

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

DIRECCIÓN DE PROYECTOS

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INTEGRACIÓN BOSQUE INDUSTRIA

**INFORME FINAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para  
pequeños y medianos productores  
Código del proyecto 5401-1401-1022**

**(DOCUMENTO I)**

**INVESTIGADORES:**

*Ing. Oلمان Murillo Gamboa Ph.D.  
Ing. Yorleny Badilla Valverde, M.Sc.  
Ing. Fabiana Rojas Parajeles, M.Sc.  
Ing. Gustavo Torres Córdoba, M.Sc.  
Ing. Dorian Carvajal Vanegas, Lic.  
Ing. Rodolfo Canessa Mora, M.Sc.*

Marzo, 2015

## Tabla de contenido

1. Código y Título del proyecto .....	3
2. Autores y direcciones.....	3
3. Resumen.....	4
4. Introducción.....	6
5. Marco Teórico .....	7
6. Metodología .....	15
7. Resultados .....	25
8. Discusión y conclusiones.....	50
9. Recomendaciones .....	53
10. Agradecimientos.....	54
11. Literatura citada.....	55
Apéndice 1. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de almendro ( <i>Dypterix panamensis</i> ) en Costa Rica .....	60
Apéndice 2. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de amarillón ( <i>Terminalia amazonia</i> ) en Costa Rica.....	61
Apéndice 3. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de pilón ( <i>Hieronyma alchorneoides</i> ) en Costa Rica.....	62
Apéndice 4. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de laurel ( <i>Cordia alliodora</i> ) en Costa Rica.....	63
Apéndice 5: Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de cedro amargo ( <i>Cedrela odorata</i> ) en Costa Rica. ....	64
Apéndice 6. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de cebo o chancho ( <i>Vochysia guatemalensis</i> ) en Costa Rica.....	65
Apéndice 7: LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES .....	66
Apéndice 8 Modelo de Costos de Plantaciones .....	67

## 1. Código y Título del proyecto

Código del proyecto 5402-1401-

**“Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para pequeños y medianos productores”**

## 2. Autores y direcciones

<b>Nombre del (la) investigador(a) y grado académico</b>	<b>Cédula</b>	<b>Escuela</b>	<b>Email</b>
Olman Murillo Gamboa, Ph.D. Coordinador	4-121-896	Ing. Forestal	<a href="mailto:olmuga@yahoo.es">olmuga@yahoo.es</a>
Yorleny Badilla Valverde, M.Sc.	1-875-822	Ing. Forestal	<a href="mailto:yorlenybadilla@yahoo.es">yorlenybadilla@yahoo.es</a>
Fabiana Rojas Parajeles, M.Sc.	3-389-014	Ing. Forestal	<a href="mailto:fab83@gmail.com">fab83@gmail.com</a>
Gustavo Torres Córdoba, M.Sc.	9-072-560	Ing. Forestal	<a href="mailto:gtorres@itcr.ac.cr">gtorres@itcr.ac.cr</a>
Dorian Carvajal Vanegas, Lic.	1-978-878	Ing. Forestal	<a href="mailto:doriancarvajal@gmail.com">doriancarvajal@gmail.com</a>
Rodolfo Canessa Mora, M.Sc.	3-217-754	Ing. Forestal	<a href="mailto:rcanessa@itcr.ac.cr">rcanessa@itcr.ac.cr</a>

### 3. Resumen

El proyecto “Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para pequeños y medianos productores”, pretendió como objetivo superior, iniciar una línea permanente de investigación, desarrollo e innovación con este valioso patrimonio. Se trabajó con las especies guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), cenízaro (*Samanea saman*), cedro (*Cedrela odorata*), laurel (*Cordia alliodora*), amarillón (*Terminalia amazonia*) y botarrama (*Vochysia ferruginea*). Como **objetivo principal** se propuso “Mejorar las condiciones de inversión en el cultivo de madera con especies nativas de alto valor en fincas de pequeños y medianos productores”; sin embargo, el horizonte de dos años de financiamiento, junto con el impacto del fenómeno del niño, fueron su principal limitación para lograr establecer los ensayos de campo planeados en tan solo dos años de acción. A pesar de las limitaciones el proyecto logró un alto porcentaje de cumplimiento en casi todos sus objetivos, productos y metas. El **primer objetivo específico** propuso iniciar un programa de mejoramiento genético, que logró establecer ensayos de procedencia/progenie con guanacaste (50 familias de 6 procedencias), cenízaro (38 familias de 5 procedencias), cedro (32 familias de 6 procedencias) y laurel (35 familias de 4 procedencias). Con cinco de las especies (botarrama no fue posible) se logró establecer exitosamente minijardines clonales en invernadero, que generaron conocimiento suficiente para su producción clonal. De manera adicional, se estableció un minijardín clonal de almendro (*Dipteryx panamensis*). Con todas estas especies se realizó un análisis foliar de demanda nutricional a partir de brotes de meristemos. El **segundo objetivo específico** se propuso generar información silvicultural, sin embargo, el horizonte de dos años solamente permitió iniciar con el establecimiento de ensayos. Se logró establecer una plantación de más de 1 ha en Liberia, Guanacaste, para cada especie (guanacaste, cenízaro y cedro), que incluyó el subsolado del terreno. Con laurel se tiene un terreno de más de una hectárea con plena preparación mecanizada (subsoleado, rastrea y lomillado), para ser plantado en mayo 2015 en San Carlos. En Santa Clara se establecieron ensayos de espaciamientos (7 tratamientos, desde N = 400 hasta N = 10 000) con las especies guanacaste, cenízaro y cedro, este último registró problemas de mortalidad y fue sustituido por amarillón. El **tercer objetivo específico** propuso la construcción de un modelo financiero y de inversión, que logró crear una extensa base de datos de costos y rendimientos de cada labor, gracias a la colaboración de más de 10 empresas reforestadoras. El nuevo modelo logró sistematizar costos variables y fijos, incluir costos de infraestructura, equipamiento, mantenimiento, y definir el tema de recurso humano técnico mínimo requerido para una plantación. Una herramienta en EXCEL con esta información fue construida y permitirá a múltiples usuarios su utilización. Incluye una adecuación para proyectos de pequeños (< 20ha), medianos (< 50ha) y grandes reforestadores. Para las seis especies del proyecto y las especies almendro, pilón (*Hieronyma alchorneoides*) y cebo o chancho (*Vochysia guatemalensis*), se logró ajustar modelos de crecimiento, con resultados muy satisfactorios, gracias a la colaboración de organizaciones y empresas que aportaron sus bases de datos. Los modelos de crecimiento permitieron construir cuadros de crecimiento y rendimiento, basados en una guía de manejo realista, fundamentada en una propuesta de raleos con base en una área basal máxima ( $G < 20 \text{ m}^2/\text{ha}$ ). Como **cuarto objetivo específico** se intentó caracterizar con marcadores moleculares (AFLP) la estructura y diversidad genética de las especies investigadas. En este objetivo solo se lograron resultados parciales, donde se optimizó los protocolos de extracción de ADN, procesamiento y purificación de ADN y de amplificación (PCR) de varias combinaciones identificadas. Finalmente, como **quinto objetivo específico** se propuso compilar, sistematizar y divulgar toda la información en manuales técnicos, que tienen entre un 60 y 80% de avance y se viene coordinando con la editorial del ITCR para su publicación formal. Se espera poder realizar un evento denominado “Encuentro sobre especies nativas para reforestación en Costa Rica”, planificado para junio del 2015 en la Estación Experimental Forestal Horizontes (Liberia, Guanacaste).

**Palabras clave:** Plantaciones forestales, especies nativas, mejoramiento genético

## Abstract

The Project “Cultivation of native timber species of high value to small and medium landholders”, aimed as a superior goal, to initiate a permanent research, development and innovation line with this valuable heritage. The project worked with the species guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), cenízaro (*Samanea saman*), cedro (*Cedrela odorata*), laurel (*Cordia alliodora*), amarillón (*Terminalia amazonia*) y botarrama (*Vochysia ferruginea*). The main objective was “Improving investment conditions for cultivation of native timber species of high value to small and medium landholders”; however, a two years financial horizon and the “el niño” climatic phenomena, where the main limitations to the establishment of planned field trials in only two effective years. Even though these limitations, the project achieved most of its goals, expected products and targets. The **first specific objective** proposed the initiation of a breeding program, in which was possible the establishment of provenance/progeny tests with guanacaste (50 families from 6 provenances), cenízaro (38 families from 5 provenances), cedro (32 families from 6 provenances) and laurel (35 families from 4 provenances). With five species (with the exception of botarrama) it were successfully established miniclonal gardens in greenhouse conditions, which generated new important knowledge enough for clonal production. Additionally, it was established a miniclonal garden for almendro (*Dipteryx panamensis*). A foliage analysis was also performed with all tree species in order to estimate nutrient demand. **Second specific objective** aimed to generate silvicultural information, however within two years scope it was only possible to establish appropriate field trials. In Liberia, Guanacaste, it were established field trials with guanacaste, cenízaro and cedro, in an area over one hectare each, over a subsoiled soil. With laurel, a new terrain has been prepared (subsoiling, plowing and bedding) and, to be planted in San Carlos, in May 2015. In Santa Clara, San Carlos, spacing field trials were established (7 treatments, from N = 400 until N = 10 000) with guanacaste, cenízaro and cedro. Since cedro had adaptation limitations, it was replaced by amarillón. **The third specific objective** was based on the construction of a new investment model, which managed to compile an extensive database costs and labor yield information, thanks to the cooperation from more than 10 reforestation companies. The new model was able to systematize variable and fix costs, which included infrastructure, equipment, maintenance and a definition of required human resources for a reforestation project. An EXCEL application was constructed, which allows all possible scenarios projects to be analyzed (small, medium and large landholders). For the tree species almendro, pilón (*Hieronyma alchorneoides*) and cebo or chancho (*Vochysia guatemalensis*), it was possible to fit new growth models, with satisfactory results, thanks to the datasets collaboration from forest organizations and companies. Growth models allowed the construction of growth and yield tables for each species, based on general silvicultural guidelines, where thinning keep basal area below 20 m<sup>2</sup>/ha. As a **fourth specific objective** it was intended to use AFLP´s in order to characterize each native tree collection, in terms of genetic structure and diversity. However, several limitations occurred due to availability of equipment and chemical reagents. It was possible to optimize in each tree species DNA extraction procedures, DNA purification and processing and, DNA amplification for several combinations. Finally, as a **fifth specific objective** it was proposed to compile and organize information in order to produce new technical manuals but investment oriented. In terms of progress, all manuals report a 60 to 80% advancement and it is expected to publish them in ITCR Editorial. An event called “Meeting on native tree species for reforestation in Costa Rica” has been organized to be held at the end of June 2015 in Horizontes Forestry Research Station (Liberia, Guanacaste).

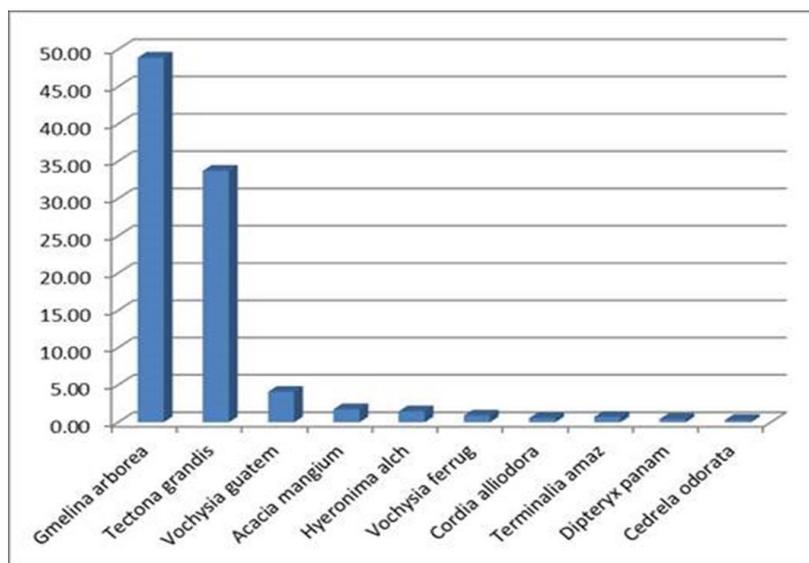
**Key words:** Forest plantations, native species, tree breeding

#### 4. Introducción

Costa Rica ha sido prolija en iniciativas para incorporar especies nativas a la reforestación nacional. Los trabajos más antiguos se remontan a los orígenes del IICA en Costa Rica en los años 40, institución que realizó valiosos aportes en la región de Turrialba sobre la plantación y manejo del cedro (*Cedrela odorata*) y el laurel (*Cordia alliodora*), entre otras especies nativas (Boshier y Lamb, 1997).

Desde finales de los años 80 la OET lideró los primeros trabajos formales en la evaluación de un buen número de posibles especies candidatas para la reforestación comercial, principalmente en la zona de Sarapiquí (Butterfield y Espinoza, 1995). Posterior a estos esfuerzos pioneros, la motivación se extendió a las universidades públicas costarricenses que en alianzas con organismos internacionales, lograron desarrollar proyectos con especies nativas en toda la zona norte (Müller, 1993; Badilla *et al*, 2002), zona sur (Barrantes y Alfaro, 1995), zonas altas y del Valle Central (Badilla *et al*, 1999; Murillo *et al* 2002) y la EARTH en la zona caribe (Arias, 2004). Mientras que en el bosque seco, Pacífico norte del país, un grupo de investigadores lograron establecer valiosos ensayos con 14 especies nativas (1991-1993) en la Estación Experimental Forestal Horizontes (Obando, 2010; Rigg, 2014).

A pesar de estos grandes esfuerzos, la utilización de especies nativas en la reforestación nacional no supera el 10% del total reforestado (Figura 1).



**Figura 1:** Especies producidas en los viveros forestales de Costa Rica, diciembre 2012 (Murillo y Guevara, 2013).

Varias posibles causas podrían a manera de hipótesis, explicar este pobre desempeño (Delgado, 2002; Murillo, 2005; Baltodano, 2011): a) los propietarios de terrenos incorporarán especies nativas si y solo si su rendimiento económico compita con las especies exóticas exitosas (teca, melina, otras); b) ausencia de fuentes semilleras certificadas que garanticen

un buen desempeño de las plantaciones; c) el mercado internacional de la madera demanda casi exclusivamente maderas de alto valor y ampliamente conocidas, como la caoba y el cedro.; d) el mercado nacional de maderas nativas ha sufrido un severo desplazamiento por la madera importada de pino chileno y sustitutos de la madera.

Un buen enfoque al respecto es, ¿y qué pasaría si no logramos posicionar un grupo de especies nativas en la reforestación nacional? Muchas posibles respuestas pueden plantearse. Si se analiza el potencial de competitividad del país en el mercado internacional de maderas, vemos que Costa Rica tiene problemas de altos costos de producción, tierra cara, mano de obra cara, etc, que no le permitirán competir exitosamente ante los gigantes suramericanos, productores de maderas blancas, suaves y de bajo valor. Si se contrasta esta realidad con el bien conocido valor de la madera de algunas especies nativas (maderas preciosas), con su alta cotización en mercados selectos, podemos entonces delinear una hoja de ruta relativamente simple: **posicionar lo antes posible al país como productor de maderas de la más alta calidad en la región**. Un principio análogo a la estrategia de cafés finos de Costa Rica y su exitosa inserción en mercados selectos. Entonces, si conocemos posibles hipótesis explicativas del porqué no se plantan las especies nativas, podemos focalizar los esfuerzos en temas específicos como fuentes semilleras, mejoras en el paquete tecnológico para aumentar productividad, mejor información sobre crecimiento y rendimiento, precios e información de mercados, canales de comercialización, como elementos principales. Basados en estos principios, este proyecto definió como objetivo principal **“Mejorar las condiciones de inversión en el cultivo de madera con especies nativas de alto valor en fincas de pequeños y medianos productores”**. Para esto se diseñaron acciones tendientes a la creación de programas de mejoramiento genético (fuentes semilleras y propagación clonal), establecimiento de nuevas plantaciones con mejores prácticas silviculturales, construcción de un primer modelo financiero y de inversión para cada especie y, finalmente, elaborar un manual técnico con un enfoque de guía para el inversionista y no con solamente información silvicultural, como solía suceder con los manuales anteriormente publicados.

## **5. Marco Teórico**

### Relación del proyecto con el Plan Nacional de Desarrollo Forestal (2011-2020)

Con la participación de todos los actores del sector forestal, en marzo del 2011 se formuló un nuevo Plan Nacional de Desarrollo Forestal (PNDF, MINAET, 2011), el cual define la política nacional, estrategias y metas de acción para los próximos 10 años. Se hace mención de que en los últimos cinco años, las plantaciones forestales produjeron casi cuatro millones de metros cúbicos de madera en troza, equivalente al 70% del volumen procesado localmente. De no haberse producido en el país, se estima que su importación habría demandado unos

US \$582 millones y hubiese generado una importante fuga de divisas. Las actividades silviculturales, cosecha, transporte, industrialización y comercialización de la madera, generan unos 20000 empleos directos con un aporte a la economía de más de US \$250 millones de valor agregado, donde el 41% corresponde a empleo (Barrantes y Salazar, 2010). Entre las principales políticas se mencionan “Asegurar el abastecimiento sostenible de la madera y productos no maderables en el mediano plazo, para evitar presión sobre los bosques y una peligrosa reducción de las reservas de carbono por deforestación y degradación forestal”. *Para esto se fomentarán las plantaciones forestales y sistemas agroforestales, donde claramente toda acción en esta dirección será congruente con el PNUF.* Otra de las políticas propone “Aumentar el consumo per cápita de madera que ha venido siendo sustituido por productos con mayor huella de carbono”. *Precisamente, las especies nativas por tradición dominaron el consumo local de madera hasta que debido a su escasez, el pino y la melina las han venido sustituyendo.* Otra de las políticas se refiere a “Mejorar la competitividad de la industria forestal, propiciar cadenas productivas del sector y promover la inserción de los bienes y servicios forestales, tanto en el mercado local, como en mercados internacionales para aprovechar las oportunidades que brinda la apertura comercial. Como resultado deberá mejorarse la balanza comercial de productos forestales y aumentar la rentabilidad de las tierras forestales”. *Esta política es congruente con el concepto de cultivo de maderas de alto valor.* La política 7 hace mención al “mejoramiento de los instrumentos financieros para el establecimiento de plantaciones, su industrialización y comercialización, con el fin de favorecer la inversión en el sector”. *El proyecto pretende en uno de sus objetivos específicos, aportar una guía para la inversión con especies nativas, donde se informará sobre ingresos esperados bajo un modelo de cultivo para cada una de las especies nativas a impulsar.* Como nuevo actor del sector forestal aparece la política 9, la cual se refiere a “la participación en el sector energético, mediante el fomento de la producción de energía limpia a partir de biomasa forestal y el desarrollo de un mercado competitivo para esta, con lo que se promoverá el desarrollo de plantaciones bioenergéticas”. *Una de las limitantes actuales del sector forestal es la baja utilidad de las plantaciones, donde se aprovecha entre un 40 y un 50% del volumen en pie, debido a la pérdida por árboles de baja calidad, pérdida por volumen del árbol sin valor de mercado, y finalmente, a la pérdida de volumen en cada troza al momento de formar el bloque* (Murillo, 2011). *Por tanto, esta política de producción de energía biomásica, sin duda posibilitaría aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales del país, al lograrse aprovechar un mayor porcentaje del volumen por ha y estimularía la inversión en el sector forestal.* En síntesis, la propuesta de incorporar el cultivo de especies nativas en la producción forestal nacional, claramente es congruente con la mayoría de las políticas del Plan Nacional de Desarrollo Forestal para los próximos 10 años.

