Geología Básica del Terreno. Proyecto: Rehabilitación y ampliación Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana norte, sección Barranca-Cañas. 24 pp. San José, CR: MOPT.
- Holl, K. y Aide, T. (2011). When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261 (2011) 1558–1563. Recuperado de <http://www.holl-lab.com/uploads/2/6/0/0/26004460/hollaide2011.pdf>
- Huijser, M., Kociolek, A., McGowen, P., Hardy, A., Clevenger, A. y R. Ament. (2007). Wildlife-Vehicle Collision and Crossing Mitigation Measures: a Toolbox for the Montana Department of Transportation. College of Engineering. Montana State University. Reporte prepared for Western Transportation Institute. Montana, United States. 126 pp.
- INAFOR, INTA, FAO. Evaluación Visual del Suelo (EVS). Guía de campo. Basado en metodología desarrollada por Graham Shepherd T. G. 2000: La Valoración de Visual del Suelo. Volumen 1. Horizons.mw & Landcare Research, Palmerston north. 84 pp.
- Iuell, B., Bekker, G., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C... Wandall, B. (2005). Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. [Manual]. Recuperado de http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_Handbook.pdf/
- Jackson, S. y Griffin, C. (2000). A strategy for mitigating highway impacts on wildlife. pp 143-159. In Messmer T.A. and B. West, (eds) *Wildlife and highways: Seeking solutions to an ecological and socio-economic Dilemma*. The Wildlife Society.

- Jones, W., Swanson, B., Wemple, C. y Snyder, S. (2000). Effects of roads on hydrology, geomorphology and disturbance patches in stream networks. *Conservation Biology* (14), 76:85.
- Lanuza, O. (2016). Restauración ecológica de bosques tropicales en Costa Rica: efecto a mediano plazo sobre la producción y descomposición de la hojarasca. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Linares, E. B. (2018). Propuesta de estándar para la restauración a escala de paisaje. Centro Agronómico Tropical para la Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Lodge, T. (2000). Effect of a motorway on mortality and isolation of wildlife populations. *Ambio*, 29(3), 163-166.
- McDonald, T., Gann, G. D., Jonson, J. y Dixon, K. W. (2016). International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts (S. for E. Restoration, Ed.). Washington, D.C.
- Meine, C. (2017). Restoration and “Novel Ecosystems”: Priority or Paradox? *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 102(2), 217–226. <https://doi.org/10.3417/2016037>.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (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 infraestructura de transportes, número 1. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 139 pp. Madrid.

MINAMBIENTE (Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible). (2015). Plan nacional de restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá, Colombia: MINAMBIENTE.

Mola, I., Sopeña, A. y de Torre, R. (2018). Guía Práctica de Restauración Ecológica. Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 77 pp. Recuperado de <https://ieeb.fundacion-biodiversidad.es/content/guia-practica-de-restauracion-ecologica>.

MOPT (Ministerio de Obras Públicas y de Transportes). (2015). Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes. República de Costa Rica.

MOPT (Ministerio de Obras Públicas y de Transportes). (11 de mayo 2011). Creación del proceso de gestión ambiental y social. [246]. Recuperado de https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2011/05/11/COMP_11_05_2011.html#_Toc292790250/

Muñoz, S., Vega, M., Herrera, A., Soto, D., Bogantes, A...Bonilla, J. (2016). Pronóstico Plan de Gestión Ambiental Proyecto: Rehabilitación y ampliación Ruta Nacional No. 1, carretera interamericana norte, sección Barranca-Cañas. 10pp. San José, CR: MOPT.

Pomareda, E., Araya, D., Ríos, M., Arévalos, E., Aguilar, M. y Menacho, R. (2014). Guía ambiental: “Vías amigables con el ambiente”. San José, Costa Rica: Comité Científico de la Comisión de Vías y Vida Silvestre.

- Prado, E. (2016). Informe de avance tramo Cañas-Limonal (Contrato de préstamo No. 3071/oc-cr y 3072/ch-cr). Proyecto: Rehabilitación y ampliación ruta nacional No. 1, carretera interamericana norte, sección Barranca-Cañas. 15 pp. San José, CR: MOPT.
- Presidencia de la República de Costa Rica. (16 junio, 1994). Metodología para la determinación de la capacidad de uso de las tierras en Costa Rica. [15972]. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/informacion/imagenes-nama-cafe-taller/Decreto-Ejecutivo-23214-MAG-MIRENEM.pdf>
- Quintero, D. (2016). Guía de buenas prácticas para carreteras ambientalmente amigables. David, Panamá: Latin America Conservation Council. 67pp.
- Rajvanshi, A., Mathur, V., Teleki, G. y Mukherjee, S. (2001). Roads, sensitive habitats and wildlife: Environmental guidelines for India and south Asia. Wildlife Institute of India, Dehradun and Canadian Environmental Collaborative Ltd. Toronto.
- Reyes, I. y Gutiérrez, J. (2010). Los servicios ambientales de la arborización urbana: retos y aportes para la sustentabilidad de la ciudad de Toluca. Quivera, 12 (1), 96-102. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México.
- Reyes, D. (2012). Análisis de los procesos de restauración pasiva para un bosque seco tropical en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Guanacaste, Costa Rica. Tesis para optar por el título de Ingeniero Forestal con el Grado Académico de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Rojas, P., Vílchez, B., Moya, R. y Sasa, M. (2015). Combustibles forestales superficiales y riesgo de incendio en dos estadios de sucesión secundaria y bosques primarios en el

Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 12 (29), 29-45.

Rojas-Jiménez, K. (2016). *Contratación de Servicios de Ingeniería para la ubicación y diseño de propuesta para pasos de fauna en el tramo de carretera Limonal – Cañas, en la Ruta Nacional No. 1*. 134 pp. San José, CR: MOPT.

Sánchez, G., Valle, D., Scorza, F., Feoli, S y Artavia, R. (2015). *Protocolo reforestación para la rehabilitación y mantenimiento en áreas de protección de la GAM*. 91 pp. Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Municipalidad de San José y Compañía Nacional de Fuerza y Luz. San José, Costa Rica.

Sánchez, J., Delgado, C., Mendoza, E. y Sauzo, I. (2013). *Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre de México*. *CONABIO. Biodiversitas*, 111, 12-16.

Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/277776718_LAS_CARRETERAS_como_un_a_fuente_de_mortalidad_de_fauna_silvestre_en_Mexico.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2016). *Manual para estudios, gestión y atención ambiental en carreteras*. D.F, México: SCT. Recuperado de

<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manuales-2016/manual-atencion-ambiental-carreteras.pdf>.

SER (Internacional Society for Ecological Restauration). (2004). *Principios de SER International sobre la Restauración Ecológica*. Society for Ecological Restoration International, 1–15.

- Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcoles. (2016). Protocolo de recuperación de áreas de protección y arborización para la provincia de Heredia. 53 pp. Heredia, Costa Rica.
- UEP-PIT. (2019). Informe de actualización solicitado por PROGAS con respecto a los pasos de fauna del proyecto “Ampliación y Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte Barranca - Cañas, sección Limonal - Cañas”. 11 pp. San José, Costa Rica.
- Valladares, F., Balaguer, L., Mola, I., Escudero, A. y Alfaya, V. (2011). Restauración ecológica de áreas afectadas por infraestructuras de transporte. Bases científicas para soluciones técnicas. Madrid, España. Fundación biodiversidad.
- Vargas, O. (2007). Guía Metodológica para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino. En Grupo de Restauración Ecológica.
- Venegas, M. (2017). Protocolo para el mantenimiento de Pasos de Fauna Silvestre”. Universidad Nacional de Costa Rica. Heredia, Costa Rica.

8. ANEXOS

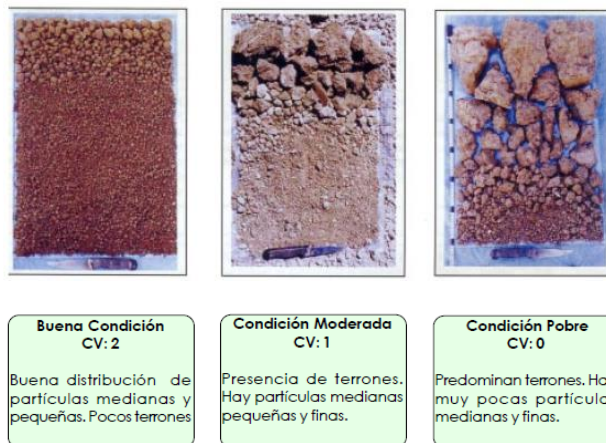
Anexo 1. Evaluación de indicadores y respectiva calificación o valor visual.

1. Estructura y consistencia

Para tomar la muestra se excava con la pala un cuadro de 20 cm de profundidad, para tener tierra suficiente para evaluar la mayoría de los indicadores de calidad del suelo.

Para la prueba de fragmentos se deja caer la muestra un máximo de tres veces desde una altura de 1 m hacia el cuadro de madera al fondo de la cubeta plástica. Si los terrones grandes se separan después de la primer o segunda caída, se dejan caer individualmente de nuevo una vez o dos veces. Si un terrón se estrella y fragmenta en pequeñas estructuras en la primera o segunda caída, no se necesita hacerlo de nuevo. No se debe dejar caer cualquier pedazo de tierra más de tres veces.

