

**Arborización y enriquecimiento vegetativo de pasos de fauna,  
Proyecto Rehabilitación y Ampliación Ruta Nacional N.º 1, sección:  
Limonal-Cañas**

Elaborado por:

Harlyn Ordóñez Cruz. Ingeniera Forestal, Secretaría de Planificación Sectorial  
Ministerio de Obras Públicas y Transportes  
Correo electrónico: harlyn.ordonez@mopt.go.cr

**Resumen**

El objetivo de este proyecto consiste en diseñar un plan de arborización que permita el desplazamiento de la fauna en el derecho de vía de la sección Limonal-Cañas. Se evaluaron las condiciones físicas de los sitios, se determinaron las especies forestales adecuadas para la arborización y se estimaron los costos. Se obtuvo que los sitios poseen condiciones físicas de regular a buena, se identificaron 28 especies forestales adecuadas para la reforestación y se consideró un diseño en forma de embudo, que dirija la fauna al paso, con árboles distribuidos de mayor a menor altura hacia la calzada. El costo estimado para la ejecución de la propuesta de arborización fue de ¢15.872.288 (\$26.542).

**PALABRAS CLAVE: RESTAURACION, COSTOS, CONDICIONES DE SITIO, ESPECIES FORESTALES, PASOS DE FAUNA.**

**Abstract**

The objective of this project was to design a species enrichment plan, which allows the movement of fauna in the right-of-way of the Limonal-Cañas section. This research includes an evaluation of the physical conditions of the sites, the determination of forest species suitable for reforestation and the estimated costs. The physical condition of each site ranges from fair to good. In addition, this project identifies 28 suitable forest species for the enrichment plan. The chosen design is funnel-shaped, which directs the fauna to the passage, with trees distributed from higher to lower towards the road. The

estimated costs for the execution of the tree-planting proposal were ¢15,872,288 (\$ 26,542).

**Keywords: RESTAURATION, COSTS, SITE CONDITIONS, FOREST SPECIES, WILDLIFE PASSAGES**

## **1. Introducción**

El desarrollo de infraestructura vial genera una serie de efectos sobre el medio ambiente, principalmente la modificación de los paisajes, debido a la creación de fragmentos de hábitat natural y de barreras para el desplazamiento de fauna. 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 que, en combinación con las cercas vivas, compensan el efecto de barrera y dirigen la fauna hacia el paso (Luell et al., 2005).

Con base en lo anterior y 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 que identificó 12 sitios para la instalación de 12 pasos inferiores y seis superiores. 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.

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 este proyecto que 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 N.º 1, sección Limonal-Cañas, Guanacaste, Costa Rica.

## **2. Métodos**

### **2.1. Área de estudio**

El estudio se desarrolló en la provincia de Guanacaste, Carretera Interamericana Norte, Ruta Nacional N.º 1, en el tramo de 20,8 km comprendido entre Limonal y Cañas que inicia en el distrito de Las Juntas de Abangares en la comunidad de Limonal y finaliza en Cañas (Muñoz et al., 2016).

El trabajo de campo se realizó en los 12 sitios propuestos para la instalación de 16 pasos de fauna, 10 inferiores y seis superiores (Figura 1), según el estudio de pasos de fauna y el informe de actualización realizado en este tramo (Rojas-Jiménez, 2016; UEP-PIT, 2019).