### Relación del proyecto con las tendencias en el uso de la madera en Costa Rica y el proceso de desabastecimiento:

De una base de datos espaciales recopilada en el 2005 se logró detectar hasta 114,000 ha de plantaciones forestales distribuidas en todo el país y plantadas entre 1980 y el 2005 (Calvo-Alvarado *et al.* 2006). Este estudio revela que de un total de 18,400 unidades reforestadas, el tamaño promedio fue de 6 ha. Un 30% del área plantada estaba distribuida en 15,800 unidades con áreas de 0,1 a 10 ha y 28% del área plantada en 2,000 unidades de 10 a 30 ha. Es decir, el grueso del área plantada (58%) durante ese período se concentró en pequeños-medianos fragmentos y solamente un 16% se concentró en 98 unidades de 100 a 800 ha de extensión (Calvo, 2009). Esta información sustenta la importancia del desarrollo de tecnologías de cultivo de madera para pequeños y medianos productores.

La tasa anual de reforestación combinada, entre los que utilizan el Pago por Servicios Ambientales (PSA) y los que plantan con recursos propios, se estima que se ha mantenido en los últimos 10 años por debajo de las 4000 a 4500 ha (Murillo, 2010), insuficientes para sustentar la creciente demanda por bienes maderables del país (Barrantes, 2008; Calvo, 2008; Baltodano, 2011). El abastecimiento de la madera en el país para uso industrial ha venido poco a poco cambiando en los últimos 10 años y apoyándose cada vez más en plantaciones forestales, las cuales se estima que se cosechan unas 8 000 ha. anualmente (Barrantes y Salazar, 2008, 2010; Barrantes *et al.*, 2011; FONAFIFO, 2011). En el último estudio sobre usos y aporte de la madera en Costa Rica (Barrantes *et al.*, 2011), se menciona que las aproximadamente 700 industrias de la madera existentes en el territorio nacional, procesaron 1,08 millones de m<sup>3</sup> de madera en el 2010 (un aumento de un 4% con respecto al 2009), provenientes de plantaciones (73%), terrenos de uso agropecuario (25%) y solamente un 1,7% de bosques naturales. La oferta nacional de madera ha oscilado entre 600 mil m<sup>3</sup>/año en 1999 hasta 1,3 millones en el 2007 (Calvo, 2009), pero ha ido en aumento de manera sostenida desde el 2003. Sin embargo, no se aclara sobre cuáles especies plantadas son las utilizadas por la industria nacional, debido a que la teca y la melina deben representar aproximadamente más del 80% de lo que se planta y la mayor parte de la teca no está destinada al mercado nacional (Murillo, 2010; 2011). En el mismo estudio se detalla que la madera se utiliza principalmente en embalajes 49,5%, construcción 22,1%, mueblería 18,2%, exportación en bruto 8,7% (principalmente teca al Asia) y otros usos un 1,4%. En el último Censo Nacional de la Industria Forestal Primaria realizado en el 2010 (Camacho *et al.*, 2011), se anota que en orden de utilización en el mercado de la madera, aparece melina para tarima con un consumo de 0,5 millones de m<sup>3</sup>/año, seguido por laurel (16%), cedro (6%), ciprés (6%), pochote (5%), pino (4%) y pilón (3%) del total del mercado. A pesar de que no se indica en el estudio, es bien conocido que en la industria del mueble costarricense, el consumo de madera

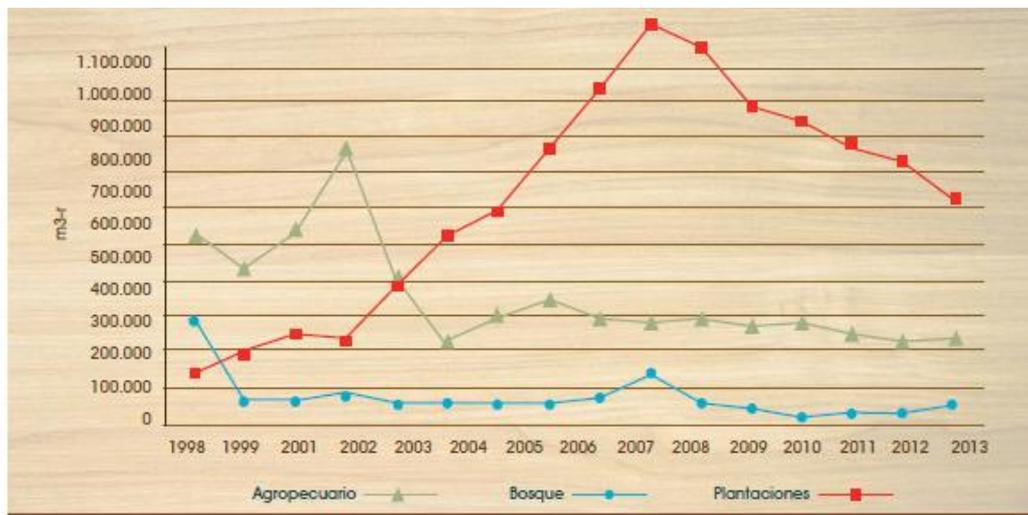
de las especies guanacaste, cenízaro y laurel representan una clara supremacía, lo que refuerza la importancia y demanda de madera de estas especies nativas.

Interesante mencionar que en el 2010 las más de 300 empresas del sector de tarimas fabricaron 5,35 millones de unidades con madera de melina principalmente (539.222 m<sup>3</sup>, 9% superior al 2009), con un valor estimado de \$56 millones (Barrantes *et al.*, 2011). El valor agregado del uso de la madera superó los \$289 millones, el empleo directo alcanzó cerca de 19 000 personas (aumentó en un 5,2% en el 2010), las exportaciones fueron de \$45,9 millones (\$30,7 de teca) mientras que las importaciones crecientes registraron \$48,7 millones (Barrantes *et al.*, 2011). El déficit de madera se estima que supera los 700,000 m<sup>3</sup>/año, debido a la disminución en la reforestación y a las restricciones a la cosecha de árboles en sistemas agropecuarios o en bosque natural (Barrantes, 2008). De manera clara, el país disminuyó su tasa de plantaciones de más de 10000 ha anuales en los años 90, a la actual cifra de aproximadamente 4000 ha, lo que provocó el nacimiento de un sector monopólico de exportadores de madera, que ha generado una balanza comercial negativa y creciente (Calvo, 2009; Barrantes y Salazar, 2010; Barrantes *et al.*, 2011). Esta importación implica una fuga de divisas (podrían alcanzar los \$277 millones/año en el 2020), un debilitamiento de la economía rural por el desempleo, debilitamiento de la diversificación de la producción de bienes y servicios, así como un aumento en los costos de la construcción, producción de muebles y la exportación de productos agrícolas (Barrantes, 2008).

No debe olvidarse que la utilización de madera es fundamental para el sostenimiento de los bosques del país, se estima que el consumo aparente en 2013 fue de unos 637.924 m<sup>3</sup>, el 73,6% se produce localmente y el restante 25,3% corresponde a la madera importada, donde el producto principal es la madera aserrada seguido de la madera contrachapada y tableros de partículas y fibras. En el 2011 se importó el 21,5% de manera que la madera importada está ganando terreno en el mercado nacional (Barrantes y Ugalde, 2014). Se estima que en los últimos cinco años, las plantaciones forestales aportaron alrededor de 1.875.000 m<sup>3</sup> de madera aserrada y generaron cerca de 15.000 empleos permanentes (FONAFIFO, 2015). La importación de esta madera habría generado una fuga de divisas de al menos \$ 412 millones, mientras la inversión estatal fue de unos \$35 millones. Esto evidencia que el cultivo de árboles con fines productivos es una muy buena inversión para el país, pues aparte de los beneficios ambientales ampliamente reconocidos, genera diversos encadenamientos productivos, empleo y valor agregado.

Buena parte de las causas de la disminución en reforestación se mencionan en un diagnóstico realizado por Baltodano en el FONAFIFO (2011): a) baja oferta de material vegetativo; b) costo de oportunidad vs otras opciones de uso del suelo; c) deficiente calidad y productividad de las

plantaciones; d) programa de PSA fue diseñado para fijar CO<sub>2</sub> y no para producir madera; e) ausencia de capacitación y apoyo técnico a los productores de madera; f) deficiente información sobre productividad y rentabilidad de la inversión en las plantaciones forestales. De Camino y Detlefen (2008) señalan como errores en el enfoque de los programas de reforestación, que a) la actividad no se orientó a la producción de madera en función de los mercados; b) no se fomentó un desarrollo forestal-industrial de pequeña y mediana empresa y, c) que se aplicó incentivos económicos que desvirtuaron los objetivos de la reforestación de producción de madera (Navarro et al. 2008).



**Figura 2:** Comportamiento del abastecimiento de madera en Costa Rica según su origen, periodo 1998-2013 (Barrantes *et al.*, 2014).

El MINAET-SINAC planteó como estrategia para enfrentar el desabastecimiento de madera de los próximos años, plantar a una tasa anual de 7,500 ha/año en plantaciones en bloque, sistemas agroforestales y silvopastoriles (Barrantes, 2008). En el trabajo de Baltodano (2011) se propone a) coordinar con la academia y Colegio profesional para desarrollar programas de educación continuada de actualización para los profesionales; b) desarrollar actividades de divulgación y transferencia en campo; c) brindar información sobre costos, rentabilidad y comparaciones con otras opciones de uso de la tierra; d) disminuir requisitos legales y tramitología a productores con proyectos < a las 10 ha; e) permitir ingreso de proyectos al PSA desde ¼ de ha en adelante. Como se puede observar, las razones principales de la disminución en la tasa de reforestación y propuestas de solución se relacionan con la ausencia de información suficiente, debilidad en la actualización y capacitación técnica, debilidad en la oferta y disponibilidad de material vegetativo de alta calidad y por supuesto, excesiva tramitología y requisitos para pequeños y medianos productores.

### Sobre el estado del conocimiento de las especies nativas propuestas en el proyecto:

A partir del inicio de los incentivos para la reforestación (1979) se establecieron con mucho esfuerzo y buenas intenciones, alrededor de 7000 ha con laurel (*Cordia alliodora*) en la zona norte del país. En esa época no se contaba con experiencia en reforestación a gran escala y los primeros profesionales recién se incorporaban al campo. A pesar de que el IICA y posteriormente CATIE, habían realizado varios trabajos científicos sobre la especie (Somarriba y Beer, 1987; Boshier y Lamb, 1997), aún no se tenían suficientes elementos técnicos para la reforestación con la especie, en especial en la zona norte. Los fracasos no se hicieron esperar: bajos crecimientos; alta mortalidad inicial; aparición de enfermedades. Factores que indujeron al Servicio Forestal suspender la reforestación comercial con esta especie (Sage y Müller, 1995). Varios estudios realizados no lograron aclarar fehacientemente, las causas del bajo rendimiento en muchos de los sitios. Simplemente, el laurel se plantó sin mayores criterios en todos los sitios posibles (Sage y Müller, 1995). Desde sitios con problemas de drenaje, compactación y presencia de pastos hasta pequeñas experiencias agroforestales (Badilla *et al.*, 2002).

A finales de los años 80, la OET inicia las primeras experiencias sistematizadas, en la búsqueda de especies nativas con potencial para la reforestación en las tierras bajas muy húmedas del país (Butterfield, 1992; Butterfield y Espinoza, 1995). Trabajos que fueron retomados posteriormente con nuevos grupos de investigadores (Alice *et al* 2004; Redondo, 2005). Se investiga rápidamente una importante cantidad de especies, cuya experiencia es retomada por el proyecto COSEFORMA (ITCR/GTZ/MINAE) en el año 90 y expandida a toda la zona norte (Müller, 1993). Se establecen parcelas de comprobación y manejo (desde 25 hasta 81 árboles), repetidas en todos y cada uno de los 4 grandes estratos edafo-climáticos en que fue subdivida la zona norte y Sarapiquí. En total se establecieron parcelas en más de 30 fincas diferentes, con las especies pilón (*Hieronyma alchorneoides*), cebo (*Vochysia guatemalensis*), almendro (*Dipteryx panamensis*), botarrama (*Vochysia ferruginea*), fruta dorada (*Virola koschnii*), lagarto (*Zantoxylum mayanum*) y vainillo (*Stryphnodendron excelsum*), para un total de más de 100 parcelas (Arias, 1993; Rodríguez, 1995; Badilla *et al.*, 2002).

En forma complementaria se establece en 1994 el Laboratorio de Semillas Forestales del ITCR en Santa Clara, San Carlos en un esfuerzo conjunto del ITCR y la GTZ. Desde este laboratorio se inicia la ubicación y recolección de semilla en árboles semilleros de numerosas especies nativas. Buena parte de este material fue plantado en una importante cantidad de proyectos en la zona norte y caribe del país (Badilla *et al.*, 2002; Delgado *et al*, 2003).

En esos años 90 se publican las primeras guías silviculturales con las especies nativas laurel, amarillón y cebo, financiadas por CATIE, que fueron posteriormente revisadas por Solís y Moya, con el auspicio del FONAFIFO e incorporaron al pilón (2005). Un grupo del CATIE produjo posteriormente una nueva guía silvicultural de pilón, donde aportaron modelos de crecimiento ajustados para Costa Rica (Montero et al, 2007). De manera similar, Solís y Moya (2005) publican un primer manual técnico del amarillón para Costa Rica (*Terminalia amazonia*), que luego es mejorado con un modelo de crecimiento ajustado por De Los Santos et al. (2006).

En el bosque seco tropical, la Estación Experimental Forestal Horizontes se ha constituido en el sitio donde se ha desarrollado el conocimiento sobre la utilización de especies forestales nativas desde los últimos 20 años (Rigg, 2013). Numerosos ensayos con especies nativas, en plantación pura y mezcla de especies, permitieron la acumulación de conocimiento de alto valor con especies como el Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), cenízaro (*Samanea saman*), cedro amargo (*Cedrela odorata*), cocobolo (*Dalbergia retusa*), ron (*Astronium graveolens*) entre otras (Obando, 2010, Rigg, 2013).

La inexistencia de fuentes semilleras seleccionadas ha provocado fuertes variaciones en la productividad de la reforestación en el país (Murillo, 1992b), cuyos resultados podrían crear un efecto muy negativo en la actividad. Es claro que el verdadero potencial del país en reforestación está en plantaciones pequeñas y medianas, basadas en un paquete tecnológico que garantice la más alta productividad y calidad posible, de modo que estimule la posibilidad de utilizar el suelo en reforestación para la producción de materia prima competitiva en calidad y costos. Sin embargo, existe una alta proporción de condiciones de sitio, donde 1) no se cuenta con especies adecuadas para la reforestación o 2) la reforestación actual con las pocas especies disponibles, presenta muy bajos índices de rentabilidad debido a que no se tiene material seleccionado que garantice mejores rendimientos a esta actividad. En síntesis, debe tenerse presente que si la actividad de reforestación no logra ser suficientemente atractiva como opción de uso de la tierra, no se podrá promover su desarrollo aunque se cuente con el financiamiento y aunque el establecimiento de plantaciones forestales sea de alta prioridad y urgencia para el país.

## Hoja de Ruta de GENFORES

<b>Desarrollo y promoción del mejor material genético existente de reforestación para las especies <i>Tectona grandis</i>, <i>Gmelina arborea</i> y de 6 especies nativas de alto valor de la región tropical americana</b>			
<b>I Fase</b>	<b>II Fase</b>	<b>III Fase</b>	<b>IV Fase</b>
Gestión desde la EIFO (ITCR) de investigación como base para la creación posterior de la cooperativa de conservación y mejoramiento genético forestal (GENFORES) bajo un modelo asociativo.	Consolidación de GENFORES a nivel nacional	Proyección de GENFORES a nivel latinoamericano y avances hacia su sostenibilidad	Creación de un modelo sostenible para GENFORES dirigido desde el ITCR, con proyección científica y comercial a nivel internacional.
<b>Período</b> 1998-2001	<b>Período</b> 2001-2005	<b>Período</b> 2005-2014	<b>Período</b> 2014-2020
<b>Productos</b> 1. Desarrollo de tecnología clonal a escala operativa.	<b>Productos</b> 1. Creación de GENFORES con un grupo de 4 empresas nacionales. 2. Desarrollo propio de tecnologías de propagación clonal a escala comercial (diseño de invernaderos), diseños propios de selección y evaluación genética; y consolidación de GENFORES en Costa Rica. 3. Constitución de primeras colecciones genéticas de alto valor de las especies teca, melina y Acacia mangium. 4. Publicación de numerosos artículos científicos, manuales, ponencias en congresos internacionales.	<b>Productos</b> 1. Consolidación de GENFORES a nivel nacional y latinoamericano con 10 miembros en 5 países. 2. Definición de estrategia de mejoramiento genético; Inicia la F2 y el mejoramiento genético hacia Resistencia a enfermedades; definición de grupo de spp nativas estratégicas. 3. Definición de estrategia comercial con la propuesta de creación del CONSORCIO.	<b>Productos</b> 1. Desarrollo basado en Plan Estratégico de GENFORES: a) hacia generaciones avanzadas de mejora; b) resistencia a enfermedades; c) genómica de teca, melina y spp nativas; d) nuevo modelo de cooperación y funcionamiento (ITCR y empresarial); e) liderazgo internacional en mejoramiento genético y formación de recurso humano. 2. Consolidación del CONSORCIO, como vía de gestión empresarial/usufructo de los productos de GENFORES.

## 6. Metodología

**Objetivo específico 1:** Iniciar un programa acelerado de mejoramiento genético y de creación de fuentes semilleras para cada una de las especies nativas del proyecto.

a) Establecimiento de ensayos de procedencia/progenie con cada una de las especies.

Los ensayos de procedencia buscan dos objetivos, 1) determinar posibles diferencias genéticas entre poblaciones/regiones dentro de cada especie y, 2) permitir seleccionar árboles superiores (plus) para fortalecer el programa de mejoramiento genético. Con el fin de facilitar el segundo objetivo, se ha popularizado el uso de ensayos de procedencia/progenie, donde básicamente se mantiene por separado la identidad de cada árbol dentro de cada procedencia. De esta forma, un mismo ensayo logra cumplir con ambos objetivos. La figura 1 muestra la distribución espacial de un ensayo de procedencia/progenie.

Para este proyecto se planeó coleccionar el germoplasma de al menos 3 procedencias de zonas ecológicas contrastantes por especie y de no menos de 10 árboles por procedencia, tal y como se explica en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Procedencias potenciales de ambientes contratantes, a ser recolectadas para cada una de las especies nativas del proyecto.