Cada terrón se parte a mano a lo largo de cualquier plano de la fractura o hendidura. Luego transfiera la tierra hacia la bolsa plástica grande. Mueva los fragmentos más toscos a un extremo y el más fino al otro extremo. Esto proporciona una medida de la distribución y tamaño de los agregados. Se compara la distribución resultante de los agregados con las fotografías.



2. Porosidad del suelo

Con la pala, saque una rodaja de tierra a un lado del agujero creado para tomar la muestra, o tome varios terrones para calificar la estructura y consistencia del suelo. Examine la porosidad de la muestra, comparándola contra las fotografías.



3. Color del suelo

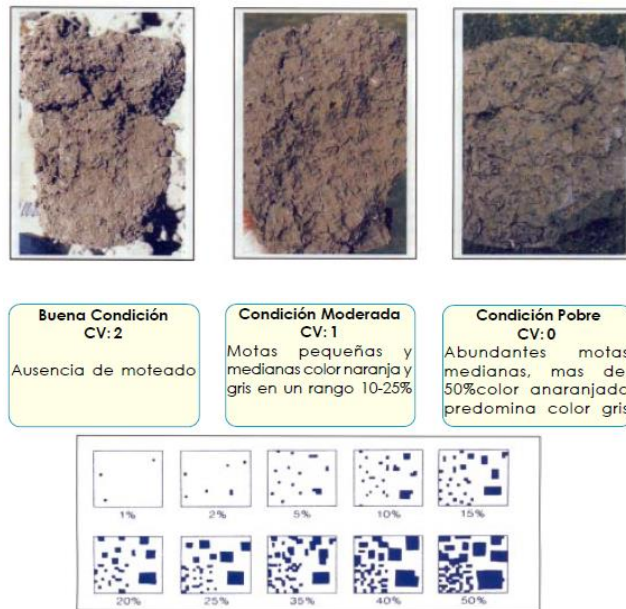
Compare el color de un puño de tierra de la muestra usada en la prueba de estructura, con la tierra tomada bajo la línea del cerco más cercana. Usando las tres fotografías debajo, compare que ha ocurrido si hay cambio relativo en el color de la tierra. La cobertura puede hacer variar notablemente el color entre los tipos de tierra, las fotografías de esta guía ilustran la tendencia de cambio de en lugar de establecer un color absoluto del suelo.

Se toma una muestra de la tierra bajo el cerco. Esto ayudará a conocer la coloración natural de ese suelo sin los efectos de labranza y agroquímicos.



4. Moteado del suelo y su abundancia

Evalúe el número, tamaño y color del moteado comparando el lado del perfil de la tierra, o varios terrones de la tierra de la prueba de estructura, con las fotografías.



5. Conteo de lombrices de tierra

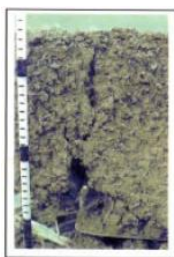
Revise cuidadosamente a través de la muestra de tierra evaluada en la prueba de estructura y cuente las lombrices de tierra. Normalmente se informan los números lombrices en base a un metro cuadrado. Una muestra de 20 cm cúbicos es equivalente a 1/25 metro del cuadrado y para

que el número de lombrices se multiplique por 25 para convertir a una base del cuadrado-metro. Si la profundidad de la muestra es sólo 0-10 cm, los mismos límites de la clase y factores de la conversión se aplican, porque las lombrices son muy abundantes en la cobertura superior. Para esta evaluación se utiliza la tabla siguiente.

Calificación Visual	Cantidad de lombrices
Cv	por cada 20 cm de suelo
2	> 8
1	4 a 8
0	< 4

6. Compactación (piso de arado)

Examine la parte inferior de la cobertura y compare con la parte superior. Esto puede hacerse en el sitio de muestra quitando una rodaja suelo con la pala justa en la orilla del agujero de 20 cm³ hecho para la evaluación de estructura, luego compare con las tres fotografías.



**Buena Condición
CV: 2**
No hay compactación.
Estructura y poros muy
visibles claramente.



**Condición Moderada
CV: 1**
Empieza a notarse
compactación en la
parte inferior del suelo.
Estructuras con pocos
poros, de fácil fractura.



**Condición Pobre
CV: 0**
Compactación muy
desarrollada en parte
inferior del suelo. No hay
macro poros.

7. Cobertura del suelo

Evalúe el grado de cobertura del suelo comparando la superficie de la tierra con las tres fotografías abajo propuestas. Debido a los cambios en las condiciones medioambientales, deben hacerse varias valoraciones durante el año para identificar el tiempo que el suelo permanece cubierto.



<p>Buena Condición CV: 2</p> <p>Superficie cubierta completamente por residuos.</p>	<p>Condición Moderada CV: 1</p> <p>Superficie cubierta parcialmente entre 30 y 50% por residuos.</p>	<p>Condición Pobre CV: 0</p> <p>Superficie completamente descubierta.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

8. Profundidad del suelo

Evalúe la profundidad del suelo, mientras excavando un agujero y compare el perfil de la tierra contra las tres fotografías abajo indicadas. Para esta evaluación se utiliza la tabla siguiente.