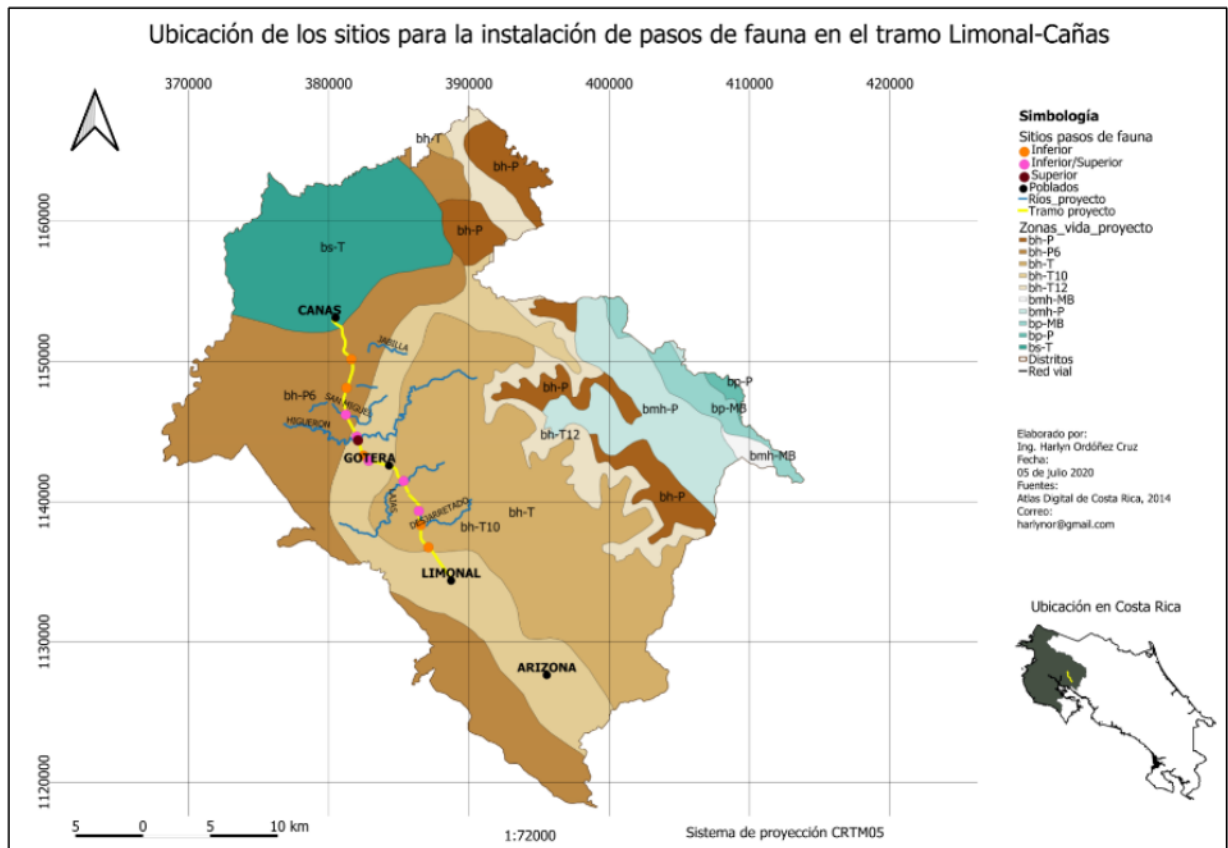
En relación con la cobertura vegetal, el tramo Limonal-Cañas se encuentra inmerso en tres zonas de vida (Bolaños, Watson y Tosi, 2005): Bosque húmedo tropical transición a prehúmedo (bh-T), Bosque húmedo tropical transición a seco (bh-T10) y Bosque húmedo premontano transición a basal (bh-P6).

Además, algunos sectores presentan 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, árboles aislados, desarrollo agrícola y ganadero en crecimiento, con cultivos de arroz, caña de azúcar, sandía, entre otros (Muñoz et

al., 2016). A nivel de fauna, en el sitio se clasifican tres grandes grupos (Rojas-Jiménez, 2016): mamíferos, aves y anfibios y reptiles.

**Figura 1**

*Sitios para la instalación de pasos de fauna en el tramo Limonal-Cañas*



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

Con la información de ubicación y tipo de paso de fauna (Rojas-Jiménez, 2016), se levantaron en campo las coordenadas geográficas de cada sitio a ambos lados del derecho de vía. Se utilizó el número del paso de fauna asignado en el estudio de la misma naturaleza, con el identificador A para el lado con sentido Cañas-Limonal y B para el lado con sentido Limonal-Cañas (Sitio 1: Sitio 1A y Sitio 1B).

Adicionalmente, 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. Posteriormente, se evaluaron las condiciones físicas de los sitios identificados para la ubicación de los pasos de fauna en términos de:

- 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.
- Variables edafológicas para evaluar la calidad del suelo: se utilizó el Método de Evaluación Visual del Suelo (EVS) basado en la metodología desarrollada por Sherpherd (2000) que considera la valoración cualitativa de ocho variables edafológicas las cuales se integran en un coeficiente de calidad del suelo: pobre, moderada y buena, según Cuadro 1.
- Variables topográficas: La topografía se describió por medio del porcentaje de la pendiente promedio con la medición de la pendiente en cuatro puntos, como máximo (clinómetro Suunto) y altitud 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 clasificaron los sitios con base en la erosión sufrida, en leve (0-15%), moderada (15-50%) y severa (>50%). Además, se le asignó un valor en la escala según la clasificación del sitio: bueno (3), regular (2) y malo (1).