<b>Especie</b>	<b>Procedencias potenciales a recolectar</b>
<i>Cordia alliodora</i>	1) Orotina y San Mateo; 2) Santa Clara, San Carlos; 3) Upala
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1) Horizontes, Liberia; 2) Peñas Blancas, La Cruz; 3) Hojancha; 4) Santa Clara, San Carlos
<i>Samanea saman</i>	1) Horizontes, Liberia; 2) Peñas Blancas, La Cruz; 3) Hojancha; 4) Santa Clara, San Carlos
<i>Cedrela odorata</i>	1) Horizontes, Liberia; 2) Peñas Blancas, La Cruz; 3) Hojancha; 4) Santa Clara, San Carlos 5) El Rodeo, Ciudad Colón, Mora; 6) Pérez Zeledón
<i>Terminalia amazonia</i>	1) Pérez Zeledón; 2) Bioley, Buenos Aires; 3) Pocosol, San Carlos
<i>Vochysia ferruginea</i>	1) Pérez Zeledón; 2) Buenos Aires; 3) Sarapiquí



**Objetivo específico 2:** Establecer ensayos para el mejoramiento del paquete silvicultural con las especies nativas del proyecto.

**a) Establecimiento de ensayos de espaciamientos con al menos tres de las especies nativas**

Los ensayos de espaciamientos se establecieron en sistemas silvopastoriles, dada la oportunidad de apoyo por parte del Colegio Agropecuario de San Carlos (Santa Clara), quienes ofrecieron aportar recursos para su establecimiento y mantenimiento. De esta manera se diseñó un sistema silvopastoril en franjas de madera de 6m de ancho, espaciadas cada 50 m entre sí. Dentro de la franja se estableció un ensayo de espaciamientos bajo el diseño de Bloques Completos al Azar, donde se evalúan 7 espaciamientos o tratamientos: 1 x1m; 1 x 2m; 2x 2m; 2,5 x 2,5m; 2 x 4m y 2,5 x 5 m y 2,5 x 6m. En estos ensayos se establecieron 3 bloques y la unidad experimental estuvo conformada por 18 árboles en la parcela útil, con excepción de los espaciamientos de 1 x 1m y de 1x2m, que tienen 30 plantas en la Unidad Experimental. El ensayo de espaciamientos se estableció en noviembre 2013 con guanacaste, cenízaro y cedro amargo. Sin embargo, el cedro tuvo una alta mortalidad inicial y fue reemplazado con amarillón en diciembre 2014. Todos los ensayos fueron resembrados a los 30 días con el fin de disminuir datos faltantes.

Las variables de respuesta (medición) de los ensayos de espaciamientos se muestran en el formulario de campo como aparecen en el cuadro 2. Los ensayos se evaluarán una vez al año, en el mes de marzo. El efecto del espaciamiento se estima se reflejará en los datos a partir del tercer año. Por lo que se espera que este proyecto logre una segunda fase de financiamiento.

**Cuadro 2.** Muestra del formulario de campo para la evaluación de los ensayos de espaciamientos.

Formulario de campo para evaluar ensayos de espaciamientos

HOJA No. \_\_\_\_\_ Anotador \_\_\_\_\_ Especie \_\_\_\_\_  
 Propietario: \_\_\_\_\_ Ubicación geográfica \_\_\_\_\_ Fecha de siembra \_\_\_\_\_ Fecha de medición \_\_\_\_\_

que	Espaciamiento Descope	Árbol	Posición sociológica b C I S	dep (cm)	D 5m	h total (m)	Altura de 1era rama gruesa (m)	No de ramas a los 2.5m	No. de ramas gruesas <sup>1</sup> en los primeros 5m	Diámetro de Copa Hileras (m)	Diámetro de copa Filas (m)	Bifurcación Reiteración B1 a B4	Daño por Viento <sup>2</sup>	H daño por viento	Calidad de trozas				
															T1	T2	T3	T4	
	3x3// 8m	1																	
		2																	
		3																	
		4																	
		5																	
		6																	
		7																	
		8																	
		9																	
		10																	
		11																	
		12																	
		13																	
		14																	
		15																	
		16																	
		17																	
		18																	
		19																	
		20																	
		21																	
		22																	
		23																	

Daño al viento: 1 = 0 daños; 2 = torcedura leve; 3 = severamente doblado; 4 = quebrado/descapado  
 Posición sociológica: D = dominante; CB = codominante; I = intermedio; S = suprimido // Rama gruesa = cuyo diámetro > 33% del diámetro del fuste; Delgado = 1; Gruesa = 2

**b)** Establecimiento de una plantación modelo con 3 de las especies nativas, una por organización.

Con las especies *Enterolobium cyclocarpum*, *Samanea saman* y *Cedrela odorata* se establecieron ensayos de procedencia/progenie en la Estación Experimental Forestal Horizontes (Liberia) en un área de aproximadamente 1,5 ha cada una. El sitio recibió una buena limpieza y control de malezas inicial, así como el paso previo del subsolador a 30 cm de profundidad. Se aplicó herbicida Roundup antes de la siembra para controlar el jaragua (*Hyparremia rufia*). Se aplicó hidrogel en cada hoyo al momento de la siembra (agosto, 2014) y se realizaron rodajeas a cada arbolito a la siembra y a los 45 días. A los 30 días de plantado se repusieron los árboles muertos, con el fin de disminuir los datos faltantes del ensayo. En diciembre se decidió no rodajear para que la maleza pudiera proteger contra los vientos alisios. Se considera que estas tres plantaciones cumplen a cabalidad con las condiciones de establecimiento y podrán ser de gran utilidad como modelo de buenas prácticas silviculturales. El tema por ahora será su supervivencia después de un año tan seco y con tanto viento en la zona.

**Objetivo específico 3:** Construir un modelo financiero y de inversión para cultivo de madera con las especies nativas del proyecto.

- a) Revisión y posible mejoramiento de modelos de crecimiento/rendimiento de cada una de las especies.

Como primer paso, se compiló y revisó modelos de crecimiento, rendimiento y de volumen comercial reportados para cada una de las 6 especies del proyecto (Mora, 2002 con *E. cyclocarpum* y *Samanea saman*; Delgado *et al.*, 2003; Somarriba y Beer, 1987 para *C. alliodora*; CATIE, 1994; guías silviculturales existentes; De los Santos *et al.*, 2006 para *Terminalia amazonia*; Montero *et al.*, 2007 para *Hieronyma alchorneoides*). Así también se coordinó la utilización de bases de datos de especies nativas de organizaciones/empresas como FUNDECOR, EARTH, ITCR, estación Horizontes en el Parque Nacional Guanacaste y Coopeagri que permitió mejorar algunos de los modelos de crecimiento existentes. En algunas especies se logró trabajar en el ajuste de modelos dap/edad, utilizando un concepto de productividad y no de calidad de sitio, que resulta mucho más funcional.

Para el probable ajuste de modelos se utilizará el paquete estadístico SAS y sus opciones de *Proc Regression* y *Proc Nolin* (no lineal) según corresponda, acorde con el tipo de modelo a ajustar. Se analizará la calidad del ajuste ( $R^2$ , desviación estándar, error típico, entre otros) el comportamiento de los residuos y se validará contra un 20% de los datos, que previamente no serán incluidos en el primer ajuste de modelos.

Con los datos de crecimiento y el mejor modelo ajustado, se procedió a construir una hoja en EXCEL que integró la información y la convirtió en un modelo de rendimiento, troza por troza, basado en el árbol promedio a cada edad. Los datos de volumen por árbol medio se obtuvieron mediante el software desarrollado para Calidad y Valuación de Plantaciones (Murillo y Badilla, 2004, versión 2014), que tiene integrado un algoritmo de conicidad para cada una de las seis especies, con excepción del botarrama y laurel. Para estas dos especies el programa tiene un algoritmo alternativo para especies de rápido crecimiento y relación altura/dap de mayor conicidad (basado en *V. guatemalensis*, *Acacia mangium* y *Gmelina arborea* apropiado para *V. ferruginea*) y, otro algoritmo para especies de crecimiento un tanto más lento y con otra relación h/dap (basado en teca y pilón, apropiado para laurel). El programa permite estimar volúmenes comerciales para distintos productos en un mismo árbol a partir de un diámetro mínimo (20 cm para madera de aserrío, 10cm para tarima y 5 cm para leña o biomasa). El programa permite también realizar un despiece, árbol por árbol, donde el usuario puede definir el largo de manera independiente de la troza 1, troza 2 y el resto de trozas comerciales de un árbol.

Para estimar los ingresos vía raleo, se definió la edad de cada raleo con base en el área basal acumulada, utilizando como criterio que no superara los 20-22 m<sup>2</sup>/ha. Dado que este criterio no es funcional para el primer raleo, se definió al año 4 con base en la experiencia de crecimiento y manejo general de otras especies en el país.

- b)** Compilación de información sobre uso de la madera, precios, de las especies nativas del proyecto.

Con el fin de poder construir un modelo de ingresos esperados por la producción de madera, se compiló precios de valor en pie, valor en patio, valor en aserradero y valor en depósito, de cada una de las 6 especies del proyecto, en las diferentes regiones del país. Para obtener esta información se consultó la información que registra periódicamente la Cámara Costarricense Forestal con su boletín, *Desde el bosque* y se consultó con algunos depósitos y compañías madereras en las distintas regiones. La información base se recopiló directamente en precio por PMT (pulgada maderera tica).

- c)** Desarrollo de modelos financieros de inversión/producción en plantación con cada una de las especies nativas.

Durante el desarrollo del proyecto se compiló información sobre costos y rendimientos de cada una de las labores que se realizan en una plantación forestal ordinaria, año con año. Las labores se tipificaron y homologaron con base en su función para obtener un solo nombre para cada posible labor en una plantación. La información se obtuvo de 12 empresas reforestadoras, con lo cual se logró obtener un valor medio, valor más alto y valor más bajo en jornales, para cada una de las labores. Adicional a la información de rendimientos, se determinó una cantidad/ha/año y precio, de agroquímicos básicos que se deben utilizar en toda plantación, acorde con el paquete tecnológico típico que se aplica actualmente en el país. Por último, dado el patrón creciente en el país de invertir en la preparación del terreno previo a la plantación, se incluyó costos de alquiler de maquinaria para las labores típicas (subsulado, arado, rastra y lomillado).

La base de datos se organizó en una hoja programada en EXCEL para cuatro grandes posibles escenarios:

Ciclo corto (8 a 12 años, Cedro amargo)

Pequeño Reforestador

Ciclo largo (15 a 18 años, Amarillón, botarrama, laurel)

Ciclo corto (8 a 12 años, Cedro amargo)

Mediano y Gran Reforestador

Ciclo largo (15 a 18 años, Amarillón, botarrama, laurel)

Una vez construido el modelo de costos y definidos los cuatro posibles escenarios de manejo de plantaciones, se desarrolló en EXCEL una aplicación con el flujo de caja (ingresos vs egresos) y la generación de los respectivos indicadores financieros para cada una de las seis especies (VPN, Relación Costo/Beneficio, VET, ver Corella, 2009).

**Objetivos específicos 4:** Caracterizar con marcadores moleculares la estructura y diversidad genética de las especies nativas investigadas.

- a) Adaptación y validación de protocolos de análisis molecular con AFLP's en cada especie.

La investigación se realizó en el Laboratorio de Genética Molecular Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal, localizado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

#### **Extracción de ácidos nucleicos**

Para la extracción de los ácidos nucleicos totales en las 6 especies (guanacaste, cenízaro, cedro, laurel, botarrama y amarillón) se utilizó el kit DNeasy Mini Plant de la casa comercial Quiagen®. Debido a la poca cantidad de ADN obtenido en algunas de las especies como por laurel y guanacaste, se tomó muestras foliares de varias plantas y se concentró en una sola muestra. Esto además con el fin de validar las combinaciones de imprimadores selectivos funcionales para cada una de las especies.

#### **Corte del ADN con las enzimas de restricción EcoRI y MseI**

Se probó diferentes combinaciones de cantidad de ADN y enzimas en las 6 especies. Debido a la poca cantidad de ADN obtenido en guanacaste y laurel, fueron las dos especies en las que se utilizó la mayor cantidad de microlitros de ADN.

#### **Ligación de Adaptadores**

Después de varias pruebas realizadas, los ligámenes fueron efectivos una vez que se logró adquirir adaptadores nuevos y, se realizó una linearización de los mismos a 65 °C durante 15 minutos, para inmediatamente después colocarse en hielo. Esa misma temperatura y tiempo

se utilizó para inactivar las enzimas en las reacciones de restricción antes de proceder a ligar los adaptadores.

### Reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para imprimadores Pre-Selectivos

Se realizó en un volumen final de 50 ul con buffer de PCR 10X y una concentración final de 3 mM de MgCl<sub>2</sub>; 0,2 mM de dNTPs; 0,3 uM de cada imprimador preselectivo, 1 Unidad de la enzima Taq Polimerasa y 10 uL de las reacciones de ligación diluidas 1/10. Esta amplificación se realizó para 5 de las 6 especies, pues botarrama a pesar de múltiples pruebas para cortar el ADN, no ha sido posible encontrar el equilibrio ADN-enzimas para obtener un buen rastro en el gel.

Las reacciones preselectivas para las 5 especies, a excepción de botarrama, fueron diluidas 1/20 para la realización de las amplificaciones selectivas.

**Cuadro 3.** Perfil térmico para la amplificación Preselectiva

Programa	Paso	Temperatura (°C)	Tiempo	Ciclos
1	Extensión inicial	72	20 s	1
	Desnaturalización	94	20 s	
2	Apareamiento	56	30 s	19
	Rampa	0,9 °/s to 72		
3	Extensión final	72	2 min	
4	Apareamiento final	60	30 min	1

### Reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para imprimadores Selectivos

Se realizó en un volumen final de 20 ul con buffer de PCR 10X y una concentración final de 1 mM de MgCl<sub>2</sub>; 0,2 mM de dNTPs; 0,05 uM del imprimador selectivo para la enzima EcoRI, 0,25 uM del imprimador selectivo para la enzima MseI, 1 Unidad de la enzima Taq Polimerasa y 4 uL de las reacciones preselectivas diluidas 1/20.

Se logró probar 9 combinaciones en 5 especies, utilizando ACG con los 9 imprimadores de MseI (CAA-CAC-CAG-CAT-CTT-CGG-CTA-CTC-CTG).

**Cuadro 4.** Perfil térmico para la amplificación Selectiva

Programa	Paso	Temperatura (°C)	Tiempo	Ciclos
1	Desnaturalización inicial	94	2 min	1
	Desnaturalización	94	20 s	
2	Apareamiento	66	30 s	10
	Rampa	-1 °C por ciclo		
	Extensión	72	2 min	
	Desnaturalización	94	20 s	
3	Apareamiento	56	30 s	18
	Extensión	72	2 min	
4	Apareamiento final	60	30 min	

**Objetivos específicos 5:** Compilar y divulgar la información existente en un manual técnico de inversión para cada una de las especies nativas del proyecto.

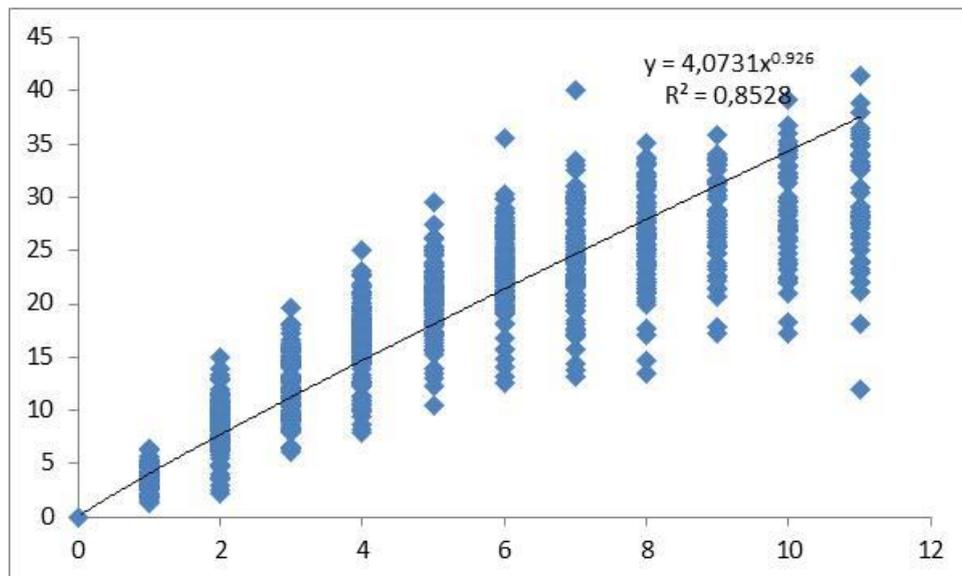
- a) Compilación, revisión y sistematización del conocimiento existente en un manual de inversión en plantación para cada una de las especies nativas del proyecto.

Dentro del proyecto COSEFORMA (cooperación de la GTZ de Alemania con el ITCR y el MINAE en la década de los años 90 en la zona norte del país) se elaboraron versiones generales de un manual técnico para las especies *C. alliodora*, *V.ferruginea* y *T. amazonia*. Para la especie *C. alliodora* el CATIE publicó una guía silvicultural completa en 1994. Moya y Solis publicaron una nueva guía para *T. amazonia* (2005), que luego complementada con los trabajos en biometría de Los Santos-Posadas et al (2006). Sin embargo, todos estos manuales merecen una nueva versión, especialmente con información actualizada sobre rendimientos financieros y de inversión, que estuvo ausente o muy débil en las versiones anteriores.

Para la construcción de estas nuevas guías, se compiló información nueva para cada especie en los siguientes temas:

1. Precios de la madera y uso actual en el mercado nacional.
2. Reportes existentes sobre plagas y enfermedades
3. Reportes existentes sobre propiedades de la madera
4. Datos existentes sobre crecimiento que organizaciones como EARTH, FUNDECOR, bases de datos antiguas de COSEFORMA/ITCR, Estación Exp. Forestal Horizontes (Liberia), empresas privadas, tenían sobre cada una de las 6 especies nativas de este proyecto.

Con la información de crecimiento se ajustó un nuevo modelo DAP vs Edad para cada especie, con el fin de crear una función basada en productividad y no en índices de sitio (ver figura 4).



**Figura 4:** Modelo de crecimiento ajustado DAP (eje y)-Edad (eje x) para *Vochysia ferruginea* en la zona norte y caribe de Costa Rica.

Con la información de crecimiento se generó una hoja electrónica en EXCEL que permitió estimar el rendimiento productivo esperado para cada especie, donde se simuló los ingresos estimados para cada raleo y cosecha final, basado en el diámetro y volumen comercial del árbol medio a cada edad y raleo programado. Se asumió que en especies de rápido crecimiento (*Vochysia ferruginea* y *Cedrela odorata*), con un turno estimado de 12 a 15 años de edad, los raleos ocurrirán a los 3, 6 y 9 años respectivamente. Mientras que para las especies guanacaste, cenízaro, laurel y amarillón, su turno final se proyectó a los 16-18 años, con raleos a los años 4, 8 y 12 respectivamente. La edad de raleo se estimó a partir del acumulado de área basal, cuyo valor no se permitió superara los 20 m<sup>2</sup>/ha. La intensidad del raleo se basó en una reducción del área basal (G) hasta un límite no inferior a un 40% del Gmáximo (Gmáx = 36 m<sup>2</sup>/ha), que corresponde aproximadamente a 14 m<sup>2</sup>/ha.