Calificación Visual (Cv)	Profundidad del suelo
2	> 60 cm
1	30-60 cm
0	< 30 cm

Anexo 2. Evaluación visual del suelo obtenida en campo, (Fuente Elaboración propia).

Sitio	Estructura y consistencia	Porosidad	Coloración	Número y color de moteado	Conteo de lombrices	Compactación	Cobertura	Profundidad	Total	Interpretación
1A	6	4	4	2	0	2	6	3	27	B
2A	6	4	4	2	0	1	6	3	26	B
2B	6	4	4	2	0	2	6	6	30	B
3A	6	4	4	2	0	1	6	3	26	B
4A	6	4	4	2	0	2	6	6	30	B
5A	3	4	2	2	0	1	6	0	18	M
5B	3	2	2	1	0	0	3	0	11	M
6A	3	2	2	1	0	0	6	0	14	M
6B	6	4	4	1	0	1	6	3	25	M
8A	6	4	2	2	0	1	6	3	24	M
8B	6	4	2	2	0	1	6	3	24	M
9A	3	2	2	1	0	0	3	0	11	M
10B	6	4	4	2	0	2	6	6	30	B
11A	6	4	4	2	0	2	6	6	30	B
11B	6	4	4	2	0	1	6	3	26	B
12A	6	4	4	2	0	1	3	3	23	M

Anexo 3. Valores de pendiente obtenidos en campo, (Fuente Elaboración propia).

Sitio #	Pendiente			Media
	1	2	3	
1A	2	13	23	12,67
1B	2	12	21	11,67
2A	0	0	0	0,00
2B	0	0	0	0,00
3A	0	12		6,00
3B	0	1		0,50
4A	3	10		6,50
4B	3	9		6,00
5A	2	1		1,50
5B	2	1		1,50
6A	15	5		10,00
6B	13	4		8,50
8A	5	5		5,00
8B	4	5		4,50
9A	13	2		7,50
9B	12	0		6,00
10A	0	0		0,00
10B	5	5		5,00
11A	1	2		1,50
11B	1	2		1,50
12A	4	3		3,50
12B	0	4		2,00

Anexo 4. Información de la variable ambiental levantada en campo, (Fuente Elaboración propia).

Sitio #	Indicadores de riesgo antrópico			Observaciones
	Afectación por polvo	Contaminación atmosférica	Daños mecánicos	
1A	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta. No accesos.	No viviendas. No ganado.	Se viene bajando pero sigue una recta plana. DV Amplio. Sí Cableado eléctrico.
1B	Hay vegetación en alrededores.	Curva. Acceso Cerro Pelado. Pendiente.	Varias casas.	Área con puente en construcción. DV muy angosto. No cableado eléctrico.
2A	Hay vegetación en alrededores.	Recta. No accesos.	Casa.	Área con puente en construcción. DV angosto. Sí cableado eléctrico.
2B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta. No accesos.	Casa. Ganado.	Área con puente en construcción. DV más amplio. Si cableado.
3A	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta. No accesos.	Casa. Ganado.	DV amplio. Cableado eléctrico.
3B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta. No accesos.	Casa. Ganado.	Área puente en construcción. DV angosto. No cableado.
4A	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta. No accesos.	No casas. No ganado.	DV amplio. No cables.
4B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta. No accesos.	Casa.	Área puente en construcción. DV angosto. Sí cableado.
5A	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores. Talud expuesto.	Recta. Acceso.	Casas en talud.	Talud alto. DV angosto. Cableado en talud.
5B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores. Talud expuesto.	Recta. No accesos.	No casas. No ganado.	Talud medio. DV más amplio. Cableado en talud.
6A	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Cuesta con curva.	Finca con casas.	DV amplio. Cableado.

Sitio #	Indicadores de riesgo antrópico			Observaciones
	Afectación por polvo	Contaminación atmosférica	Daños mecánicos	
6B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta con bajada.	No casas. No ganado.	DV mediano. Cableado.
7A	Hay vegetación en derecho de vía, talud expuesto.	Cuesta y curva.	No casas. No ganado.	Talud. No cableado. DV angosto.
7B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Bajada con curva.	No casas. No ganado.	DV angosto. Hay un desnivel alto con propiedad Ande. Cableado.
9A	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta. No accesos.	Casa.	DV amplio. Cableado.
9B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Cuesta con curva.	No casas. No ganado.	Área puente en construcción. DV angosto. Sí cableado.
10A	Hay vegetación en alrededores.	Curva.	No casas. No ganado.	Área puente en construcción. DV angosto. No cableado.
10B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Curva.	No casas. No ganado.	DV amplio. Cableado.
11A	Poca vegetación, potrero con suelo expuesto.	Recta. No accesos.	No hay casas. Hay potrero de ganado.	DV amplio. Cableado en propiedad privada.
11B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Acceso a plantación de Teca.	No casas. No ganado.	DV angosto. Cableado.
12A	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Recta con acceso a viviendas.	Casas.	DV amplio. Cableado.
12B	Hay vegetación en derecho de vía y alrededores.	Cuesta.	No casas. No ganado.	Desnivel con propiedad privada o DV muy pronunciado. No cableado.