## Cuadro 1

*Tarjeta de calificación de indicadores de calidad del suelo*

<b>Sitio:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Tipo de suelo</b>			
<b>Textura</b>	Arenoso	Arcilloso	Franco
<b>Humedad</b>	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo
<b>Clima</b>	Invierno	Verano	Canícula
<b>Indicador</b>	<b>Calificación</b> 0= condición pobre 1= condición moderada 2= condición buena	<b>Factor</b>	<b>Valor por indicador</b>
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	
<b>Total</b>			
<b>Interpretación de Calidad del Suelo</b>		<b>Puntos</b>	
Suelo Pobre		<10	
Suelo Moderado		10 a 25	
Suelo Bueno		>25	

**Fuente:** Guía de campo de INAFOR, INTA y FAO basado en Sherpherd (2000)

Variables ambientales: Se caracterizaron las condiciones del ambiente a las que estará expuesta la vegetación incorporada al ecosistema. Para esta caracterización se utilizó el riesgo antrópico, con el fin de determinar si la vegetación podría ser afectada por la acción humana ejercida sobre la naturaleza y considerando una escala que varía entre 0, 1 y 2 (0 = bajo; 1 = medio; 2= alto) para las siguientes variables:

- Afectación por polvo: Escala 0, no hay posibilidad de generar polvo (suelo con cobertura vegetal); escala 1, alrededores con tierra desprovista de vegetación y escala 2, alrededores con tierra desprovista de vegetación y ventoso.

- Contaminación atmosférica por emisiones: Escala 0, paso fluido de vehículos y no existen accesos cercanos a comercios o viviendas que ocasionen la detención de ellos; escala 1, presencia de curvas o pendientes que implican acciones de comprensión o frenado de vehículos y escala 2, presencia de accesos cercanos a viviendas o comercios y maquinaria pesada que ocasionen la detención de vehículos.
- Daños mecánicos (presencia de ganado o personas): Escala 0, ausencia de infraestructura que indique la presencia de personas o ganado; escala 1, presencia de ganado o personas y escala 2, presencia de ganado y personas.

Una vez asignado el valor de escala a cada variable ambiental se suman para obtener un total e interpretar el riesgo antrópico presente en cada sitio de la siguiente forma: bajo  $<2$ , medio 2 a 4 y alto  $>4$ .

La información obtenida de las variables climáticas se analizó utilizando la estadística descriptiva. Se obtuvo el promedio anual y la desviación estándar para cada variable (precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) en el periodo 2017-2020 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 2):

## Cuadro 2

*Matriz para valorar la condición de sitio de acuerdo con las variables físicas evaluadas*

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 siguientes valores:

- Variable edafológica: Calidad del suelo pobre (1), calidad del suelo moderada (2) y calidad de suelo buena (3).
- Variable ambiental: Riesgo alto (1), riesgo medio (2) y riesgo bajo (3).
- Variable topográfica: Sitio malo (1), sitio regular (2) y sitio bueno (3).

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

Para conocer las especies presentes en sitio se realizó un diagnóstico de la siguiente forma:

- Se extrajo, del inventario forestal una lista de árboles georreferenciados desde el punto del paso hasta 50 m hacia ambos lados en la franja de derecho de vía respectiva y del estudio de pasos de fauna, se elaboró una lista de los árboles

mencionados y vinculados en campo con las especies de fauna presentes en los sitios identificados para los pasos.

- Se revisó literatura existente sobre las especies de flora presentes en cada una de las zonas de vida identificadas a lo largo del proyecto.
- Se levantó una lista de las especies de flora presentes en los parches de vegetación aledaños a cada paso de fauna por medio de una visita de campo.

Con respecto al análisis de la lista de especies obtenida de las distintas fuentes de información, la especie que sumó dos de las cuatro fuentes utilizadas para la búsqueda de especies, fue seleccionó como 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; se utilizó la matriz del Cuadro 3.