- b)** Organización de un evento nacional sobre reforestación con especies nativas en el país.

Al finalizar el proyecto se organizó un encuentro sobre especies nativas a celebrarse en la Estación Experimental Forestal Horizonte, en Liberia, Guanacaste. El evento fue programado para la última semana de junio del 2015. El evento tendrá un enfoque hacia posibilidades reales de inversión en el cultivo de especies maderables nativas de alto valor en Costa Rica.

En este evento se divulgará los principales hallazgos y avances del proyecto. Sin embargo, se espera poder también invitar a otros investigadores o actores que hayan hecho aportes al cultivo de especies nativas maderables.

## 7. Resultados

**Objetivo específico 1:** Iniciar un programa acelerado de mejoramiento genético y de creación de fuentes semilleras para cada una de las especies nativas del proyecto.

**a)** Establecimiento de ensayos de procedencia/progenie

En el cuadro 5 se muestra el detalle de las colectas de semilla por especie realizadas en el proyecto durante el 2013 y 2014. Se puede observar que con excepción de *T. amazonia* y *V. ferruginea*, se colectó semilla de entre 4 y 6 procedencias por especie, que correspondió a más de 50-60 familias en cada caso.

**Cuadro 5.** Procedencias recolectadas para cada una de las especies nativas del proyecto.

<b>Especie</b>	<b>Procedencias recolectadas</b>
<i>Cordia alliodora</i>	1) Orotina y San Mateo; 2) Atenas; 3) Santa Clara, San Carlos; 4) Upala; 5) Turrialba. <b>Total 70 árboles.</b>
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2) Horizontes, Liberia; 2) Peñas Blancas, La Cruz; 3) Hojancha; 4) Santa Clara, San Carlos; 5) Nosara, Nicoya; 6) San Mateo. <b>Total 60 árboles</b>
<i>Samanea saman</i>	1) Horizontes, Liberia; 2) Peñas Blancas, La Cruz; 3) Hojancha; 4) Santa Clara, San Carlos; 5) Nosara, Nicoya; 6) San Mateo. <b>Total 50 árboles</b>
<i>Cedrela odorata</i>	1) Horizontes, Liberia; 2) Peñas Blancas, La Cruz; 3) Hojancha; 4) Santa Clara, San Carlos; 5) Nosara, Nicoya; 6) San Mateo; 7) Atenas; 8) El Rodeo, Ciudad Colón, Mora; 9) Pérez Zeledón. <b>Total 92 árboles</b>
<i>Terminalia amazonia</i>	1) Pérez Zeledón; 2) Bioley, Buenos Aires. <b>Total 15 árboles</b>
<i>Vochysia ferruginea</i>	1) Pérez Zeledón; 2) Buenos Aires. <b>Total 28 árboles</b>

La semilla se germinó y trasplantó a Jiffy de 35 mm en el vivero forestal del ITCR en Cartago. Luego fue trasladada al invernadero forestal del ITCR en Santa Clara por conveniencia en condiciones ambientales.

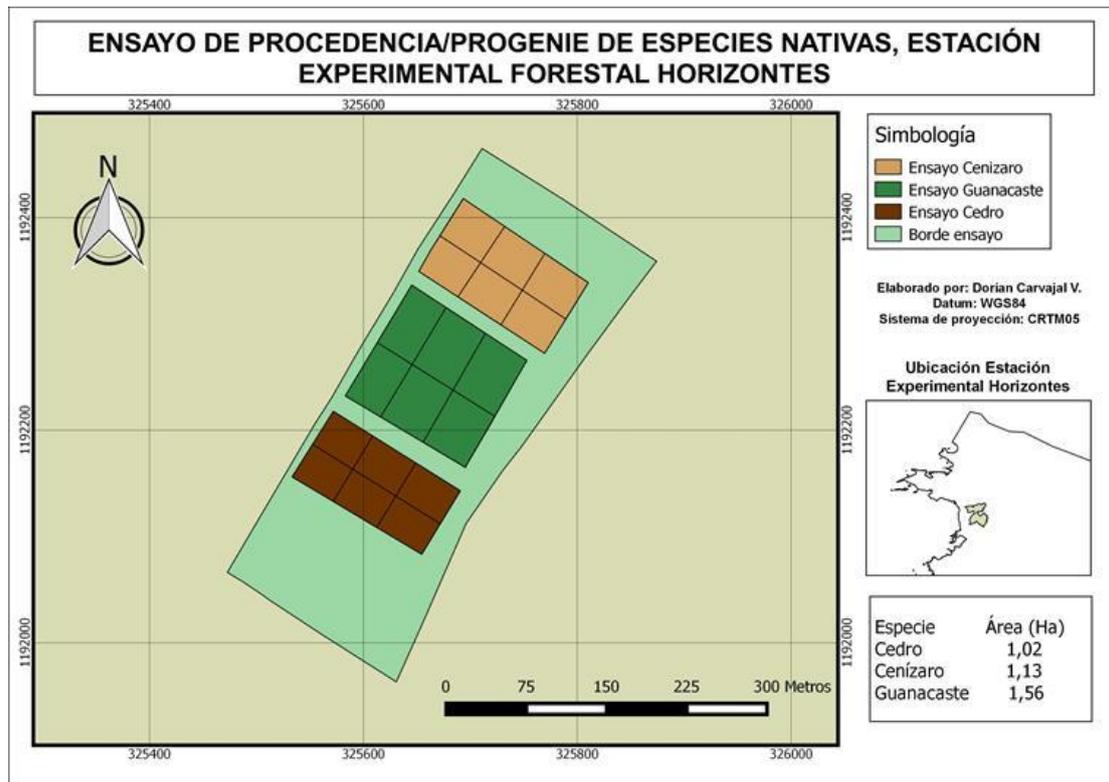
Para las seis especies, la semilla se colectó durante el 2013 y también durante el 2014. Solo de esta manera se logró completar suficiente material para establecer adecuados ensayos genéticos.

**Cuadro 6:** Cantidad de familias por especie que lograron germinar y sobrevivir al proceso de viverización en Cartago y Santa Clara. Material disponible para el establecimiento de ensayos genéticos.

<b>Especie</b>	<b>Cantidad de familias útiles disponibles para establecer ensayos de Procedencia /Progenie</b>
<i>Cordia alliodora</i>	50
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	55
<i>Samanea saman</i>	38
<i>Cedrela odorata</i>	72
<i>Terminalia amazonia</i>	13
<i>Vochysia ferruginea</i>	11

La especie *T. amazonia* manifestó una muy baja germinación y durante el 2014 presentó una baja floración y fructificación. La especie *V. ferruginea* presentó también una germinación muy baja o casi nula, lo que impidió durante dos años consecutivos, poder completar una colección suficiente para establecer buenos ensayos de procedencia/progenie. Estas dos especies son difíciles de trabajar, en especial cuando se requiere la semilla separada por árbol de una población suficiente.

Finalmente, se logró establecer ensayos completos de procedencia/progenie con las especies guanacaste, cenízaro y cedro amargo, todos en la Estación Experimental Forestal Horizontes (Liberia, Guanacaste, Figura 5). Con el cedro se subdividió el ensayo en dos secciones, sección A con 42 familias y la sección B con 30 familias. La primera sección tuvo una mortalidad de más del 60% debido a la influencia de un viento alisio prematuro, que prácticamente eliminó este ensayo. Su ubicación puede observarse en la sección baja de la Figura 5, al lado del ensayo de cedro.



**Figura 5:** Ensayos de Procedencia/progenie de tres especies nativas, establecidos en agosto-setiembre 2014 en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste.

Es importante mencionar que estos ensayos se establecieron bajo condiciones ambientales realmente difíciles. La sequía durante el 2014 fue sumamente fuerte, el fenómeno del niño azotó especialmente esta región de Guanacaste. Los vientos alisios continuaron afectando la región e hizo que se perdiera casi por completo el ensayo más grande de cedro.

**Cuadro 7:** Descripción de los ensayos de Procedencia/progenie establecido en la EEFH en el 2014.

Especie	Accesiones	Fecha de establecimiento y número de plantas
<i>Cedrela odorata</i> I (este ensayo se perdió)	40 familias Bloque = 16 x 15 plantas	Agosto 2014. Abangares 1,2,3,4,5,6,7,8 CT 1,2,3,4,5,6,7,8 Hojancha 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 Pérez Zeledón 1,3,4,6 Orotina 78, 80
<i>Cedrela odorata</i> II	32 familias Bloque = 12 x 16 plantas	Agosto 2014 Santa Clara, SC 2013: 1,2,3,5,6,7,8,10 Santa Clara SC 2014: 2,3,4,11 TR 84 Desmonte, San Mateo 86,87,91,93,94 PO 3,4,5,6 Jesús María, San Mateo 3,4,5,8,51 TB 4,6,7 Horizontes, Liberia 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
1.1.1.1.1 <i>Enterolobium cyclocarpum</i>	50 familias Bloque = 15x20 plantas	Agosto 2014 Peñas Blancas, La Cruz 1,2,3,4,8,9,10,11,12,235,236,237 Horizontes, Lib. 1,2,3,4,5,6,7,8,10 Santa Clara, SC 1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12 Hojancha 1,2,3,6,7,8,9,10 Orotina 53,79,81,82,83,85,88,89,90,92
1.1.1.1.2 <i>Samanea saman</i>	38 familias Bloque = 16 x 16 plantas	Agosto 2014 Santa Clara, SC 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 SQ 1,2,3 Peñas Blancas, La Cruz 4,6,10 Hojancha 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 Horizontes, Lib. 4,10,16,35,40,41,43,80,155,159

La colección de *Cordia alliodora* no se logró plantar durante el 2014 debido a que el terreno en una de las fincas del Colegio Agropecuario de San Carlos (Santa Clara) no estuvo listo. Se decidió posponer entonces su siembra para mayo del 2015, que incluya una buena preparación del terreno (subsulado, drenajes, lomillado) y su respectivo encalado. La colección se pasó de Jiffy a bolsa plástica para tratar de controlar mejor su crecimiento hasta el 2015 y se mantiene en el invernadero forestal del ITCR en Santa Clara.

- b)** Desarrollo de minijardines clonales y de capacidad de producción clonal como fuente semillera, para cada una de las especies.

Se establecieron parcelas piloto en minijardín clonal con cada una de las seis especies. Estas parcelas se constituyeron por 10 x 12 plantas en uno de los bancales dentro del invernadero

forestal en Sta. Clara, su espaciamiento fue de 10 x 10 cm (100 plantas/m<sup>2</sup>). Las plantas madre fueron originadas a partir de semilla, con excepción del *Vochysia ferruginea*, que provinieron de brotes del meristemo de plantas producidas en bolsa plástica, compradas a un vivero comercial en Sarapiquí.

Todas las plantas recibieron el mismo protocolo de manejo (riego y fertilización) empleado en las demás especies existentes dentro del invernadero. A los 2 meses aproximadamente iniciaron con la producción de brotes apicales de suficiente tamaño para iniciar con el proceso de producción clonal por miniestaquillas.

La parcela de botarrama (*V. ferruginea*) sufrió una mortalidad prácticamente total, por lo que fue necesario replantarla. A pesar de esto, volvió a sufrir una mortalidad casi total, lo que ha impedido hasta la fecha su establecimiento en el sistema clonal. Se intentó también establecer una parcela de minijardín clonal a partir de brotes tiernos que habían logrado enraizar en los minitúneles. Nuevamente volvieron a morir todas las plantas.

En el cuadro 8: se muestra la tasa de producción de brotes y tasa de enraizamiento para cinco especies nativas.

**Cuadro 8:** Tasa de brotadura y de enraizamiento para cinco especies nativas evaluadas como minijardín clonal en el invernadero de investigación forestal clonal del ITCR en Santa Clara, San Carlos.

Especie	Plantas madre		Brotos / planta madre	Enraizamiento	Productividad
	Promedio (n)	Sobrevivencia (%)	Promedio (n)	(%)	
Amarillón	75	97.37	1.04	33.57	0.35
Cedro	135	88.81	0.48	61.39	0.29
Cenizaro	181	98.35	0.68	73.61	0.50
Guanacaste	150	96.08	0.89	40.43	0.36
Laurel	142	99.30	1.78	36.32	0.65

En la figura 6 se muestra un minijardín clonal de laurel y otro de guanacaste en plena producción vegetativa. Sus datos de producción de brotes se registran en el cuadro 8.

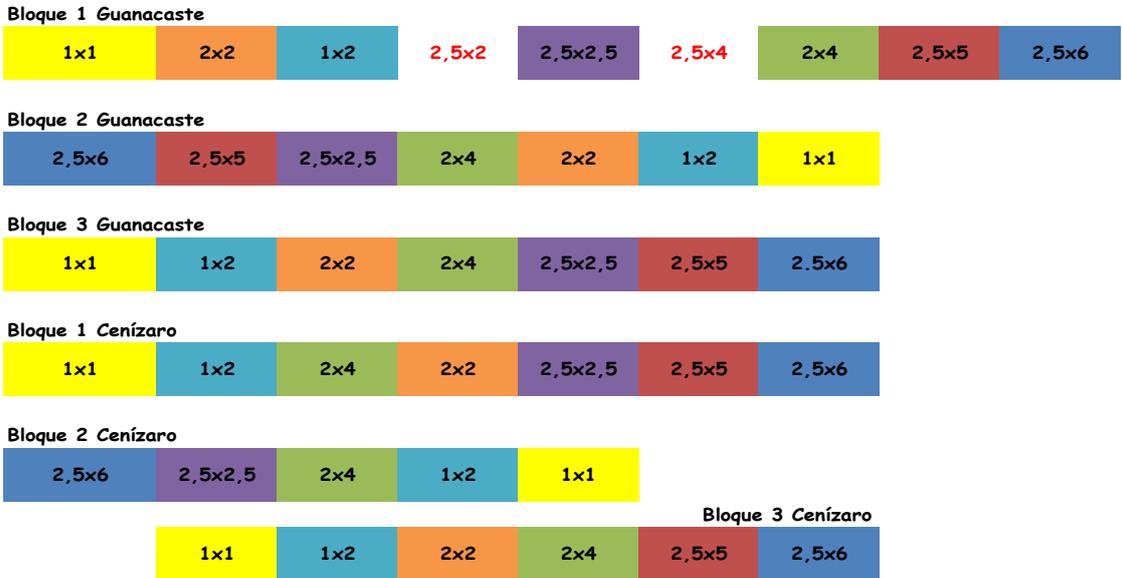


**Figura 6:** Minijardín clonal de laurel (izquierda) y de guanacaste (derecha) establecidos en el invernadero forestal en Santa Clara, San Carlos.

**Objetivo específico 2:** Establecer ensayos para el mejoramiento del paquete silvicultural con las especies nativas del proyecto.

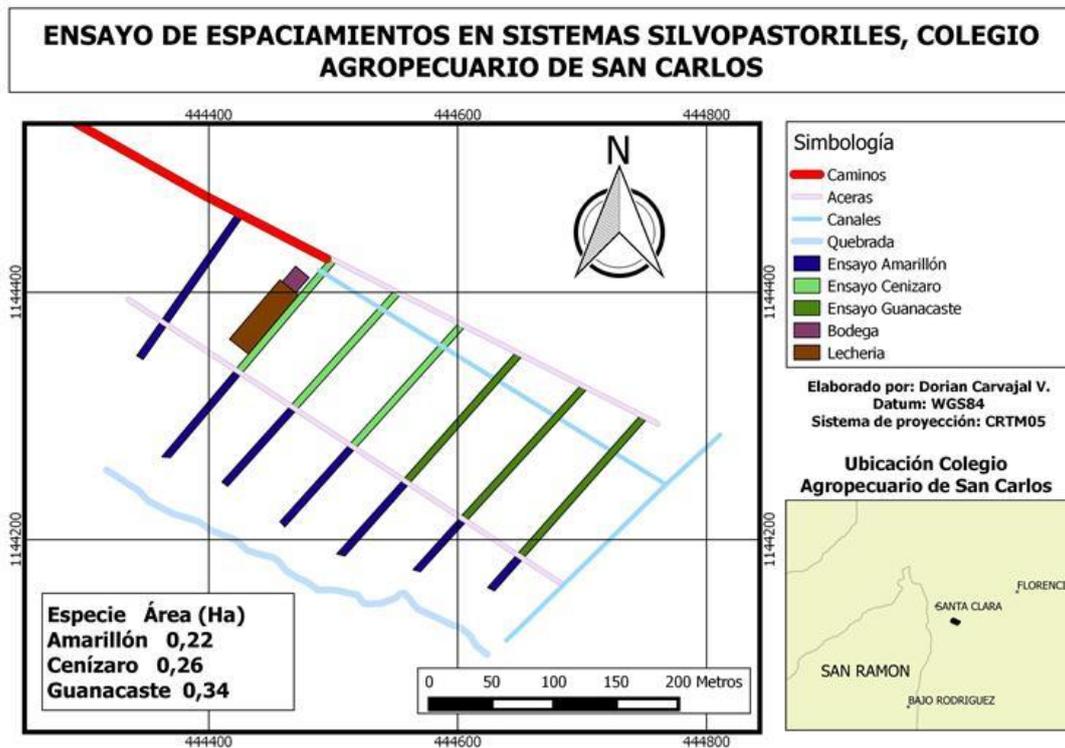
a) Establecimiento de ensayos de espaciamientos con al menos tres de las especies nativas

Establecimiento I quincena de noviembre, 2013



**Figura 7:** Diseño del ensayo de espaciamientos con especies nativas en sistemas silvopastoriles, Finca del Colegio Agropecuario de San Carlos, Santa Clara.

En la figura 7 no aparece el ensayo de espaciamientos de cedro que fue luego sustituido por un ensayo con amarillón.



**Figura 8:** Distribución espacial de los tres ensayos de espaciamientos con especies nativas en sistemas silvopastoriles, Colegio Agropecuario San Carlos (Santa Clara), plantados en noviembre 2013.

Puede observarse que el espectro de espaciamientos en evaluación, permitirán generar conocimiento valioso de estas especies, que simulan densidades desde 10 000 árboles/ha (1 x 1m), pasando por 5000, 2500, 1600, 1200, 800 y hasta 667 árb/ha. Las franjas de madera están espaciadas en aproximadamente 50 m entre sí y tienen 6 m de ancho bordeado de cerca para su protección. Esto significa que estos espaciamientos permiten una considerable cantidad de árboles/ha en el sistema silvopastoril, como se muestra en el cuadro 9.

**Cuadro 9:** Relación entre el espaciamiento de siembra y la cantidad de árboles/ha en las dos franjas de madera/ha (de 6m de ancho y cada 50m) en un sistema silvopastoril.