Anexo 5. Valores de los indicadores de la variable ambiental con su respectiva interpretación, (Fuente Elaboración propia).

Sitio #	Indicadores de riesgo antrópico			Total	Interpretación
	Afectación por polvo	Contaminación atmosférica	Daños mecánicos		
1A	0	0	0	0	B
1B	0	2	1	3	M
2A	0	0	1	1	B
2B	0	0	2	2	M
3A	0	0	2	2	M
3B	0	0	2	2	M
4A	0	0	0	0	B
4B	0	0	1	1	B
5A	1	2	1	4	A
5B	1	0	0	1	B
6A	0	1	1	2	M
6B	0	0	0	0	B
8A	1	1	0	2	M
8B	0	1	0	1	B
9A	0	0	1	1	B
9B	0	1	0	1	B
10A	0	1	0	1	B
10B	0	1	0	1	B
11A	1	0	1	2	M
11B	0	1	0	1	B
12A	0	1	1	2	M
12B	0	1	0	1	B

Anexo 6. Lista de especies observada en cada uno de los sitios, (Fuente Elaboración propia).

Sitio 1A	Sitio 1B	Sitio 2A	Sitio 2B	Sitio 3A	Sitio 3B	Sitio 4A	Sitio 4B
Aceituno	Cenízaro	Aceituno	Almendro de playa	Almendro de río	Balsa	Capulín	Anono
Anono	Jícara	Cedro amargo	Caña fistula	Caoba	Caña fistula	Carao	Cenízaro
Capulín	Madero negro	Cenízaro	Caoba	Cenízaro	Cedro amargo	Cenízaro	Espavel
Cedro amargo	Mango	Cornizuelo	Carambola	Espavel	Cenízaro	Espavel	Guácimo
Cenízaro	Pochote	Cortez amarillo	Cenízaro	Guaba	Espavel	Gallinazo	Iguá
Cocobolo	Sotacaballo	Espavel	Guaba	Guanacaste	Guanabana	Guanacaste	Mango
Espavel	Tamarindo	Guácimo	Guácimo	Iguá	Higuerón	Guarumo	Palo mora
Guácimo		Guayaba	Guanacaste	Indio desnudo	Hormigo	Higuerón	Panamá
Guanacaste		Higuerón	Indio desnudo	Palo mora	Laurel	Marañón	Roble sabana
Guarumo		Manteco	Malinche	Panamá	Malinche	Panamá	Sotacaballo
Higuerón		Matapulgas	Mango	Tamarindo	Mango	Papaturro	Surá
Pochote		Ojoche	Palmeras		Orgullo de la india	Surá	
Roble sabana		Roble sabana	Pino		Roble sabana		
			Pochote		Sotacaballo		
			Roble sabana				
Sitio 5A	Sitio 5B	Sitio 6A	Sitio 6B	Sitio 8A	Sitio 8B	Sitio 9A	Sitio 9B
Aguacate	Aceituno	Almendro de río	Almendro de río	Madroño	Cenízaro	Chaperno	Caoba
Cortez amarillo	Guanacaste	Aromo blanco	Capulín	Botoncillo	Chaperno	Cocobolo	Espavel
Guácimo	Laurel	Ceiba	Cenízaro	Caimito	Guácimo	Encino	Guaba
Guarumo	Mango	Cenízaro	Cortez amarillo	Ceiba	Guanacaste	Guaba	Guácimo
Iguá		Cocobolo	Guácimo	Cenízaro	Guarumo	Guanacaste	Guaitil
Laurel		Gallinazo	Guarumo	Cortez amarillo	Hormigo	Guarumo	Pochote
		Guaba	Laurel	Guácimo	Iguá	Higuerón	
		Guácimo		Guanacaste	Indio desnudo	Papaturro	
		Guanacaste		Laurel	Jocote	Sotacaballo	
		Guarumo		Nance	Laurel		
		Indio desnudo			Malinche		
		Nance			Pochote		
		Pochote			Poró		
		Roble sabana			Roble sabana		
Sitio 10A	Sitio 10B	Sitio 11A	Sitio 11B	Sitio 12A	Sitio 12B		
Carate	Carate	Cenízaro	Espavel	Aguacate	Botoncillo		
Cedro amargo	Cocobolo	Gallinazo	Teca	Cenízaro	Caimito		
Espavel	Espavel	Nance		Citricos	Canelo		
Gallinazo	Gallinazo	Roble sabana		Guarumo	Espavel		
Guácimo	Guácimo			Laurel	Guanacaste		
Guanacaste	Guanacaste			Mango	Laurel		
Guarumo	Guarumo			Palmeras	Manteco		
Higuerón	Mango			Plátanos	Manteco		
Indio desnudo	Roble sabana			Surá	Palo mora		
Marañón					Surá		
Roble sabana							
Sotacaballo							