### Cuadro 3

*Matriz para la determinación general de las especies forestales para la arborización*

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		

Con la lista general de especies elaborada en el Cuadro 3, se recomendaron 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-Jiménez, 2016) y la metodología utilizada por Área de Conservación Guanacaste, ACG (2016)

y la Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcoles (2016) con ciertas modificaciones. Esta selección de especies se realizó basada en los criterios que se refieren en orden de prioridad:

- Tolerancia a la humedad: Franjas del derecho de vía dentro de zona de protección de los cauces y franjas 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.
- Estacionalidad: Especies siempreverdes o semicaducifolia con la finalidad de proveer copas con ramas frondosas para que la fauna se desplace.
- Condiciones físicas de sitio: Especies arbóreas resistentes a las condiciones físicas de sitio existentes en la zona.
- Velocidad de crecimiento: Combinación de especies de lento y de rápido crecimiento para que satisfaga a mediano plazo, la necesidad de estructura para el desplazamiento de la fauna hacia los parches de bosque colindantes.

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 y, en menor cantidad, especies con frutos para dirigir la fauna al paso.

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

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 (ACG, 2016; Sánchez, Valle, Scorza, Feoli, y Artavia, 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).

## 2.5. 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.

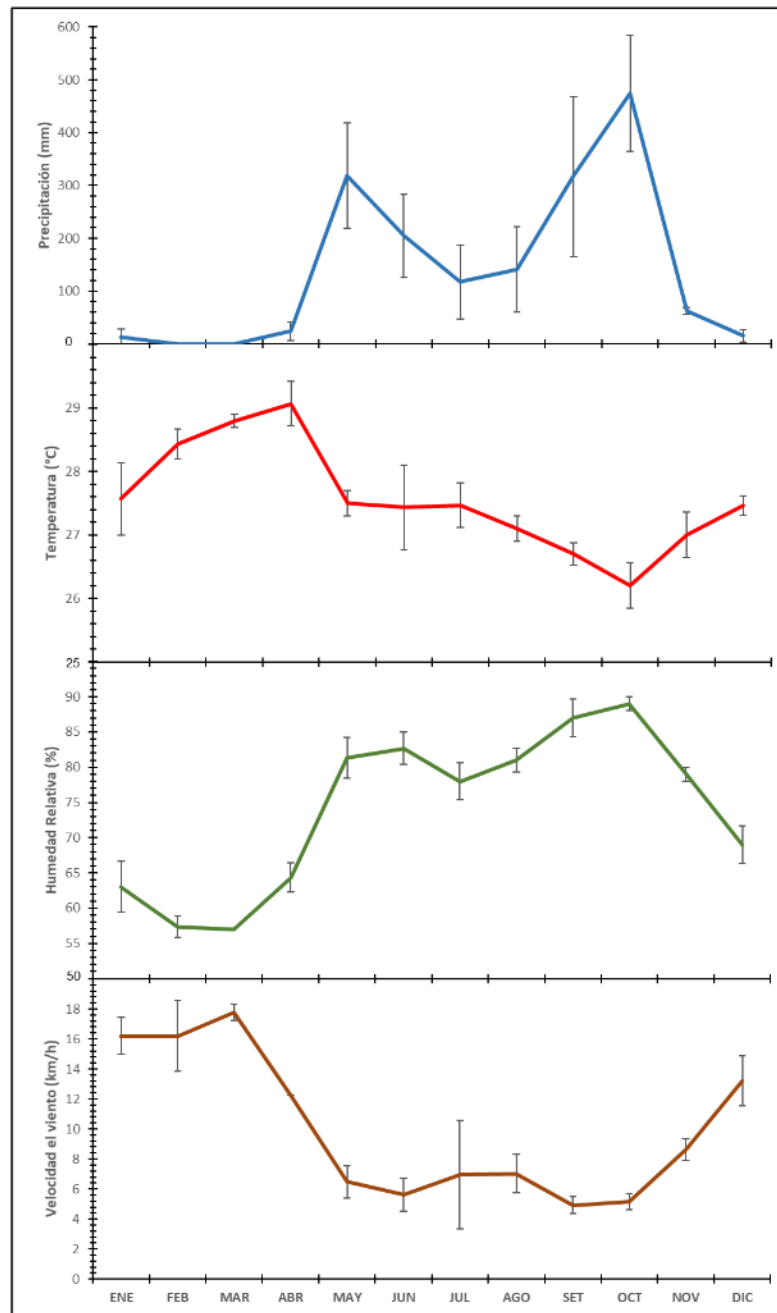
## 3. Resultados

### 3.1. Evaluación de la condición física de los sitios a arborizar

En la Figura 2, 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. En la estación lluviosa sobresale el mes de octubre con la mayor precipitación de 474 mm. 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 2**

*Media de las variables climáticas de la estación meteorológica automática Hacienda Taboga, años 2017,2018 y 2019, Cañas, Guanacaste (única con datos completos)*



**Fuente:** Prado (comunicación personal, 03 de setiembre, 2020), elaborado por Ordóñez (2021).

Inicialmente se tenían identificados 12 sitios (Figura 1); no obstante, 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 integraron ambos pasos en el análisis realizado al sitio 8. Se obtuvo que los sitios poseen condiciones físicas de regular a buena para la reforestación.