Distancia de siembra	1x1m	1x2m	2x2m	2.5x2.5m	2x4m	2.5x5m	2.5x6m
Relación con una Ha	10000	5000	2500	1600	1250	800	667
Relación con 2 franjas de 6m de ancho/ha	1000	600	300	240	150	120	100



**Figura 9:** Vista de un bloque del ensayo de espaciamientos de guanacaste en el Agropecuario de San Carlos (Santa Clara, establecido en noviembre, 2013).

En los ensayos de guanacaste y cenízaro se les aplicó una poda de formación a los 12 meses, como parte del protocolo de manejo silvicultural.



**Figura 10:** Vista de una parcela de 1x1m en cenízaro (alta densidad para biomasa) en un bloque del ensayo de espaciamientos en el Agropecuario de San Carlos (Santa Clara, establecido en noviembre, 2013).

**b)** Establecimiento de una plantación modelo con 3 de las especies nativas, una por organización.

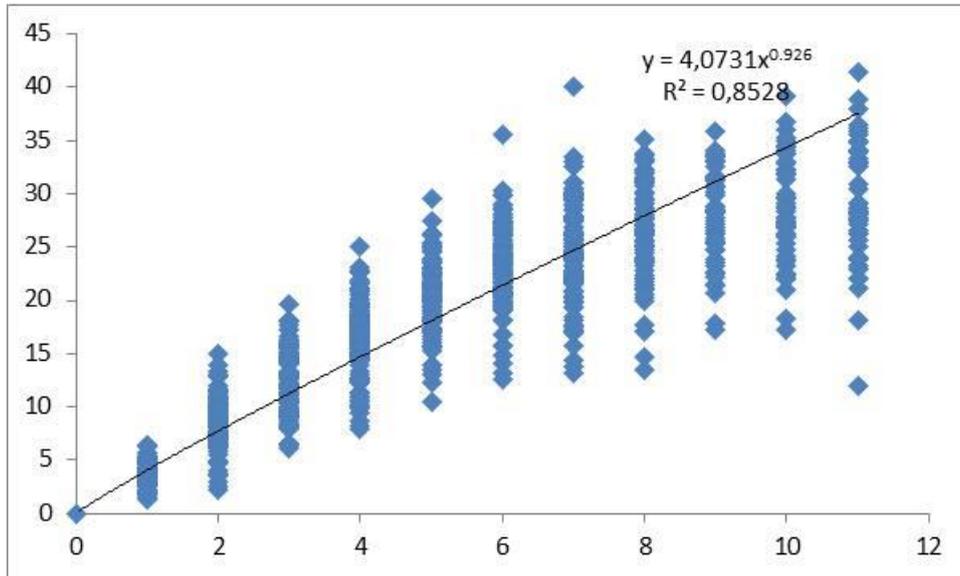
Se asume que los tres grandes ensayos establecidos en Horizontes, junto con el de laurel por plantarse en Santa Clara, han tenido un excelente protocolo de establecimiento y mantenimiento. Todos ellos tuvieron preparación del suelo y buen control de malezas. Estos ensayos producirán información de muy buena calidad sobre el crecimiento y rendimiento esperado de estas especies en plantaciones comerciales. Por tanto, se asume como cumplido este objetivo a partir de estos ensayos de campo, donde cada plantación abarca una superficie compacta de entre 1,5 a 2 ha. Se espera que haya continuidad con este proyecto y se logre dar un seguimiento, mantenimiento a estos ensayos, para lograr el cumplimiento de este objetivo a más largo plazo.

**Objetivo específico 3:** Construir un modelo financiero y de inversión para cultivo de madera con las especies nativas del proyecto.

- a) Revisión y posible mejoramiento de modelos de crecimiento/rendimiento de cada una de las especies.

Como parte del proyecto se logró compilar valiosa información de crecimiento de organizaciones y empresas como FUNDECOR (Sarapiquí, zona norte), EARTH (Guácimo, Caribe), bases de datos antiguas del proyecto COSEFORMA (Zona norte), EEF Horizontes (Guanacaste), Coopeagri (Pérez Zeledón) y BARCA (Parrita, Pacífico central). Para cada spp se ajustó al menos un modelo DAP/Edad, con el objetivo de obtener estimaciones de productividad y no de calidad de sitio.

En la figura 11 se muestra como ejemplo el mejor modelo ajustado del crecimiento de *Vochysia ferruginea*, con datos de mediciones de la zona norte y caribe de Costa Rica. La base de datos incluyó 1035 parcelas procedentes de numerosos sitios de la Zona Norte, Sarapiquí (FUNDECOR) y Guácimo, Limón (EARTH) y su ajuste superó el 85%. La base de datos es débil en información de más de 11 años de edad, que explican el que se mantenga una pendiente de crecimiento elevada después de los 10 años de edad.



**Figura 11:** Modelo de crecimiento ajustado DAP (eje y)-Edad (eje x) para *Vochysia ferruginea* en la zona norte y caribe de Costa Rica.

A partir de la función ajustada de crecimiento DAP vs Edad, se construyó la información del cuadro 10, donde se propone tres raleos cada 4 años basado en un área basal que no supere los 20m<sup>2</sup>/ha. Se asume también que la plantación se establece a un espaciamiento inicial de 4 x 3m (N = 833). Dado que la pendiente de la función ajustada, después de los 10 años se mantiene relativamente creciente, estima que el DAP supera los 40 cm después de los 18 años de edad. Estos estimados de crecimiento DAP-Edad se consideran aceptables y realistas para esta especie, cuya poca información existente registra una muy buena tasa de crecimiento anual.

**Cuadro 10:** Modelo de crecimiento y de biomasa para plantaciones de *Vochysia ferruginea* en Costa Rica

Edad	DAP	ICA	hTotal	Relación d/h	Vol total por árbol (m3)	Biomasa Verde/árbol VolTot*1,5	VolTotal (m3ha)	N	G	Biomasa Verde (m3/ha)	Biom*Densid (Ton/ha)	Densidad Madera	Carbono = Biom*0,44 Carb
1	3.50		3.85	1.10	0.003	0.004	2.31	833	0.80	3.47	1.56	0.450	0.69
2	7.70	4.20	8.47	1.10	0.022	0.033	16.55	750	3.49	24.83	11.25	0.453	4.95
3	11.40	3.70	11.97	1.05	0.068	0.102	50.91	750	7.64	76.36	34.82	0.456	15.32
4	14.80	3.40	14.80	1.00	0.139	0.209	104.44	750	12.88	156.65	71.90	0.459	31.64
5	17.90	3.10	17.54	0.98	0.213	0.320	106.62	500	12.56	159.93	73.89	0.462	32.51
6	20.70	2.80	19.87	0.96	0.320	0.480	160.01	500	16.80	240.02	111.61	0.465	49.11
7	23.30	2.60	22.14	0.95	0.360	0.540	180.13	500	21.29	270.19	126.45	0.468	55.64
8	25.70	2.40	23.44	0.91	0.474	0.711	142.23	300	15.54	213.35	100.49	0.471	44.21
9	27.90	2.20	24.43	0.88	0.597	0.896	179.18	300	18.32	268.78	127.40	0.474	56.06
10	29.80	1.90	25.05	0.84	0.590	0.885	176.97	300	20.89	265.46	126.62	0.477	55.71
11	31.50	1.70	26.48	0.84	0.689	1.034	137.87	200	15.56	206.80	99.26	0.480	43.68
12	33.00	1.50	27.74	0.84	0.787	1.181	157.48	200	17.08	236.23	114.10	0.483	50.20
13	34.40	1.40	28.91	0.84	0.788	1.182	157.58	200	18.56	236.37	114.88	0.486	50.55
14	35.70	1.30	30.01	0.84	0.873	1.309	174.55	200	19.99	261.83	128.03	0.489	56.34
15	37.00	1.30	31.10	0.84	0.967	1.451	193.46	200	21.47	290.19	142.77	0.492	62.82
16	38.20	1.20	32.11	0.84	1.061	1.592	212.27	200	22.89	318.40	157.61	0.495	69.35
17	39.40	1.20	32.78	0.83	1.156	1.733	231.13	200	24.35	346.69	172.65	0.498	75.97
18	40.50	1.10	33.36	0.82	1.251	1.877	250.24	200	25.73	375.36	188.06	0.501	82.75
19	41.60	1.10	33.93	0.82	1.264	1.896	252.79	200	27.15	379.19	191.11	0.504	84.09
20	42.60	1.00	34.39	0.81	1.354	2.031	270.78	200	28.47	406.17	205.93	0.507	90.61

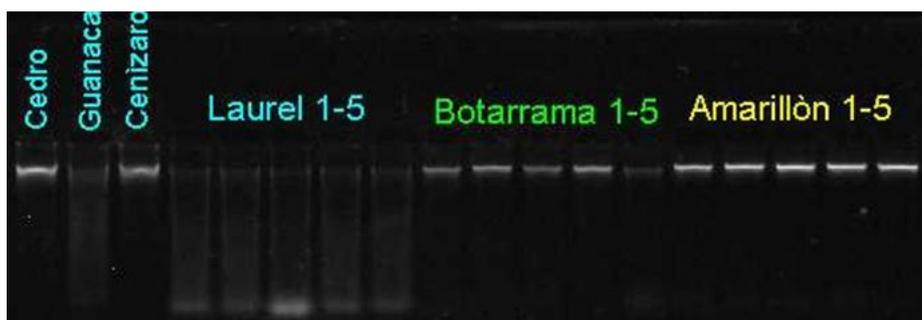
Parámetros	Raleo1	Raleo2	Raleo3	Volumen Total	Volumen + Raleos		
VolTotal m3/ha <sub>Año15</sub>	24.37	61.24	58.99	193.46	338.06		
IMA <sub>15</sub>					22.54		
VolTotal m3/ha <sub>Año18</sub>					394.85		
IMA <sub>18</sub>					21.94		
Biomasa Toneladas/ha <sub>Año15</sub>	1.98	25.96	27.36	142.77	198.08	Carbono	CO2
IMA <sub>15</sub>					13.21	5.81	21.30
Biomasa Toneladas/ha <sub>Año18</sub>				188.057	243.36		
IMA <sub>18</sub>					13.52	5.95	21.81

En los apéndices se adjunta el modelo de crecimiento y rendimiento para cada una de las restantes cinco especies del proyecto.

**Objetivo específico 4:** Caracterizar con marcadores moleculares la estructura y diversidad genética de las especies nativas investigadas.

**Extracción de ácidos nucleicos**

La figura 12 muestra las bandas de alto peso molecular, correspondientes al ADN de cada una de las especies del proyecto. Las dos especies con mayor dificultad para obtener su ADN fueron laurel y guanacaste.



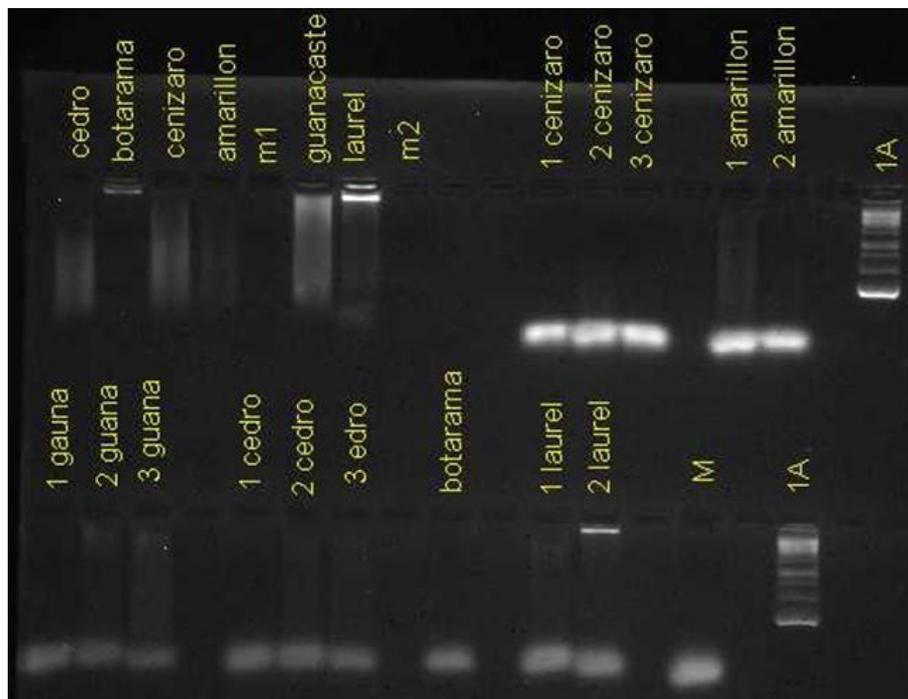
**Figura 12.** Gel de agarosa al 0,8% con los ácidos nucleicos obtenidos en cedro, guanacaste, cenizaro laurel, botarrama y amarillón.

### Corte del ADN con las enzimas de restricción EcoRI y MseI y ligación de Adaptadores

La especie con mayor dificultad para cortar su ADN fue botarrama, tanto así que a pesar de que se probaron diversas relaciones de cantidad de ADN-enzimas, no fue posible obtener finalmente un barrido adecuado en el gel de agarosa para proceder a ligar los adaptadores.

Para cedro, cenízaro y amarillón funcionó colocando en el tubo de reacción 10 ul de ADN (75 ng/ul) con 2 unidades de cada una de las enzimas. Mientras que guanacaste y laurel, dado que fueron las especies en las que se obtuvo muy poco ADN (entre 20-25 ng/ul), funcionó colocando entre 16-17 ul de ADN con 1 y 2,5 unidades de cada enzima para laurel y guanacaste respectivamente (Figura 13).

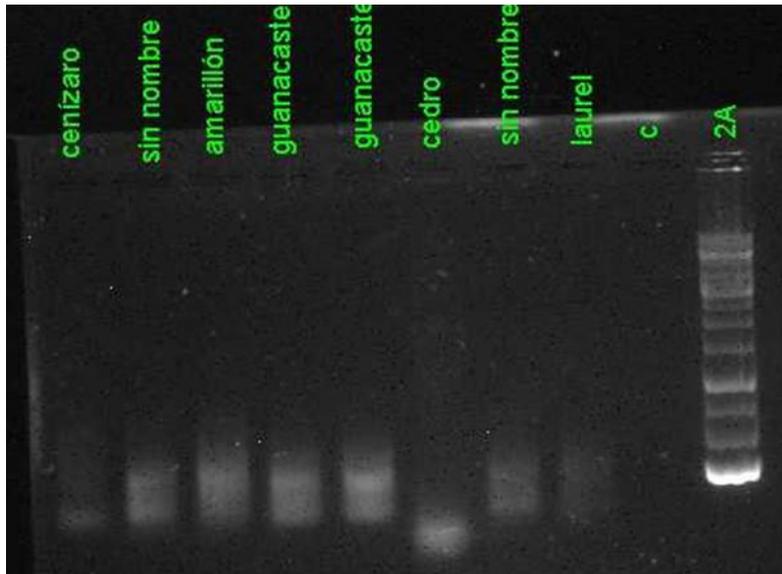
La mezcla de ligación que finalmente resultó efectiva fue 0,5 uM del adaptador de EcoRI, 5uM del adaptador de MseI y 1 unidad de ligasa.



**Figura 13.** Gel de agarosa al 2% para la restricción y ligación de diferentes muestras en guanacaste, cenízaro, cedro, laurel, botarrama y amarillón.

### Reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para imprimadores Pre-Selectivos

En figura 14 se muestra los barridos característicos que se obtienen luego del PCR preselectivo.



**Figura 14.** Gel de agarosa al 1,2 % para las ampliaciones preselectivas en laurel, cedro, guanacaste, amarillón y cenizaro.

#### **Reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para imprimadores Selectivos**

Según la figura 15, de las nueve combinaciones que se probaron para las 5 especies, solamente se observa amplificación (flechas azules) para los imprimadores de MseI CAC-CTT-CGG y CTA con el imprimador ACG del imprimador de EcoRI en laurel, cedro, guanacaste y amarillón. En esta figura no se observa ninguna amplificación en cenizaro.



**Figura 15.** Gel de poliacrilamida al 5% de 9 amplificaciones selectivas para laurel, cedro, guanacaste, amarillón y cenízaro (de izquierda a derecha respectivamente).

**Objetivo específico 5:** Compilar y divulgar la información existente en un manual técnico de inversión para cada una de las especies nativas del proyecto.

#### **a) Modelo de costos de plantaciones forestales en Costa Rica**

##### *a.1) Conceptos generales del modelo*

Como parte del proyecto se construyó un nuevo modelo general de costos de plantaciones forestales en Costa Rica, para luego adaptarlo a cada una de las seis especies del proyecto. El modelo logró incorporar todos los costos y sus variables a una **unidad de referencia** que es la **hectárea**, de modo que simplificara su análisis e interpretación.

La realidad de las plantaciones forestales en el país presenta dificultades para la generación de un único modelo de costos. Los pequeños y medianos reforestadores, por ejemplo, contratan los servicios de mano de obra (peones) o ellos mismo la aportan. Por tanto, este

sector no se rige por conceptos como pago de cargas sociales/jornal, ni de seguros y no debe ser incluido en sus costos operativos.

Otra fuente importante de variación consiste en la tendencia cada vez mayor de invertir en la preparación y **manejo físico** (drenaje interno y superficial, ruptura de compactación, lomillado, entre otros), **químico** (control de acidez, fertilización) y **biológico** (incorporación de abono orgánico, lombricompost y otros agentes) del suelo. El manejo físico y químico viene siendo aplicado en los reforestadores de mayor escala y no en los pequeños y medianos.

La variable densidad inicial de plantaciones oscila entre un N = 833 y N = 625, con tendencia hacia N = 500 en casos como plantaciones clonales de melina. Esta variable está directamente asociada a un grupo de costos que ocurren en los primeros años, como número de plantas, número de hoyos, rodajeas, podas, amarre de árboles volcados por viento, etc. Por tanto, el modelo debe tener la opción de ingresar N como una variable que afecta los costos de establecimiento, mantenimiento y manejo.

El control de malezas es la variable de mayor costo en los primeros 3 años de toda reforestación, particularmente por la tendencia a plantar cada vez menos árboles (N) y al uso de espaciamientos más amplios. Los costos de control de malezas suelen variar mucho explicado por el tipo de maleza o por el tipo de uso anterior del terreno. Esto hace que los valores de rendimiento de esta labor registren una amplia variación entre empresas, fincas, etc. Esta variable debe ser utilizada con sumo cuidado, dado su alto impacto en los costos de la reforestación. Por lo general, el mejor protocolo parece ser una combinación de control mecánico de malezas (manual o mecanizado), complementado con control químico. Podría finalmente agregarse, que el comportamiento del clima influye también directamente en un programa de control de malezas. Proyectos en la Región del Pacífico Norte (Guanacaste) tendrán una menor frecuencia de control de malezas, dado que reciben solamente 6 meses de lluvia/año, a diferencia de un proyecto en el caribe con 12 meses de lluvias casi continuas. Esto repercutirá en un costo inicial mucho mayor en la Zona Caribe, Norte y parte del Pacífico Sur, que en el resto del país.