Anexo 7. Lista de especies obtenida del estudio de pasos de fauna, (Fuente Elaboración propia).

Nombre común	Nombre científico
Aguacate	<i>Persea americana</i>
Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>
Canelo	<i>Ocotea veraguensis</i>
Cedro amargo	<i>Cedrela odorata</i>
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>
Cenízaro	<i>Samanea saman</i>
Chaperno	<i>Lonchocarpus felipei</i>
Chaperno	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>
Cortez amarillo	<i>Tabebuia ochracea</i>
Coyol	<i>Acrocomia aculeata</i>
Espavel	<i>Anacardium excelsum</i>
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>
Guanacaste	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>
Guanacaste blanco	<i>Albizia niopoides</i>
Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>
Guarumo	<i>Cecropia sp.</i>
Guayacán	<i>Guaiaacum officinale</i>
Indio desnudo	<i>Bursera somarouba</i>
Lagarto	<i>Zanthoxylum sp.</i>
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>
Madroño	<i>Calycophyllum candidissimum</i>
Mango	<i>Mangifera indica</i>
Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>
Peine de mico	<i>Apeiba tibourbou</i>
Pochote	<i>Bombacopsis quinatum</i>
Anono	<i>Annona purpurea</i>
Cornizuelo	<i>Acacia collinsii</i>
Cordoncillo	<i>Piper sp.</i>
Higuerón	<i>Ficus sp.</i>

Anexo 8. Lista de especies obtenida del inventario forestal realizado en cada sitio, (Fuente Elaboración propia).

# árbol	Especies	Nombre común	Sitio
10500	<i>Abarema macradenia</i>	Arenillo	5
1893	<i>Albizia adinocephala</i>	Gavilancillo	12
733	<i>Albizia guachapele</i>	Guayaquil	3
850	<i>Albizia niopoides</i>	Guanacaste Blanco	5
843	<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	4
1416	<i>Anacardium excelsum</i>	Espavel	9
1412	<i>Andira inermis</i>	Almendro De Montaña	9
736	<i>Annona sp.</i>	Anono	3
11627	<i>Astronium graveolens</i>	Ron ron	10
1918	<i>Brosimum alicastrum</i>	Ojoche	12
1908	<i>Bursera simarouba</i>	Indio Pelado	12
10809	<i>Byrsonima crassifolia</i>	Nance	7
1685	<i>Casearia sylvestris</i>	Manga Larguita	10
837	<i>Cecropia sp.</i>	Guarumo	4
842	<i>Cecropia sp.</i>	Guarumo	4
10079	<i>Cedrela odorata</i>	Cedro Amargo	1
848	<i>Ceiba pentandra</i>	Ceiba	5
739	<i>Coccoloba caracasana</i>	Papaturro	3
92	<i>Cordia alliodora</i>	Laurel	1
1688	<i>Cordia collococca</i>	Laurel Muñeco	10
10298	<i>Delonix regia</i>	Malinche	3
744	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	Guanacaste	3
313	<i>Eugenia salamensis</i>	Fruta De Pava	2
10771	<i>Genipa americana</i>	Guaitil	7
852	<i>Gliricidia sepium</i>	Madero Negro	5
11626	<i>Guarea sp.</i>	Ocoro	10
91	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Guácimo	1
10299	<i>Hymenaea courbaril</i>	Guapinol	3
10615	<i>Inga sp.</i>	Guaba	6
12026	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	Orgullo De La India	12
747	<i>Licania arborea</i>	Alcornoque	3
1401	<i>Lonchocarpus costaricensis</i>	Pavillo	9
1678	<i>Luehea seemmanii</i>	Guácimo Macho	10
10765	<i>Machaerium biovulatum</i>	Carao Espinoso	7