Así bien, para la mayoría de los sitios no se pudo evaluar la calidad del suelo en ambos lados del derecho de vía por motivos de construcción de puentes. 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; los demás sitios fueron clasificados como buenos.

Por último, 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.

### 3.2. Determinación del conjunto de especies forestales adecuadas para la arborización

Se determinaron 28 especies forestales ideales para la arborización (Cuadro 4). 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 debido a que las especies de la zona en estudio se adaptan a cualquiera de las zonas de vida presentes (Q, Jiménez, comunicación personal, 31 agosto, 2020).

Por último, las especies forestales ideales para zona de protección, por crecer naturalmente en esas áreas, son: Espavel, Ojoche, Alcornoque, Canelo, Terciopelo, Panamá, Matapulgas y Sotacaballo. A excepción de las especies de Cornizuelo,

Guarumo y Balsa; las demás especies de la lista podrían asimismo utilizarse en estas zonas, pero más alejadas del cauce donde la humedad es menor.

#### Cuadro 4

*Lista de especies forestales ideales para la zona comprendida entre Limonal y Cañas*

<b>Familia</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Altura aprox. (m)</b>
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
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
Bignoniaceae	<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

El espacio disponible en el derecho de vía, según el diseño del proyecto y sustrayendo los 3 m definidos para seguridad vial (MOPT, 2015) va de 0-19 m (Fuente C, Sandoval, comunicación personal, 15 de setiembre, 2020). 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. De acuerdo con el espacio disponible en cada sitio y siguiendo las especificaciones del MOPT, en los sitios 2b, 12a y 12b no es posible plantar árboles, porque no hay espacio disponible (0 a 1,5 m). En los sitios 1b, 4b, 7a, 7b, 9b y 11b es posible plantar una hilera de árboles de altura mediana a pequeña, porque existe un espacio menor a 4 m.

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

Para la reforestación en cada sitio, con base en el espacio disponible y la selección de las especies obtenidas, es posible sembrar 436 árboles/arbustos: 37 en Sitio 1A, nueve en Sitio 1B, 17 en Sitio 2A, 10 en Sitio 2B, 35 en Sitio 3A, 20 en Sitio 3B, 30 en Sitio 4A, ocho en Sitio 4B, 36 en Sitio 5A, 22 en Sitio 5B, 50 en Sitio 6A, 17 en Sitio 6B, 26 en Sitio 8A, 26 en Sitio 8B, 34 en Sitio 9A, ocho en Sitio 9B, 35 en Sitio 10A, 30 en Sitio 10B, 17 en Sitio 11A, nueve en Sitio 11B, 10 en Sitio 12<sup>a</sup> y en Sitio 12B no había espacio disponible para reforestación (Anexo 1). 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 m a cada lado del paso de fauna, utilizando un distanciamiento 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.

Los pasos inferiores 2B y 12A cuentan con 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, en adición a la plantación de árboles, es recomendable hacer esto en todos los sitios donde existen pasos inferiores.

Se elaboraron 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 3 y 4). Estos diseños permiten 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, tendido eléctrico y la malla colocada en pasos inferiores.

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 en el derecho de vía, de acuerdo con el tipo de paso de fauna:

- Pasos de fauna inferiores: incluyen la malla protectora para dirigir la fauna al paso y por seguridad vial; las especies forestales se distribuirían de menor (cerca de la calzada) a mayor altura (junto a la cerca). Además, en los pasos inferiores con espacio menor que 3 m, se recomienda plantar arbustos como *Vachellia collinsii* (Cornizuelo), distribuidos 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.