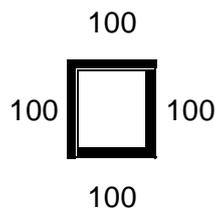
#### *a.2) Sistematización de costos fijos para su inclusión en la Unidad de Referencia de una hectárea*

Una de las dificultades mayores de este modelo fue lograr “llevar” TODOS los costos fijos a la Unidad de Referencia de una hectárea.

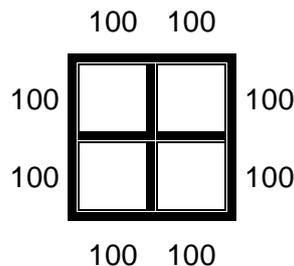
Por lo general no se construye toda el área plantada. La prioridad está en las secciones de la plantación que colinden con caminos públicos para evitar que ingresen animales. Por lo

tanto, el costo de cercas no corresponde a un 100% de la periferia del área plantada sino a una proporción, que se podría estimar en un 10% como promedio.

- a) La cerca se establece con el fin de evitar el acceso de animales en la plantación.
- b) Por lo tanto, se requiere solamente en los sectores que colinden con vías públicas o fincas vecinas, donde tengan animales.
- c) Si utilizamos el modelo de 1 ha con una periferia de 400 m lineales, esta será la medida de los metros de cerca. PERO, conforme el área efectiva plantada aumenta, la relación periferia/superficie disminuye:

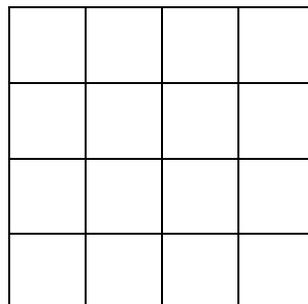


Para cercar 1 ha se requieren 400 m lineales:  $400\text{m}/10\ 000\ \text{m}^2 = 4\%$ . Sin embargo, la cerca que da al frente de vía principal es la que realmente interesa y debe estar en buen estado. Esto significa que en 1 ha habrá 100m lineales como máximo de frente de calle.

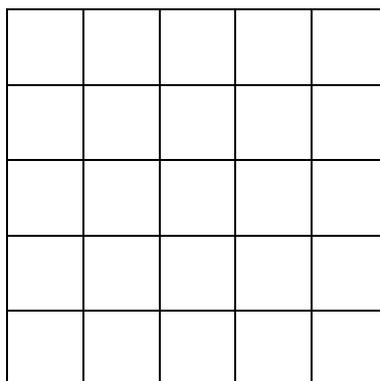


Para cercar 4 ha se requieren 800 m lineales:  $800\text{m}/40\ 000\ \text{m}^2 = 2\%$ . En 4ha habrá 200 m lineales de frente de calle. Si se divide entre las 4ha, se tiene entonces que a cada ha individual le corresponde  $= 200\text{m}/4 = 50\text{m}$  de cerca.

Si el modelo se continúa para resolver la relación Ha/Frente de calle, puede observarse que entre 8 y 16 ha se necesita 400m de frente  $= 400/16 = 25\text{m/ha}$



Si se continúa optimizando hasta un modelo de 25 ha, que corresponde al tamaño promedio de proyectos sometidos a PSA en el 2014 en CR:

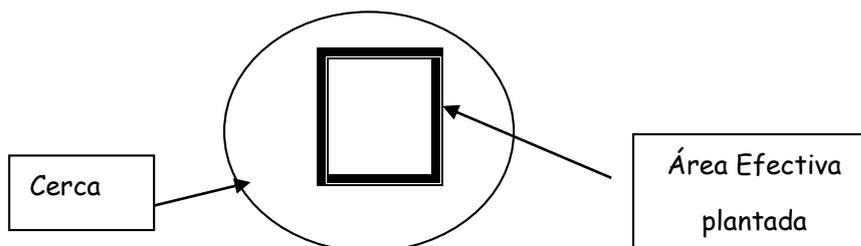


Se tiene entonces que habrá 500m de frente de calle =  $500\text{m}/25\text{ha} = 20\text{m}$  de cerca/ha.

Esta relación (**20m/ha**) será válida también para efectos de cálculo de líneas cortafuego, metros lineales para caminos y accesos a la propiedad, metros lineales de red de drenajes, etc.

Sin embargo, por lo general las empresas optan por cercar toda la periferia de la finca. Entonces debe hacerse la pregunta:

#### ¿Cuál es la periferia de una finca?



Debe recordarse que el área efectiva plantada por lo general corresponde con un 60-70% del área total de la finca. Por lo tanto, la superficie total de una finca con 1 ha efectiva plantada será realmente de:

$$10\,000\text{ m}^2 (1\text{ ha}) = 60\% \text{ de la finca}$$

$$\text{Total de la finca} = (10000\text{ m}^2 * 100)/60\% = 16\,667\text{ m}^2$$

Puede también estimarse que de una finca de 10 ha en total, tendremos entonces solamente 6 ha efectivas plantadas.

Para efectos prácticos, el Área de Finca será = Área Efectiva \* **1,67**.

Si asumimos una figura de un cuadrado para la finca en total, entonces su periferia será la de un cuadrado de  $16\,667\text{ m}^2$ :

$$\sqrt{16667m^2} = 129,1 \text{ m en cada lado} * 4 \text{ lados} = \underline{\underline{516,4 \text{ m lineales de cerca.}}}$$

Si asumimos la forma circular, entonces su periferia será  $2*\pi*R$ , que para esta área sería un

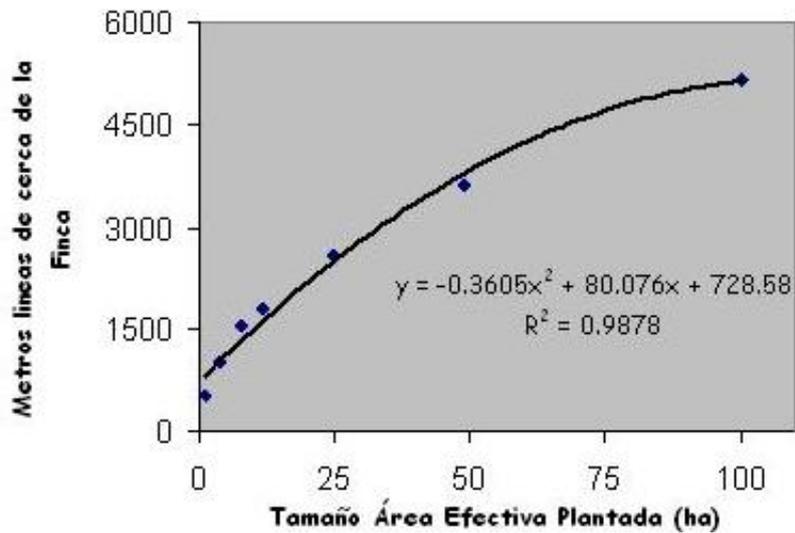
$$\text{radio de } \sqrt{\frac{16667m^2}{\pi}} = 72,84 \text{ m de radio.}$$

La periferia sería entonces de  $2 * \pi * R = 2 * 3,1416 * 72,84m = \underline{\underline{457,7 \text{ m lineales de cerca.}}}$

Es evidente que la figura geométrica del círculo es la que menos periferia tiene para la misma área que encierra. Por tanto, es conveniente utilizar la figura del cuadrado, con el fin de no subestimar la estimación de la cantidad de línea de cerca por establecer y mantener en una finca.

**Cuadro 11:** Relación área efectiva plantada vs metros lineales de cerca a establecer en los sectores de frente a calle pública.

Área Efectiva (m <sup>2</sup> )	Metros lineales de cerca del Área Efectiva (m)	Metros lineales de cerca en el Área Total de la Finca (Área Efectiva*1,67) en (m)
1 ha = 10 000	400 = 4%	516
4 ha = 40 000	800 = 2%	1033 (258 m/ha)
8 ha = 80 000	1200	1550 (194 m/ha)
12 ha = 120 000	1400	1800 (150 m/ha)
25 ha = 250 000	2000	2580 (103 m/ha)
49 ha = 490 000	2800	3615 (74 m/ha)
100 ha = 1 000 000	4000	5164 (51,6 m/ha)



**Figura 16:** Relación metros lineales de cerca vs área efectiva reforestada en Costa Rica.

**Sin embargo**, no toda la periferia de la finca merece una cerca de primera calidad, sino solamente los sectores más vulnerables o con frente a vías públicas. Las demás cercas pueden inclusive no existir. Si se asume que un frente de calle a vías públicas corresponde aproximadamente con un 25% de la periferia de una propiedad, entonces la relación final para un proyecto promedio costarricense (FONAFIFO, 2014) de 25 ha =  $103\text{m}/4 = \underline{\underline{25\text{m lineales/ha}}}$ .

**Cuadro 12.** Costos de establecimiento de 25m de cerca mixta (poste vivo con muerto), con frente a vía pública, en la zona norte de Costa Rica.

<b>Costos de establecimiento de 25m de cerca</b>				
<b>Mano de Obra</b>				
Hoyado	Jornal	0.40	10254	4102
Distribución y sembrado de postes	Jornal	0.40	10254	4102
Templado y grapado del alambre	Jornal	0.10	10254	1025
<b>Subtotal Mano de Obra</b>		<b>0.9</b>	<b>30762.50</b>	<b>9229</b>
<b>INSUMOS, Cerca Mixta (Poste muerto cada 5m y poste vivo cada 2m)</b>				
			<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo</b>
Poste vivo	Postes	8	1200	9600
Postes en madera	Postes	5	3000	15000
Postes madre (esquinero o Pie de amigo)	Postes	1	5000	5000
Alambres de 330 metros/ 3 hilos en 25m lineales	Rollo	0.23	22000	5000
Grapas	Kg	0.40	1300	520
<b>Subtotal Insumos</b>				<b>35120</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>				<b>44349</b>
Total costo en US \$				821
Mantenimiento de cercas (arreglo alambre, resembrado de postes)				1054

Los grandes reforestadores (> 50 ha) generan un sistema de personal fijo en planilla, cargas sociales, seguros, y muy importante, una infraestructura mínima (oficinas, bodegas, casas) y un equipamiento adecuado (tractor agrícola con aditamentos, equipo de fumigación, vehículos, entre otros). Este tipo de inversión se registró en el año 0 dentro del modelo y por supuesto implica un valor muy alto. Se asumió que basado en su vida útil, al final del proyecto (cosecha final) se registre también como un ingreso denominado “valor de rescate”. El cual básicamente consiste en el saldo del valor del bien hasta el momento en que finaliza el proyecto o cosecha final. Se asumió que toda la infraestructura de vivienda tiene una vida útil de 30 años. Para efectos del modelo se asumió que la infraestructura mínima consistía en:

- 1 casa para un capataz y su familia por cada 1000 ha (costo 10 millones),
- 1 casa/oficina para el personal administrativo y gerencial, cada 2000 ha (costo 25 millones)
- 1 galerón para maquinaria, vehículos, agroquímicos y otros, para cada 2000 ha (10 millones)
- 1 bodega para cada 500 ha, costo 5 millones.

En cuanto al equipamiento se estableció como mínimo lo siguiente por cada 1000 ha:

1 tractor agrícola con todos sus aditamentos (pala, rastra, subsolador, etc), a partir de 3000 ha, costo de 35 millones y 18 años vida útil.

1 Vehículo doble tracción, cada 1000 ha, 20 millones y 18 años de vida útil.

1 Bomba para distribuir herbicida, 5 motosierras, 5 motoguadañas, 6 bombas de espalda, (palas, palines, machetes, macanas, otros, 25 unidades), con una vida útil de 3 a 5 años.

Como puede observarse en el cuadro 13, la inversión en infraestructura y equipamiento tiene un costo elevado y supera los ¢175 000/ha, que ocurre en el año 0. Parte de ello tiene un valor de rescate al momento de la cosecha.

**Cuadro 13.** Costos de inversión y mantenimiento por ha de infraestructura y equipamiento, en proyectos de reforestación a gran escala en Costa Rica.

Rubro	Monto/ha
Infraestructura (oficinas, casas, etc.)	40000
Mantenimiento de Infraestructura (3% del valor)	1200
Equipamiento (vehículo, tractor agrícola, bomba)	44900
Mantenimiento de Equipo (3% del valor)	1125
Cercas	44349
Mantenimiento de Cercas/ha (3% del costo)	1054
Construcción caminos principales	15000
Construcción caminos secundarios, drenajes	7500
Mantenimiento de caminos (5% del costo)	1125
Construcción de drenajes	20000
Mantenimiento de drenajes (5% del costo)	2000
<b>TOTAL</b>	<b>178252</b>

El recurso humano para una ha también implicó un esfuerzo de sistematización que se propuso como sigue para un modelo de 1000 ha:

1 Ing. Forestal

1,5 Técnicos Forestales

2 Capataces

1 Asistente administrativo

Como puede observarse (cuadro 14), en un modelo de 1000 ha, el costo/ha/año del recurso humano representa aproximadamente ¢40 000.

**Cuadro 14.** Costo estimado del recurso humano/ha/año para un modelo de 1000 ha de reforestación en Costa Rica.

Recurso Humano	Salario/ha/año con CS + Póliza
Ingeniero Forestal	10757
Técnico (1.5 técnicos por cada Ing. Forestal)	10129
Capataz (administrador de finca, vigilancia), 2 obreros calificados	10804
Asistente Administrativo	7903
<b>TOTAL</b>	<b>39593</b>

Para los pequeños reforestadores (< 20ha) el modelo de costos del recurso humano asume que se regirá por el 18% del PSA asignado a las organizaciones que gestionan contratos de reforestación en el país. Para los reforestadores de más de 20-50 ha pero menores a las 400 ha, se utilizó la figura del regente basado en el costo de varias visitas de 1 hora (¢23 000), según lo establece y revisa periódicamente el Colegio de Ingenieros Agrónomos del país.

Finalmente, para todos y cada una de las actividades que se realizan en un proyecto de reforestación, se obtuvo un valor promedio de una consulta realizada en más de 10 empresas reforestadoras del país, Colombia y Ecuador (estos dos países, en empresas que plantan las mismas especies que en Costa Rica), así como a datos generados en investigaciones específicas de tiempos y rendimientos realizadas por investigadores del ITCR (Guevara y Murillo, 2013). Se obtuvo un valor promedio de rendimiento en jornales, así como el valor más bajo y el más alto en todas y cada una de las actividades. En el cuadro 15 se muestra el resultado promedio de los costos de gestión de un proyecto de reforestación en el país.

**Cuadro 15:** Costos de formulación y gestión de un proyecto de reforestación en Costa Rica.

Formulación y gestión del proyecto	Promedio Jornales/ha
Visita al proyecto. Ing. Forestal	0.25
Revisión de documentos. Técnico Forestal	0.25
Levantamiento de área, definición de Rodales (estratos). Técnico Forestal	0.67
Muestreo y análisis de suelos. Técnico Forestal	0.50
Elaboración de mapas en SIG. Técnico Forestal	0.50
Formulación de proyecto para FONAFIFO. Ing. Forestal	0.75
Gestión de Formalización del proyecto (FONAFIFO y CIAgro). Ing. Forestal	0.33
<b>Total Formulación y Gestión del Proyecto año 0</b>	<b>3.25</b>

El modelo de costos asume un paquete tecnológico con una fuerte inversión inicial (año 0) en relación con infraestructura mínima, equipamiento, herramientas, construcción de caminos y drenajes. Así también, el modelo asume una inversión importante en preparación mecanizada del terreno, control de malezas, encalado y fertilización como se muestra en el cuadro 16, acorde con las mejores prácticas silviculturales aplicadas por empresas reforestadoras en el país. Su elaboración en una hoja programada de EXCEL permite que el usuario pueda decidir no incluir algunos de estos costos.

**Cuadro 16:** costos de establecimiento de un proyecto de reforestación en Costa Rica (año 0), basado en una inversión completa en preparación de terreno, infraestructura y equipamiento, acorde con las mejores prácticas silviculturales aplicadas por empresas reforestadoras en el país.

Actividad	Promedio Jornales/ha	Costos/ha	Frecuencia	Porcentaje de la Ha
<b>Año 0</b>				
<b>Formulación y gestión del proyecto</b>				
Visita al proyecto. Ing. Forestal	0.25		1	0.1
Revisión de documentos. Técnico Forestal	0.25		1	0.1
Levantamiento de área, definición de Rodales (estratos). Técnico Forestal	0.67		1	0.1
Muestreo y análisis de suelos. Técnico Forestal	0.50		1	0.1
Elaboración de mapas en SIG. Técnico Forestal	0.50		1	0.1
Formulación de proyecto para FONAFIFO. Ing. Forestal	0.75		1	0.1
Gestión de Formalización del proyecto (FONAFIFO y CIAgro). Ing. Forestal	0.33		1	0.1
<b>Total Formulación y Gestión del Proyecto año 0</b>	<b>3.25</b>			
<b>Preparación y Establecimiento de la plantación</b>				
	Promedio Jornales/ha		Frecuencia	Porcentaje de la Ha
Acumulación y Quema de Residuos (33% del área)	0.92		1	0.33
Eliminación árboles remanentes, repique con motosierra), 10% del área	2.13		1	0.1
Combustibles y lubricantes		5675	1	0.1
Repique y limpieza manual de terreno (10% del área)	2.50		1	0.1
Chapea Manual general del área (100% del área)	5.38		1	1
Control químico de malezas (pre-emergente) (100% del área). 1 L. Oxiflurofenox	1.42		1	1
Herbicida pre-emergente + adherente		11070	1	1
Repaso control químico de malezas (20% del área)	0.75		1	0.2
Herbicidas, adherentes y otros		14430	1	0.2
<b>Subsolado del terreno (1 hora tractor)</b>		35000	1	1
<b>Rastreado (2 veces, 1 hora tractor)</b>		35000	2	1
<b>Lomillado del terreno (0.5 hora tractor)</b>		35000	0.5	1
Construcción de drenajes (20m/ha). Zonas Húmedas		16000	1	1
Construcción de caminos principales, alcantarillas o puentes (10m/ha)		30000	1	1
Construcción de caminos secundarios, alcantarillas o puentes (10m/ha)		8000		
Establecimiento y reparación de cercas (25m/ha), Mano de Obra	0.90		1	1
Postes, alambre, grapas y demás materiales de cercas	35120	35120	1	1
<b>Infraestructura (productores grandes)</b>		40000	1	1
<b>Maquinaria y Equipo (productores grandes)</b>		43870	1	1
Trazado-marcación	1.50		1	1
Preparado y acarreo de estacas guía para plantar	0.50		1	1
Rodajea pre-plantación	2.00		1	1
Hoyado	1.70		1	1
Plantas	200		833	1
Descarga y Distribución de plantas	0.90		1	1
Encalado manual toda el área (1-2 meses antes de plantación). 2 a 4 Ton/ha	1.19		1	1
Cal		20000	1	1
Fertilización al momento de plantación. 30 a 50 g/planta = 40 k/ha (1 saco)	1.56		1	1
Fertilizante		15140	2	1
Plantación de árboles (3 x 4m = 833/ha)	2.67		1	1
Resiembra 8-10% (a los 30 días después de plantado)	0.71		1	1
<b>Total Mano de Obra año 0</b>	<b>25.81</b>			
Total insumos (agroquímicos, combustibles, plantas, postes, otros)		101435.00		
Total inversiones		83870.00		

El detalle de las labores de mantenimiento y manejo de una plantación que ocurren en el año 1, se muestran en el cuadro 17, donde se asume un paquete tecnológico completo e intensivo, acorde con las mejores prácticas silviculturales practicadas por empresas reforestadoras en el país.