# árbol	Especies	Nombre común	Sitio
1907	<i>Maclura tinctoria</i>	Mora	12
745	<i>Pachira quinata</i>	Pochote	3
10183	<i>Plumeria rubra</i>	Juche	2
11634	<i>Pseudobombax septenatum</i>	Ceibo Barrigón	10
89	<i>Psidium guajava</i>	Guayabo	1
311	<i>Samanea saman</i>	Cenízaro	2
746	<i>Simarouba glauca</i>	Aceituno	3
10301	<i>Sloanea terniflora</i>	Terciopelo	3
930	<i>Spondias mombin</i>	Jobo	6
10780	<i>Spondias porpurea</i>	Jocote	7
1415	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba	9
312	<i>Tabebuia ochracea</i>	Corteza Amarilla	2
1909	<i>Tabebuia rosea</i>	Roble Sabana	12
303	<i>Tectona grandis</i>	Teca	2
734	<i>Trichilia martiana</i>	Cedro Manteco	3
735	<i>Trichospermum sp.</i>	Guácimo Blanco	3
11624	<i>Zanthoxylum sp.</i>	Lagarto	10
90	<i>Zygia longifolia</i>	Sotacaballo	1

Anexo 9. Lista de especies obtenida de estudios realizados en sitios con zonas de vida, (Fuente Elaboración propia).

<i>Acacia collinsii</i>	<i>Cydista aequinoctialis</i>	<i>Muntingia calabura</i>
<i>Acrocomia aculeata</i>	<i>Dalbergia retusa</i>	<i>Myrospermum frutescens</i>
<i>Albizia adinocephala</i>	<i>Desmopsis bibracteata</i>	<i>Ocotea veraguensis</i>
<i>Albizia niopoides</i>	<i>Diphysa americana</i>	<i>Passiflora holosericea</i>
<i>Allophylus occidentalis</i>	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	<i>Piscidia carthagenensis</i>
<i>Allophylus racemosus</i>	<i>Eugenia galalonensis</i>	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>
<i>Alvaradoa amorphoides</i>	<i>Eugenia hiraefolia</i>	<i>Plumeria rubra</i>
<i>Anacardium excelsum</i>	<i>Euphorbia lasiocarpa</i>	<i>Prockia crucis</i>
<i>Annona purpurea</i>	<i>Exostema mexicanum</i>	<i>Pseudosamanea guachapele</i>
<i>Annona reticulata</i>	<i>Exostema sp.</i>	<i>Psittacanthus rhynchanthus</i>
<i>Apeiba tibourbou</i>	<i>Ficus sp.</i>	<i>Pterocarpus micheleanus</i>
<i>Aphelandra scabra</i>	<i>Fimbristylis dichotoma</i>	<i>Pullinia cururu</i>
<i>Ardisia revoluta</i>	<i>Genipa americana</i>	<i>Randia armata</i>
<i>Astronium graveolens</i>	<i>Godmania aesculifolia</i>	<i>Rehdera trinervis</i>
<i>Bauhinia glabra</i>	<i>Guaiacum sanctum</i>	<i>Rhipidocladum racemiflorum</i>
<i>Bauhinia unguolata</i>	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Samanea samam</i>
<i>Bombacopsis quinata</i>	<i>Gyrocarpus jatrophifolius</i>	<i>Sapindus saponaria</i>
<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Helicteres guazumifolia</i>	<i>Semialarium mexicanum</i>
<i>Bursera glabra</i>	<i>Hura crepitans</i>	<i>Sideroxylon capiri</i>
<i>Bursera simaruba</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Simarouba glauca</i>
<i>Caesalpinia eriostachys</i>	<i>Inga vera</i>	<i>Sloanea terniflora</i>
<i>Calophyllum brasiliense</i>	<i>Jacquinia nervosa</i>	<i>Spondias mombin</i>
<i>Calycophyllum candidissimum</i>	<i>Leptolobium panamense</i>	<i>Spondias purpurea</i>
<i>Capparis indica</i>	<i>Licania arborea</i>	<i>Stemmadenia obovata</i>
<i>Capparis odoratissima</i>	<i>Lonchocarpus costaricensis</i>	<i>Stenocereus aragonii</i>
<i>Casearia cf. Aculeata</i>	<i>Lonchocarpus minimiflorus</i>	<i>Sterculia apetala</i>
<i>Casearia corymbosa</i>	<i>Lonchocarpus phaseolifolius</i>	<i>Syngonium wendlandii</i>
<i>Casearia sylvestris</i>	<i>Lonchocarpus rugosus</i>	<i>Tabebuia impetiginosa</i>
<i>Cecropia peltata</i>	<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	<i>Tabebuia ochracea</i>
<i>Cedrela odorata</i>	<i>Luehea candida</i>	<i>Tecoma stans</i>
<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Luehea speciosa</i>	<i>Thouinidium decandrum</i>
<i>Chomelia spinosa</i>	<i>Lysiloma divaricatum</i>	<i>Trichilia americana</i>
<i>Coccoloba acapulcensis</i>	<i>Machaerium biovulatum</i>	<i>Triplaris melaenodendron</i>
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	<i>Maclura tinctoria</i>	<i>Trophis racemosa</i>
<i>Cordia alliodora</i>	<i>Manilkara chicle</i>	<i>Vachellia collinsii</i>
<i>Cordia collococca</i>	<i>Melloa quadrivalvis</i>	<i>Waltheria indica</i>
<i>Cordia panamensis</i>	<i>Miconia argentea</i>	<i>Xylosma intermedia</i>

Anexo 10. Costos de reforestación (E, Calderón, comunicación personal, 23 de octubre, 2020).