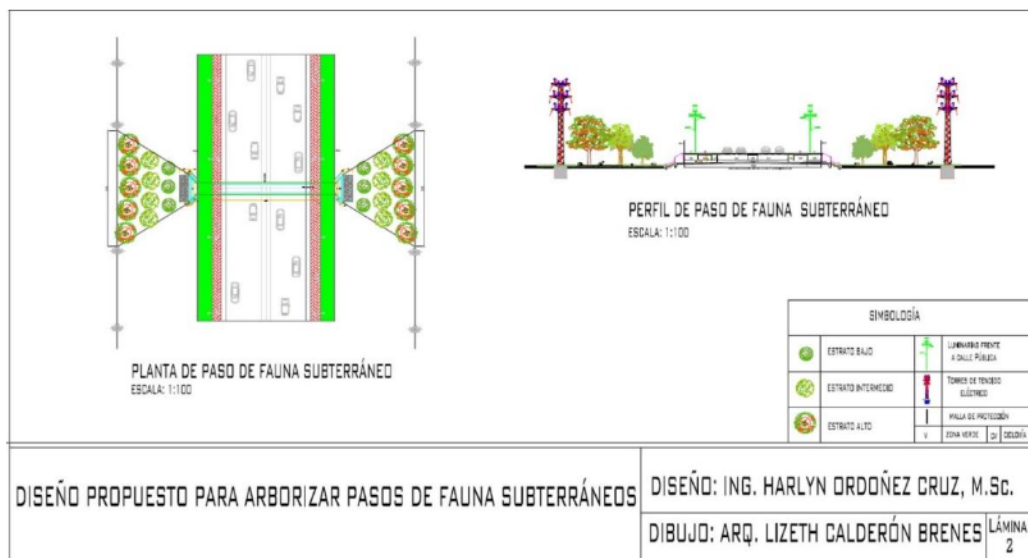
**Figura 3**

*Diseño propuesto para la arborización en pasos de fauna superiores, Limonal-Cañas*



**Figura 4**

*Diseño propuesto para la arborización en pasos de fauna inferiores, Limonal-Cañas*



### 3.4. 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 Tárcoles, 2016; Sánchez, Valle, Scorza, Feoli, y Artavia, 2015) 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. Además, se recomienda atender las siguientes especificaciones técnicas para la exitosa ejecución del plan de arborización:

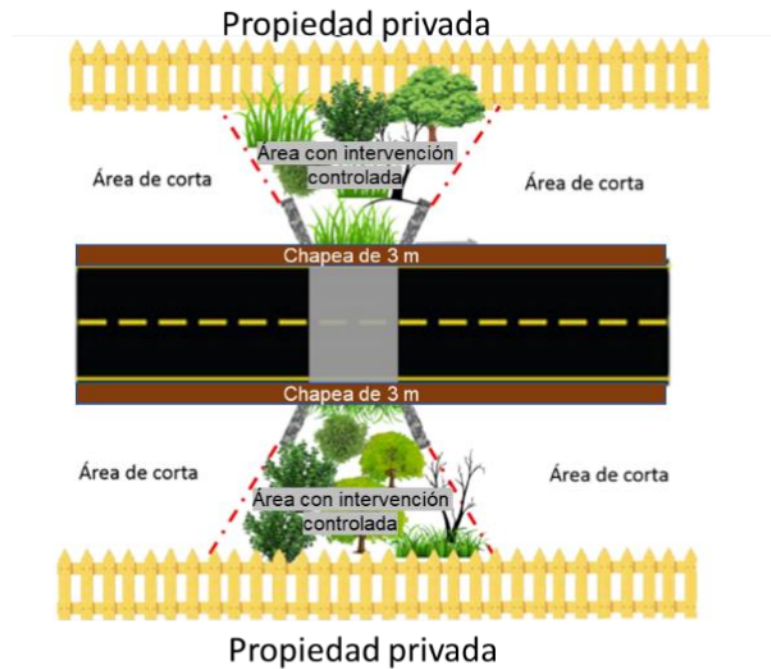
- Selección del material a plantar:
  - El tamaño de la bolsa debe ser de 40 x 40 cm.
  - Los árboles deben tener una altura aproximada de 1,0 – 1,50 m, y deben permanecer en vivero entre 12 y 18 meses para evitar mayor estrés en las plantas al ser llevadas al campo.
  - El fuste debe ser recto, libre de perforaciones y daños físicos.
  - El adobe debe ser consistente y proporcional al tamaño de los árboles.
  - La raíz debe recibir tratamiento de poda, estar totalmente recuperada y sin raíces expuesta.
  - La copa debe estar definida, bien formada, frondosa, con buenas condiciones de turgencia y sana.