**Cuadro 17:** costos de mantenimiento y manejo de un proyecto de reforestación en Costa Rica, basado en un paquete tecnológico donde se aplican las mejores prácticas silviculturales.

Año 1, Mantenimiento y manejo	Promedio Jornales/ha	Costos/ha	Frecuencia	Porcentaje de la Ha
Chapea con Motoguadaña (100% del área)	2.25		2	1
Combustibles y lubricantes motoguadaña		4375	2	1
Chapea Manual general del área (100% del área)	5.38		1	1
Chapea en la línea de plantación (33% del área)	2.33		1	0.33
Control químico de malezas (100% del área). 1 L. Glifosato > 3 meses	1.75		2	1
Herbicidas, adherentes y otros		14430	2	1
Repaso control químico de malezas (15% del área).	1.75		1	0.15
Herbicidas, adherentes y otros		14430	1	0.15
Rodajea manual	3.00		2	1
Rodajea química > 6 meses	1.58		1	1
Herbicidas, adherentes y otros		14430	1	1
Control químico de Banda (1,5m ancho), 33% del área	1.75		2	0.33
Herbicidas, adherentes y otros		14430	2	0.33
Deshija o eliminación brote basal (4-6 mes)	1.16		1	0.9
Poda de formación (3-6 mes, 100% árboles)	1.58		1	1
Primera poda (h = 1,5m, 100% árboles)	1.73		1	1
Amarre de árboles volcados por viento <b>en teca</b>	3.83		1	0.5
Fertilización (2 y 6 meses después de plantado). 50 g/planta = 40 k/ha	1.61		2	1
Fertilizante		15140	2	1
Eliminación de bejuco	0.98		3	1
Control de plagas (hormiga, joboto, otros)	0.51		3	1
Insecticida hormiga		3000	3	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.50		1	1
Otras labores no planificadas (5%)	2.00		1	1
<b>Total Mano de Obra, gastos generales año 1</b>	<b>31.69</b>			
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (4 visitas de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y medianos)</b>		10757	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)		10129	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones		10804	1	1
Administración (asistente administrativo)		7903	1	1
<b>Total Año 1</b>		<b>39593</b>		

Finalmente, el modelo de costos registra que una plantación forestal con una especie nativa como *Vochysia guatemalensis*, en un turno de 10 años, requiere de aproximadamente ¢2,8 millones de colones (\$5150). Mientras que para una especie nativa con un turno de 15 años (cedro, laurel, guanacaste, cenízaro y botarrama), se requiere invertir aproximadamente ¢3,15 millones de colones (\$ 5800). Estos costos incluyen todas las cargas sociales y póliza de riesgos profesionales.

Si se asume que el proyecto de reforestación es bajo un esquema de pequeños productores, donde se contrata la mano de obra de manera ocasional (sin cargas sociales ni pólizas), donde no hay inversión en la preparación del suelo, sin inversión en la construcción de infraestructura o compra de equipo, sin inversión en la construcción de caminos, los costos para una ha con *Vochysia guatemalensis*, en un turno de 10 años, requiere de aproximadamente ¢2 millones de colones (\$3600). Mientras que para una especie nativa con un turno de 15 años (cedro, laurel, guanacaste, cenízaro y botarrama), se requiere invertir aproximadamente ¢2,2 millones de colones (\$ 4100).

## **8. Discusión y conclusiones**

A manera de comentario general, este tipo de proyectos no pueden ser enmarcados en plazos de 2 años, debido a la naturaleza de la actividad forestal. Si el proyecto en su primer año presenta dificultades ambientales, como sucedió en este caso con el fenómeno del niño, existe una probabilidad muy alta que no logre establecer adecuadamente los ensayos de campo planeados. El investigador solo tendrá entonces 2 oportunidades para establecer los ensayos de campo, que son los dos períodos lluviosos en el marco de los dos años. Esto ya limita enormemente el logro de objetivos, productos y metas por causa mayor, como sucedió con la imposibilidad de plantar en el Pacífico por una sequía sumamente prolongada (tuvimos que esperar hasta finales de agosto para poder plantar), o la imposibilidad de preparar el terreno y plantar en la zona norte y caribe por el exceso de lluvias.

El otro tema limitante es el fenológico, que dificultó enormemente poder colectar semilla de la especie *Terminalia amazonia*, debido a la gran escasez de semilla/árbol suficiente para poder reproducir 40 plantas y poder establecer aceptables ensayos de progenie. En el caso de la *Vochysia ferruginea*, la semilla colectada simplemente no germinó en el invernadero en Santa Clara, lo que imposibilitó crear una colección suficiente de materiales para plantar durante los dos años del proyecto.

Este tipo de limitaciones biológicas, que ocurren con frecuencia en el campo forestal, son elementos importantes que impidieron poder desarrollar un buen trabajo con las seis especies propuestas en el plazo de los 2 años en que se inscribió el proyecto. Para futuros proyectos con especies nativas, será imprescindible planificar un horizonte de 4 años, de modo que permitan corregir/ajustar acciones para lograr finalmente establecer colecciones genéticas adecuadas en campo y sustentar programas de largo plazo.

**Objetivo 1:** Iniciar un programa acelerado de mejoramiento genético y de creación de fuentes semilleras para cada una de las especies nativas del proyecto.

Este objetivo puede releerse como “establecer una fuente de semilla mejorada genéticamente para cada una de las seis especies nativas”. No podremos sustentar un programa de reforestación que genere riqueza a partir de especies nativas, si no contamos con una adecuada fuente semillera, además de un paquete tecnológico mínimo de manejo de la especie. Este fue el verdadero espíritu que se perseguía con el planteamiento de este objetivo. A pesar de las limitaciones de consecución de semilla suficiente, de al menos 3 procedencias y separada por al menos de 10 árboles dentro de cada procedencia, de las especies *Terminalia amazonia* y *Vochysia ferruginea* (dificultad para germinar), el proyecto si logró crear colecciones mucho más amplias en las otras cuatro especies del proyecto, tal y como se muestra en el cuadro 1. El proyecto si logró entonces coleccionar y plantar buenas colecciones genéticas para las especies cenízaro, guanacaste, cedro y laurel (esta última especie en proceso de siembra en el I semestre 2015 por dificultades con el terreno disponible en San Carlos). Estos ensayos tuvieron buena asistencia técnica en preparación, siembra y mantenimiento inicial. Se espera que logren una adecuada sobrevivencia que permita continuar con su desarrollo hasta convertirlos dentro de 3 años, en los primeros huertos semilleros del país con estas especies.

Como plan B se planificó desarrollar conocimiento y capacidad de producción clonal con las seis especies, de modo que se pudiera lograr generar todo el conocimiento sobre su productividad y capacidad clonal y a la vez, romper la dependencia con la existencia de semilla. Este objetivo se logró cumplir ampliamente, con excepción de *Vochysia ferruginea*, especie con muchas limitaciones de propagación sexual y asexual. Con las restantes cinco especies se logró determinar su potencial productivo en sistemas clonales, inclusive se inició la investigación en temas de nutrición.

**Objetivo 2:** Establecer ensayos para el mejoramiento del paquete silvicultural con las especies nativas del proyecto

Nuevamente se logró generar conocimiento importante con las especies cenízaro, guanacaste, cedro amargo en plantación. Los ensayos de procedencia/progenie fueron establecidos como plantaciones ordinarias, con adecuada preparación de suelo (subsólado superficial) en espacios de más de 1 ha en los tres casos. De modo que estos mismos ensayos permitirán generar mucha información sobre su condición de plantación, crecimiento y rendimiento, manejo en general.

El proyecto propuso establecer ensayos de espaciamientos con al menos tres de las especies. En cooperación con el Colegio Agropecuario de San Carlos (Sta. Clara), se logró establecer ensayos de espaciamientos (6 a 7 tratamientos) con cenízaro, guanacaste, cedro y amarillón. El ensayo de cedro tuvo una gran mortalidad, por lo que fue reemplazado con amarillón. Estos ensayos fueron todos resemebrados a los 30 días con el fin de lograr una alta sobrevivencia y evitar error experimental en este tipo de ensayos. El mantenimiento inicial (control de malezas principalmente) ha estado de bueno a muy bueno en los últimos meses. Estos ensayos permitirán generar conocimiento interesante y original sobre el comportamiento de estas especies bajo regímenes diferentes de espaciamiento. Pero como se mencionó en la discusión general, **el efecto del espaciamiento se empezará a registrar hasta dentro de uno a dos años y el horizonte del proyecto de tan solo dos años, imposibilita compilar y concluir sobre esta información.**

**Objetivo 3:** Construir un modelo financiero y de inversión para cultivo de madera con las especies nativas del proyecto.

En este objetivo fue quizá donde se logró cumplir con todo lo planeado. El proyecto logró ajustar modelos preliminares de crecimiento no solo para las seis especies, sino también para el *Dipteryx panamensis* (almendro), *Vochysia guatemalensis* (cebo) y *Hieronyma alchorneoides* (pilón), para un total de 9 especies nativas, valga recordar, las más utilizadas en reforestación en Costa Rica. En la sección de apéndices se adjunta los modelos para cada una de las especies, con su respectiva tabla de rendimiento esperado, fundamentada en una propuesta de raleos realista con base en una área basal máxima permitida ( $< 20 \text{ m}^2/\text{ha}$ ). Estos modelos seguirán por supuesto, un proceso de refinamiento y mejoramiento con el paso de los años. Sin embargo, debe resaltarse el gran aporte del proyecto en la construcción de esta información.

Como uno de los aportes mayores del proyecto está la base de datos de costos para cualquier tipo de proyecto de reforestación en Costa Rica. El modelo de costos logra compilar y sistematizar todo el espectro de elementos que participan en el desarrollo de una plantación forestal, desde su gestión inicial, hasta su cosecha final. El modelo debe ser uno de los primeros que logra incluir costos de infraestructura, equipamiento, mantenimiento, define el tema de recurso humano técnico mínimo para un proyecto, entre otros detalles. Una herramienta en EXCEL con esta información fue construida y permitirá a múltiples usuarios su utilización amplia con fines de todo tipo. **Puede decirse que este objetivo fue más que superado y se cumplió con expectativas mucho mayores a las planteadas.**

**Objetivo 4:** Caracterizar con marcadores moleculares la estructura y diversidad genética de las especies nativas investigadas.

Este objetivo logró un modesto cumplimiento parcial, debido a limitantes técnicas en algunas fases de adaptación de los marcadores AFLP. Sin embargo, logra afinar los protocolos de extracción de ADN, depuración del ADN y finalmente amplificación para las seis especies investigadas. Quedó pendiente la validación final de las combinaciones identificadas como apropiadas, de modo que pudiéramos observar bandas específicas y poder caracterizar genéticamente poblaciones de cada una de las especies evaluadas. Una limitación importante fue la imposibilidad de correr geles apropiados en nuestro laboratorio en Cartago con esta técnica. Por lo que se obtuvo el apoyo del laboratorio del Dr. Albertazzi en el CIBCM, donde sí se logró mejorar las electroforesis y amplificaciones respectivas. Esta cooperación continuará y permitirá que el equipo técnico del proyecto mantenga activo el trabajo de desarrollo de etapas pendientes.

**Objetivo 5:** Compilar y divulgar la información existente en un manual técnico de inversión para cada una de las especies nativas del proyecto.

Para las seis especies del proyecto se logró constituir un equipo humano más amplio, que permitiera el abordaje apropiado de la gran tarea de construir un nuevo manual técnico por especie. Los estudiantes del curso de manejo de plantaciones del 2014 tuvieron también una participación destacada en esta labor, algunos de ellos inclusive con logros muy significativos. Estos nuevos manuales tienen entre un 60 y 80% de avance y se viene coordinando con la editorial del ITCR para su publicación formal.

Como parte de la divulgación de los resultados del proyecto se coordinó un evento denominado “Encuentro sobre especies nativas para reforestación en Costa Rica”, que se espera ocurra la última semana de junio 2015 en la Estación Experimental Forestal Horizontes (Liberia, Guanacaste).

## **9. Recomendaciones**

De manera general, se recomienda que este tipo de proyectos tenga desde su concepción, un horizonte de al menos cuatro años. El espacio de dos años es insuficiente y limitante ante adversidades de tipo climático, disponibilidad de semilla y muchas veces, dificultad o disponibilidad de sitios apropiados donde poder establecer ensayos. Dos años es un plazo muy vulnerable y de alto riesgo para el logro de objetivos, productos y metas cuando se trabaja con especies forestales nativas.

## **10. Agradecimientos**

Un profundo agradecimiento a una gran diversidad de actores que aportaron al desarrollo de este proyecto. En cuanto a datos de crecimiento debemos agradecer a las organizaciones y empresas FUNDECOR, EARTH, COOPEAGRI, BARCA, CACH y ASIREA. En cuanto al apoyo para establecer ensayos de campo, la Estación Experimental Forestal Horizontes y su gerente la Ing. Milena Gutiérrez fueron de enorme ayuda. El apoyo incondicional del Instituto Agropecuario Costarricense (dueño del Colegio Agropecuario de San Carlos), donde se plantaron los ensayos de espaciamientos, en particular a través del Ing. Marvin Leitón y Tomás Palma. Gracias a su entusiasmo, el mantenimiento de los ensayos ha sido excelente. A la Escuela de Ing. Forestal, muchos de nuestros estudiantes y profesores han visitado y apoyado los nuevos ensayos de espaciamientos. A la VIE por su apoyo incondicional a este valioso proyecto de especies forestales nativas, que pretendemos se convierta en un eje permanente de investigación + desarrollo + innovación en nuestros CIIBI y EIFO.

## 11. Literatura citada

- 1 Alice, F; Montagnini, F; Montero, M. 2004. Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la Estación Biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica (en línea). *Agronomía Costarricense*, 28 (2):61-71.
- 2 Araya, Emanuel, Murillo, Olman, Aguilar, Gabriel, Rocha, Oscar, Woolbright, Scott & Keim, Paul. 2005b. Possibilities of Breeding Teak (*Tectona grandis*) in Costa Rica assisted by AFLP markers. *Kurú* 2(5). Disponible en [www.itcr.ac.cr/revistaKURU/](http://www.itcr.ac.cr/revistaKURU/)
- 3 Araya, Emanuel.; Murillo, Olman; Aguilar, Gabriel. & Rocha, Oscar. 2006. Relaciones genéticas en una colección de clones de *Gmelina arborea* reveladas con marcadores AFLP. *Kurú* 2(6). Disponible en [www.itcr.ac.cr/revistaKURU/](http://www.itcr.ac.cr/revistaKURU/)
- 4 Araya, Emanuel; Murillo, Olman; Gabriel Aguilar and Rocha, Oscar. 2005a. A DNA extraction protocol and initial primers screening in *Hyeronima alchorneoides* for AFLP applications. *Foresta Veracruzana* 7(1): 1-4.
- 5 Acuña, P. 1999. Evaluación de dos ensayos de progenie en Santa Clara, San Carlos. Práctica de especialidad. B.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 58 p.
- 6 Arias, D. 1993. Informe final del Proyecto “Establecimiento de Ensayos de comportamiento para cinco especies forestales nativas de la Región Huetar Norte de Costa Rica”. Instituto Tecnológico de Costa Rica - Cooperación en los Sectores Forestal y Maderero. Cartago, Costa Rica. Sp.
- 7 Arias, Olman. 2004. Elaboración de una base de datos forestales para el proyecto forestal comercial de la EARTH. Práctica de especialidad. B.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ing. Forestal. Cartago, Costa Rica. 38p.
- 8 Badilla, Y.; Murillo, O.; Hidalgo, N.; Sánchez, S.; Obando, G. 1999. Programa de Mejoramiento y Conservación Genética de Especies Forestales de Altura de Costa Rica. *Kurú* N° 27:1227.
- 9 Badilla, Y.; Murillo, O.; Obando, G. 2002. Reforestación con especies nativas en la zona norte del país. En: Seminario Nacional sobre Especies Nativas. 3-5 de abril, 2002. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica.
- 10 Badilla, Y.; Murillo, O.; Azofeifa, M. & Obando, G. 2003. Avances en Reforestación Clonal en Costa Rica. En: V Congreso Forestal Nacional. 17-19 de setiembre del 2003. San José, Costa Rica.
- 11 Badilla, Y.; Murillo, O. 2011. Avances en el mejoramiento genético de la teca en GENFORES, Costa Rica. En: Conferencia Forestal Internacional: Bosques plantados de teca. Teaknet. 31 octubre al 3 de noviembre, 2011. San José, Costa Rica.
- 12 Baltodano, C. 2011. Diagnóstico de causas de rechazo y deserción en el ingreso al programa de Pago por Servicios Ambientales modalidad Reforestación y propuestas de solución. Periodo 2009-2010. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. Dirección de Fomento Forestal, Departamento de Desarrollo Forestal. San José, Costa Rica. 35 p.
- 13 Barrantes, P. & Alfaro, C. 1995. Estudio de adaptabilidad preliminar de 15 especies de altura en la Zona Sur de Costa Rica. Informe Práctica de Especialidad. Departamento de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 151 p.
- 14 Barrantes, A. 2008. El desabastecimiento de Madera en Costa Rica: Causas, Efectos y Propuestas de Solución. En: OET. El abastecimiento de Madera en Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 23-40 p.
- 15 Barrantes, A. y G. Salazar. 2008. Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2007. Oficina Nacional Forestal. 32 pp.