Rubro	Información	Costo (₡)
Árbol	1,0-1,5 m	10000
Lombricompost	50 k	7000
Alquiler camión	Diario	80000
Alquiler pick up	50000	50000
Placas plásticas	Unidad	60
Aerosol fosforescente	Envase	2500
Bomba espalda	Carpi-Royal	90000
Fertilizante 10-30-10	45 k	14000
Herbicida	1 gal	11000
Herbicida 24D	1 gal	11000
Pega para herbicida	1 L	5000
Palín	2	8000
Machete 26	2	4000
Martillo	1	2500
Carretillo	2	25000
Pico	1	11000
Barra	1	6000
Macana	1	14000
SERRUCHO	1	6000
Mangos	5	3000
Pala carrilera	2	5000
Clavos	kilo	1100
Mecate	Metros	150
Cuadrilla 6 personas	2 hueco, 2 plantación, 1 mide y rodajea, 1 hace vallas	
Mano obra	día	₡10620 más 24,83 patrono 10,34 trabajador
Rendimiento	Diario	50 -60 árboles
Mantenimiento	Diario	50-100 árboles

Anexo 11. Costos de reforestación (C, Brenes, comunicación personal, 22 de octubre, 2020).

Rubro	Costo aproximado (₡)
Árbol en producción	8000-12000
Sustrato abono compost de lombriz 30 K	3110
Piezas de madera para protector	4210
Abono 15-15-15 presentación de 45 K	19960
Viaje Cañas en vagoneta 7 m3	250000
Sostenedor de agua, bolsa de 1 k	10525
Rodajea /plantación, 10-15 min/ árbol	90
Carretillo rueda de hule	37100
Pala carrilera	4500
Pala ancha	34000
Palín sencillo	13600
Escoba de jardín plástica	3700
Macana	10000
Picos	10150
Guantes de cuero	4000
Palín de doble hoja	7800
Tijera de podar pequeñas	4800
Tijeras de podar grandes	6000

Anexo 12. Descripción de los rubros utilizados para la estimación de costos de arborización,
(Fuente Elaboración propia).

Rubro	Descripción
Árboles	Altura de 1 a 1,5 m. Costo promedio por árbol ₡10 000.
Sustrato siembra	12,5 kg/árbol, mezcla relación 50% lombricompost y 50% suelo. Costo lombricompost ₡7 000/50 k y sustrato ₡50 000.
Transporte lombricompost	Un viaje de San José-Cañas una vagoneta de 7 m ³ tiene un costo de ₡200 000/viaje.
Transporte tierra	Un viaje vagoneta desde Cañas a San Miguel, costo de ₡18 000/hora.
Polímero hidroretenedor	10 g/árbol. Costo ₡10 525/k.
Valla protectora	8 piezas de madera pino, de 1" x 2" y 30 cm de largo. Costo aproximado ₡800-₡1500.
Fertilización	20 g/árbol para la siembra 10-30-10 (₡14000/45 k) y para mantenimiento 40 g de 15-15-15 (₡19960/45k).
Herbicida y pega	3 gl de herbicida y 3 gal de 24D para hoja ancha
Transporte de árboles	Un viaje de San José-Cañas una vagoneta de 7 m ³ tiene un costo de ₡200 000/viaje.
Herramientas menores	Carretillos, palas, palín, pico, barra, macana, guantes, machete 26, serrucho, martillo, mangos, podadoras, etc.
Mano de obra	₡10620/día, más 24,83% Cargas sociales, total ₡13256,95/día. Tiempo estimado 8 días con cuadrilla de 6 personas (1 persona mide y rodajea, 2 personas hacen huecos, 2 personas siembran y 1 persona hace vallas).
Transporte personal	Alquiler del camión ₡80 000/día, para un total de 8 días.
Rendimiento siembra	50-60 árboles/día.
Costo sustitución por mortalidad	Incluye costo del árbol, fertilizante, transporte, plantación, mecate, imprevistos, costo administrativo y utilidad.
Mantenimiento	Incluye limpieza, recolección de desechos, fertilización, revisión de árboles, poda sanitaria y de formación, 12 intervenciones en total (4 por año).
Rendimiento mantenimiento	50-100 árboles/día.
Transporte personal para mantenimiento	Alquiler de pick up ₡50 000/día, para un total de 5 días.