- Plantación de los árboles:
  - Primeramente, se debe preparar el terreno, marcar los puntos, realizar la chapea localizada y aplicar alguna fórmula orgánica para el control de herbáceas y gramíneas.
  - El traslado de plantas debe realizarse con cuidado para evitar cualquier daño mecánico, en un vehículo con cajón cerrado, en horas de la mañana y rociar las hojas con una solución de agua con azúcar para cerrar las estomas y evitar la deshidratación del follaje.
  - La ubicación de los árboles se debe realizar según el diseño general propuesto para cada tipo de paso de fauna (figuras 3 y 4), la densidad de plantación será de 3 x 3 m en pata de gallo.
  - El hoyado debe ser de mayor tamaño al de las bolsas.
  - El abonado debe ser con N-P-K en proporciones de 10-30-10 o 12-24-12 con dosis de 20 g para árboles de 1-1,5 m en el fondo del hoyo y cubrir con una capa de tierra suelta para aislar las raíces de los químicos contenidos en el abono.
  - El polímero retenedor de agua se coloca de forma uniforme sobre la capa de tierra que cubre el abono para un contacto directo con las raíces, a dosis de 10 g por árbol.
  - La planta se coloca sobre el polímero con todo el adobe de forma recta y centrada y se sustituye el suelo extraído por suelo fértil.
  - Se recomienda pisar la tierra en la superficie para romper las bolsas de aire que pudieron quedar.
  - Se coloca las vallas protectoras para sujetar el árbol para que no sea movido por el viento; los residuos generados por la actividad de plantación deben ser recolectados.
- Seguimiento (mantenimiento y monitoreo) de los árboles:
  - Una vez plantados los árboles se recomienda realizar un levantamiento geográfico de cada árbol, para llevar un control de la mortalidad de las especies en sitio y medir los porcentajes de sobrevivencia.

- Se deberá contemplar actividades básicas de mantenimiento agrosilvicultura al menos por un periodo de tres años, que es un período crítico de establecimiento y que se puedan sustituir los árboles muertos.
  - Rodajea de 1 m alrededor de cada árbol al menos de tres a cuatro veces por año, sustitución de árboles muertos en época lluviosa, podas anuales sanitarias o de mantenimiento, fertilización entre tres a cuatro 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, antes de la época seca, aplicar una fórmula orgánica (gallinaza, compost, heces de cerdo o vaca, lombricompost) para mantener la humedad puntual y una abonada anual, con fórmula completa, al inicio de la época lluviosa en dos puntos con espeque 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 mortalidad, estado de hojas y tronco.
- Especificaciones técnicas a considerar por CONAVI en las intervenciones de conservación vial en las áreas de pasos de fauna: En la Figura 6 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. También 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 5

Diseño propuesto para las intervenciones de chapea por parte de CONAVI, en las áreas de pasos de fauna, tramo Limonal-Cañas



**Nota.** 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 5 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 tres años para asegurar el establecimiento exitoso de los árboles.

### **Cuadro 5**

*Costos totales estimados para la arborización de los 11 sitios de pasos de fauna ubicados en el Tramo Limonal-Cañas*

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

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del estudio, se concluye lo siguiente:

- Se identificaron 28 especies forestales adecuadas para la reforestación y se consideró un diseño en forma de embudo, con árboles distribuidos de mayor a menor altura hacia la calzada.
- El costo estimado para la ejecución de la propuesta de arborización fue de ¢15.872.288 (\$26.542).
- Las condiciones de sitio y clima del tramo Limonal-Cañas pueden ser una limitante para el desarrollo de los árboles.
- Los sitios con limitado espacio en derecho de vía corresponden a pasos inferiores que no requieren de vegetación con dosel superior.

Finalmente, se enumeran las siguientes recomendaciones:

- El uso de sustrato rico en nutrientes para incentivar el desarrollo de raíces finas, un polímero retenedor de agua y una fórmula orgánica que provea gradualmente nitrógeno y mantenga la humedad puntual, para que los árboles enfrenten el primer verano.
- 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.
- Esta propuesta busca 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 el establecimiento de especies pioneras, arbustivas y rastreras que complemente 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 el objetivo de evitar que la fauna no intente cruzar la vía directamente, al no encontrar el paso y monitorear los pasos para validar su funcionalidad e identificar mejoras que se puedan implementar.

## 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*. MINAE.
- 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)* [mapa]. Centro Científico Tropical.
- Iuell, B., Bekker, G., Cuperus, R., Dufek, J., Fry, G., Hicks, C., Hlavác, Vaclac., Keller, V., Rosell, C., Sangwine, T., Torslov, N. y Wandall, B. (2005). *Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions*. [Manual]. [http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341\\_Handbook.pdf/](http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_Handbook.pdf/)
- 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.*
- Ministerio de Obras Públicas y de Transportes. (2015). *Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes*. MOPT.
- Muñoz, S., Vega, M., Herrera, A., Soto, D., Bogantes, S., Pérez, A., Calvo, M. y Bonilla, J. (2016). *Pronóstico Plan de Gestión Ambiental Proyecto: Rehabilitación y ampliación Ruta Nacional No. 1, carretera interamericana norte, sección Barranca-Cañas*. MOPT.
- 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*. 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. Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Municipalidad de San José y Compañía Nacional de Fuerza.*

Shepherd, G. (2000). *La Valoración de Visual del Suelo*. Volumen 1. Horizons.mw & Landcare Research, Palmerston north. 84p.

Subcomisión Heredia-CGICRG Tárcoles. (2016). *Protocolo de recuperación de áreas de protección y arborización para la provincia de Heredia*. Subcomisión Heredia- CGICRG Tárcoles.

Unidad Ejecutora del Proyecto (UEP-PIT). (2019). *Informe de actualización solicitado por ProGAS con respecto a los pasos de fauna del proyecto “Ampliación y INECO. Rehabilitación de la Ruta Nacional No. 1, Carretera Interamericana Norte Barranca - Cañas, sección Limonal - Cañas”*.

Venegas, M. (2017). *Protocolo para el mantenimiento de Pasos de Fauna Silvestre*. Universidad Nacional de Costa Rica.

## ANEXOS

### Anexo 1

*Lista y cantidad de especies forestales a plantar en cada sitio identificado para la colocación de pasos de fauna*

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
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

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
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
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	<i>Bursera simaruba</i> , <i>Byrsonima crassifolia</i> , <i>Coccoloba caracasana</i> ,	

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
	espacio disponible para siembra.	<i>Genipa americana, Gliricidia sepium, Guazuma ulmifolia, Machaerium biovulatum, Ocotea veraguensis, Psidium guajava, Plumeria rubra, Simarouba glauca, Thouinidium decandrum, Trichilia martiana, Triplaris melaenodendron, Zygia longifolia, Andira inermis, Calycophyllum candidissimum, Hymenaea courbaril y 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, Byrsonima crassifolia, Cocoloba caracasana, Genipa americana, Gliricidia sepium, Guazuma ulmifolia, Machaerium biovulatum, Ocotea veraguensis, Psidium guajava, Plumeria rubra, Simarouba glauca, Thouinidium decandrum, Trichilia martiana, Triplaris melaenodendron, Zygia longifolia, Andira inermis, Calycophyllum candidissimum, Hymenaea courbaril y Tabebuia rosea</i>	17
8A	Paso inferior/superior, fuera zona de protección con 10 m de espacio disponible para siembra.	<i>Bursera simaruba, Byrsonima crassifolia, Cocoloba caracasana, Genipa americana, Gliricidia sepium, Guazuma ulmifolia, Machaerium biovulatum, Ocotea veraguensis, Psidium guajava, Plumeria rubra, Simarouba glauca, Thouinidium decandrum, Trichilia martiana, Triplaris melaenodendron, Zygia longifolia, Andira inermis, Calycophyllum</i>	26

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
		<i>candidissimum</i> , <i>Hymenaea courbaril</i> y <i>Tabebuia rosea</i>	
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
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

Sitio #	Descripción	Especies	Cantidad Árboles
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 decandrum</i> , <i>Trichilia martiana</i> , <i>Triplaris melaenodendron</i> y <i>Zygia longifolia</i>	9
12A	Paso inferior, fuera de zona de protección con 1,50 m de espacio disponible para siembra.	<i>Vachellia collinsii</i> , <i>Senna hayesiana</i> y <i>Stachytarpheta frantzii</i>	10
12B	Paso inferior, fuera de zona de protección sin espacio disponible para siembra.	NA	NA
Total			486