- 16 Barrantes, A., Salazar, G, 2010. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas del 2009. Oficina Nacional Forestal, San José, Costa Rica.
- 17 Barrantes, A.; Paniagua, R. y Salazar, G, 2011. Usos y aportes de la madera en Costa Rica. Estadísticas del 2009. Oficina Nacional Forestal, San José, Costa Rica.
- 18 Boshier, D. H. y A.T. Lamb. 1997. *Cordia alliodora*: Genética y Mejoramiento de árboles. Oxford Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford. Tropical Forestry Papers 36.100 p.
- 19 Butterfield, R. 1992. Interacción especie ambiente para 32 especies forestales de la Zona Norte. En: Resumen de Ponencias II Congreso Forestal Nacional. San José, Costa Rica. Noviembre 25- 27.
- 20 Butterfield, R.; Espinoza, M. 1995. Screening trial of 14 tropical hardwoods with an emphasis on species native to Costa Rica: fourth year results. *New Forests*, 9: 135-145
- 21 Calvo, J. 2009. DECIMOQUINTO INFORME ESTADO DE LA NACIÓN EN DESARROLLO HUMANO SOSTENIBLE. Informe Final. Bosque, cobertura y recursos forestales 2008. 26 p.
- 22 Calvo-Alvarado. J., Solano. J., y V. Jiménez. 2006. Estudio de cambios de Cobertura Forestal de Costa Rica 2000-2005. II Parte: Coberturas de Áreas Reforestadas, Plantadas con Café y Frutales en Costa Rica para el Estudio de Cobertura Forestal 2005 Alberta University e Instituto Tecnológico de Costa Rica. Estudio elaborado para el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). San José, Costa Rica. 19 pp.
- 23 Camacho, D.; Camacho, M. y Monge, F. 2011. Censo Nacional de la Industria Forestal Primaria de Costa San José, Costa Rica. p.
- 24 CATIE. 1994. Laurel (*Cordia alliodora* Ruiz y Pavón Oken), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Serie Técnica. Informe Técnico no. 239. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 52 pp.
- 25 Corella, O. 2009. Valoración de la base forestal de las plantaciones forestales y de su contribución al abastecimiento de madera en la zona del Atlántico norte de Costa Rica. Tesis Mag. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 147 pp.
- 26 Cornelius, J; de la Torre, A; López, C. e Yglesias, E. 2008. Genetic (AFLP) diversity of nine *Cedrela odorata* populations in Madre de Dios, southern Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*. 255 (2): 334-339.
- 27 De Camino., R. y G. Detlefen. 2008. Costa Rica y el abastecimiento sostenible de maderas: una necesidad de acciones decididas. En: OET. El abastecimiento de Madera en Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 93-104 p.
- 28 Delgado, Adrián. 2002. Crecimiento de las plantaciones de especies nativas y su relación con las motivaciones de los finqueros a reforestar en la región Huetar Norte de Costa Rica. Práctica de especialidad. B.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ing. Forestal. Cartago, Costa Rica. 127 p.
- 29 Delgado, A.; Montero, M.; Murillo, O. & Castillo, M. 2003. Crecimiento de especies forestales nativas en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* **27(1)**: 63-78.
- 30 De Los Santos-Posadas, H.; Montero, M. y Kanninen, M. 2006. Curvas dinámicas de crecimiento en altura dominante para *Terminalia amazonia* (Gmel.)Excell en Costa Rica. *Agrociencia* 40: 521-532.
- 31 FONAFIFO, 2011. Distribución de hectáreas contratadas en pago de servicios ambientales, por año, periodo 1997 – 2009, en [http://www.fonafifo.go.cr/text\\_files/servicios\\_ambientales/distrib\\_ha\\_Contratadas.pdf](http://www.fonafifo.go.cr/text_files/servicios_ambientales/distrib_ha_Contratadas.pdf).
- 32 FONAFIFO, 2015. Propuesta de actualización de los montos de PSA a las plantaciones forestales y sistemas agroforestales. Febrero, 2015. San José, Costa Rica. 10p.

- 33 Gregorius, H.-R. 1978. The concept of genetic diversity and its formal relationship to heterozygosity and genetic distance. *Math. Biosciences* 41: 253-271.
- 34 Gregorius, H.-R. 1988. The meaning of genetic variation within and between subpopulations. *Theor. Appl. Genet.* 76: 947-951.
- 35 Klein, C.; Ramírez, K.; Holmgren, C.; Lobo, S. and Chavez, G. 2005. A national forest resources assessment for Costa Rica based on low intensity sampling. *Forest Ecology and Management.* 210: 9–23.
- 36 Lowe, A.; Goodall-Copestake, W.; Caron, H. and Kremer, A; Decroocq, S. 2002. A set of polymorphic microsatellites for *Vochysia ferruginea*, a promising tree for land reclamation in the Neotropics. *Molecular Ecology Notes* 2:153-155.
- 37 MINAET. 2011. Plan Nacional de Desarrollo Forestal 2011-2020. Costa Rica. San José, Costa Rica. 30 p.
- 38 Mora, F; et al. 2002. Reconstrucción del crecimiento de tres especies nativas en la estación experimental forestal Horizontes a través de las técnicas del análisis fustal, Liberia, Guanacaste. Escuela de Ciencias Ambientales / Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional. 13 p.
- 39 Montero, M.; De Los Santos P., H. y Kanninen, M. 2007. *Hieronyma alchorneoides*, Ecología y silvicultura en Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico No. 354. 50 p.
- 40 Murillo, O.; Badilla, Y.; Obando, G. 2002. Posibilidades de reforestación con especies nativas en las zonas altas de Costa Rica. En: Seminario Nacional sobre Especies Nativas. 3-5 de abril, 2002. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica.
- 41 Murillo, O.; Rojas, J.L. y Badilla, Y. 2003. Reforestación Clonal. Taller de Publicaciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica 36 p.
- 42 Murillo, O. 2005. Hacia el cultivo de madera en Costa Rica y la desmitificación del debate entre especies exóticas y nativas. *Ambientico* 139 (junio): 4-6.
- 43 Murillo, O.; Rojas, J.L. y Badilla, Y. 2003. Reforestación Clonal. Taller de Publicaciones. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica 36 p.
- 44 Murillo, O.; Badilla, Y. 2004. Software. Programa de Calidad y Valuación de Plantaciones Forestales. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ing. Forestal. Cartago, Costa Rica.
- 45 Murillo, O.; Badilla, Y. 2005. Software. Programa Diseño de Ensayos Genéticos. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ing. Forestal. Cartago, Costa Rica.
- 46 Murillo, O. 2010. Retos para el desarrollo de plantaciones forestales en Costa Rica. Ponencia magistral. En: IX Congreso Nacional Agronómico y Forestal. San José, Costa Rica. 4-6 agosto 2010.
- 47 Murillo, O. 2011. Bases para una estrategia de desarrollo forestal en la región Brunca. En: Congreso Agropecuario, Forestal y del Ambiente de la Región Brunca, 2011, 10-12 agosto, 2011. San Isidro del General, Pérez Zeledón, Costa Rica.
- 48 Murillo, O.; Guevara, V. 2013. Estado de los recursos genéticos forestales de Costa Rica. MINAET/FAO/CONAGEBIO, San José, Costa Rica. 159 pp.
- 49 Müller, E. 1993. Estado actual del conocimiento sobre especies forestales para la reforestación en Costa Rica. Documento del proyecto COSEFORMA/ITCR. Costa Rica. 29 p.
- 50 Nara da Silva M. 2010. Extração de DNA genómico de tecidos foliares maduros de espécies nativas do cerrado. *Revista Árvore. Brazilian Journal of Forest Science.* 34 (6): 973-978.

- 51 Navarro., G., Obando., G y O. Corella. 2008. Ambientalismo *light* y la resaca forestal de Costa Rica. En: OET. El abastecimiento de Madera en Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 77-92 p.
- 52 Obando P., M.F. 2010. Condición silvicultural actual y propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en plantaciones mixtas con especies nativas ubicadas en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste. Tesis Lic. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 76p.
- 53 Peakall, R; Smouse, P.E. 2006. GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes* 6: 288–295.
- 54 PROCOMER, 2011. Estadísticas de exportación e importación de productos forestales y muebles de madera del 2010. Departamento de Estudios Económicos. San José, Costa Rica.
- 55 Redondo, A. 2005. Aboveground biomass, carbon sequestration and productivity of native tree plantations in the north and atlantic lowlands of Costa Rica. Master Project, Final Report. School of Forestry and Environmental Studies. Yale University, New Haven, NH., USA. 75 p.
- 56 Rigg, P. 2013. Plan de Ordenamiento y Manejo para la Estación Experimental Forestal Horizontes, Área de Conservación Guanacaste. Tesis Lic. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 90 p.
- 57 Rivera T., Monserrath L. 2012. Sistema de industrialización y comercialización de madera de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) de ASIREA (Asociación para el Desarrollo Sostenible de la Región Atlántica). Tesis Lic. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. pp.
- 58 Rodríguez, L. 1995. Resultados preliminares del Proyecto de Investigación sobre Manejo y Comportamiento de seis especies forestales nativas en la Región Huetar Norte de Costa Rica. En: Memoria III Taller Nacional de Investigación Forestal y Agroforestal, Cañas, Guanacaste. Noviembre, 1995.
- 59 Rojas F, Murillo O, Araya E, Aguilar G y Rocha O. 2007. Validación y adaptación de la técnica de microsatélites para el análisis genético de *Vochysia guatemalensis* Donn. Sm. *Foresta Veracruzana* 9(1):9-15. (2007).
- 60 Rojas, F.; Murillo, O. 2008. Uso de marcadores en silvicultura clonal. En: II Simposio Internacional de Silvicultura Clonal. 25-26 Noviembre, 2008. Heredia, Costa Rica.
- 61 Sage, L.; Müller, E. 1995. Resultados preliminares de un ensayo con especies forestales nativas en sitios con problemas de inundación en la Región Huetar Norte. N°42. COSEFORMA/ITCR. San José, Costa Rica. 15 p.
- 62 Sandí., C. 2008. El sector conservacionista y la problemática del abastecimiento sostenible de la madera en Costa Rica. En: OET. El abastecimiento de Madera en Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 67-76 p.
- 63 Solís, M. y Moya, R. 2005. *Hieronyma alchorneoides* en Costa Rica. FONAFIFO. San José, Costa Rica. 106 p. [www.fonafifo.go.cr/text\\_files/proyectos/ManualHieronyma.pdf](http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/ManualHieronyma.pdf).
- 64 Solís, M. y Moya, R. 2005. *Terminalia amazonia* en Costa Rica. FONAFIFO. San José, Costa Rica. 108 p. [www.fonafifo.go.cr/text\\_files/proyectos/ManualTerminalia.pdf](http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/ManualTerminalia.pdf).
- 65 Somarriba, E. y Beer, J.W. 1987. Dimensions, volumes and growth of *Cordia alliodora* in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management* 18: 113-126.
- 66 Sotela., J.; S. Ugalde. 2008. El desabastecimiento de Madera en Costa Rica: Perspectivas del Sector Privado. En: OET. El abastecimiento de Madera en Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica. 41-52 p.
- 67 Soto, G. y González, L. 2008. El uso del recurso forestal en Costa Rica. En: OET. El abastecimiento de Madera en Costa Rica. San José, Costa Rica. 53-66 p.

- 68 Vallejos, Jonathan; Badilla, Yorleny; Picado, Félix; Murillo, Olan. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Revista Agronomía Costarricense* 34(1): 105-119.
- 69 Vos, P.; Hogers, R.; Bleeker, M.; Reijans, M.; van de Lee, T.; Hornes, M.; Frijters, A.; Pot, J.; Peleman, J.; Kuiper, M y Zabeau, M. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23 (21): 4407-4414.
- 70 Zobel, B y Talbert, J. 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley y Sons. New York, USA. 510p.

### Apéndice 1. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de almendro (*Dypterix panamensis*) en Costa Rica

Edad	DAP	ICA	hTotal	Relación d/h	Vol total por árbol (m3)	Biomasa Verde/árbol VolTot*1,5	VolTotal (m3ha)	N	G	Biomasa Verde (m3/ha)	Biom*Densid (Ton/ha)	Densidad Madera	Carbono = Biom*0,44	CO2 = Carbono*(44/12)
1	1.28		1.79	1.40	0.000	0.000	0.00	833	0.11	0.00	0.00	0.750	0.00	0.00
2	4.25	2.97	5.74	1.35	0.004	0.006	3.22	750	1.06	4.83	3.63	0.753	1.60	5.86
3	7.02	2.77	9.13	1.30	0.019	0.029	14.44	750	2.90	21.66	16.37	0.756	7.20	26.42
4	9.60	2.57	12.19	1.27	0.046	0.070	34.76	750	5.42	52.14	39.57	0.759	17.41	63.84
5	11.97	2.38	14.97	1.25	0.085	0.128	42.67	500	5.62	64.00	48.77	0.762	21.46	78.68
6	14.15	2.18	17.40	1.23	0.135	0.203	67.56	500	7.85	101.34	77.53	0.765	34.11	125.08
7	16.13	1.98	19.35	1.2	0.175	0.263	87.66	500	10.20	131.50	100.99	0.768	44.43	162.93
8	17.91	1.78	21.27	1.19	0.233	0.349	116.49	500	12.58	174.73	134.72	0.771	59.28	217.34
9	19.49	1.58	23.15	1.19	0.292	0.438	146.09	500	14.90	219.14	169.61	0.774	74.63	273.64
10	20.87	1.38	24.80	1.19	0.351	0.526	105.24	300	10.25	157.86	122.66	0.777	53.97	197.89
11	22.06	1.18	26.20	1.19	0.340	0.511	102.15	300	11.45	153.22	119.51	0.780	52.59	192.82
12	23.04	0.99	27.38	1.19	0.384	0.577	115.31	300	12.49	172.96	135.43	0.783	59.59	218.49
13	24.04	1.00	28.56	1.19	0.433	0.649	129.76	300	13.60	194.64	152.99	0.786	67.32	246.82
14	24.99	0.95	29.69	1.19	0.482	0.723	144.58	300	14.70	216.87	171.11	0.789	75.29	276.06
15	25.92	0.93	30.80	1.19	0.534	0.801	160.15	300	15.81	240.23	190.26	0.792	83.71	306.95
16	26.82	0.90	31.87	1.19	0.588	0.881	117.51	200	11.29	176.26	140.13	0.795	61.66	226.08
17	27.70	0.88	32.91	1.19	0.643	0.965	128.69	200	12.04	193.04	154.05	0.798	67.78	248.53
18	28.55	0.85	33.92	1.19	0.584	0.876	116.85	200	12.79	175.27	140.39	0.801	61.77	226.50
19	29.38	0.83	34.91	1.19	0.636	0.953	127.12	200	13.54	190.68	153.30	0.804	67.45	247.33
20	30.18	0.80	35.86	1.19	0.688	1.032	137.64	200	14.29	206.46	166.62	0.807	73.31	268.81

Parámetros	Raleo1	Raleo2	Raleo3	Volumen Total	Volumen + Raleos	Carbono	CO2
VolTotal m3/haAño15	8.11	49.67	53.38	160.15	271.32		
IMA15					18.09		
VolTotal m3/haAño20				137.64	248.81		
IMA20					12.44		
Biomasa Toneladas/haAño15	9.20	46.96	50.13	190.26	296.55		
IMA15					19.77	8.70	31.90
Biomasa Toneladas/haAño20				166.616	272.90		
IMA20					13.65	6.00	22.01

**Apéndice 2. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de amarillón (*Terminalia amazonia*) en Costa Rica.**

Edad	DAP	ICA	hTotal	Relación d/h	Vol total por árbol (m3)	Biomasa Verde/árbol VolTot*1,5	VolTotal (m3ha)	N	G	Biomasa Verde (m3/ha)	Biom*Densid (Ton/ha)	Densidad Madera	Carbono = Biom*0,44	CO2 = Carbono*(44/12)
1	3.50		3.85	1.10	0.002	0.003	1.64	833	0.80	2.46	1.23	0.500	0.54	1.99
2	7.50	4.00	8.25	1.10	0.016	0.023	11.70	750	3.31	17.55	8.83	0.503	3.88	14.24
3	11.00	3.50	11.55	1.05	0.048	0.072	36.10	750	7.12	54.15	27.40	0.506	12.06	44.21
4	14.20	3.20	14.20	1.00	0.104	0.155	77.70	750	11.86	116.55	59.32	0.509	26.10	95.71
5	17.20	3.00	16.86	0.98	0.162	0.244	64.99	400	9.28	97.48	49.91	0.512	21.96	80.52
6	19.90	2.70	19.10	0.96	0.256	0.384	102.42	400	12.42	153.62	79.12	0.515	34.81	127.64
7	22.40	2.50	21.28	0.95	0.298	0.447	119.29	400	15.74	178.93	92.69	0.518	40.78	149.54
8	24.70	2.30	22.53	0.91	0.402	0.603	160.91	400	19.14	241.37	125.75	0.521	55.33	202.88
9	26.80	2.10	23.46	0.88	0.517	0.776	129.29	250	14.08	193.94	101.62	0.524	44.71	163.95
10	28.70	1.90	24.12	0.84	0.515	0.772	128.66	250	16.15	193.00	101.71	0.527	44.75	164.09
11	30.50	1.80	25.64	0.84	0.612	0.919	153.10	250	18.24	229.65	121.71	0.530	53.55	196.36
12	32.20	1.70	27.06	0.84	0.699	1.049	174.83	250	20.33	262.25	139.78	0.533	61.50	225.51
13	33.90	1.70	28.49	0.84	0.784	1.176	117.61	150	13.52	176.42	94.56	0.536	41.61	152.56
14	35.40	1.50	29.75	0.84	0.774	1.161	116.05	150	14.74	174.08	93.83	0.539	41.28	151.38
15	36.90	1.50	31.01	0.84	0.848	1.272	127.21	150	16.02	190.81	103.42	0.542	45.50	166.85
16	38.20	1.30	32.11	0.84	0.933	1.399	139.93	150	17.17	209.89	114.39	0.545	50.33	184.55
17	39.50	1.30	32.87	0.83	1.011	1.517	151.72	150	18.36	227.58	124.71	0.548	54.87	201.20
18	40.60	1.10	33.45	0.82	1.098	1.646	164.65	150	19.39	246.97	136.08	0.551	59.88	219.54
19	41.70	1.10	34.01	0.82	1.189	1.784	178.40	150	20.46	267.60	148.25	0.554	65.23	239.18
20	42.70	1.00	34.48	0.81	1.199	1.798	179.78	150	21.45	269.67	150.21	0.557	66.09	242.33

Parámetros	Raleo1	Raleo2	Raleo3	Volumen Total	Volumen + Raleos		
VolTotal m3/haAño15	25.38	51.29	69.93	127.21	273.81		
IMA15					18.25		
VolTotal m3/haAño18				164.65	311.25		
IMA18					17.29		
Biomasa Toneladas/haAño15	9.41	24.13	45.22	103.42	182.18	Carbono	CO2
IMA15					12.15	5.34	19.59
Biomasa Toneladas/haAño18				136.081	214.84		
IMA18					11.94	5.25	19.26

**Apéndice 3. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de pilón (*Hieronyma alchorneoides*) en Costa Rica.**

Edad	DAP	ICA	hTotal	Relación d/h	Vol total por árbol (m3)	Biomasa Verde/árbol VolTot*1,5	VolTotal (m3ha)	N	G	Biomasa Verde (m3/ha)	Biom*Densid (Ton/ha)	Densidad Madera	Carbono = Biom*0,44	CO2 = Carbono*(44/12)
1	3.06		3.37	1.10	0.002	0.003	1.72	833	0.61	2.58	1.42	0.550	0.62	2.29
2	5.77	2.71	6.34	1.10	0.012	0.017	8.64	750	1.96	12.96	7.16	0.553	3.15	11.56
3	7.47	1.71	7.85	1.05	0.024	0.036	18.25	750	3.29	27.37	15.22	0.556	6.70	24.55
4	9.18	1.71	9.18	1.00	0.041	0.062	30.95	750	4.96	46.42	25.95	0.559	11.42	41.87
5	10.89	1.71	10.67	0.98	0.067	0.100	50.03	750	6.98	75.04	42.17	0.562	18.56	68.04
6	12.60	1.71	12.09	0.96	0.093	0.140	46.55	500	6.22	69.83	39.45	0.565	17.36	63.65
7	14.31	1.71	13.59	0.95	0.119	0.179	59.69	500	8.03	89.53	50.86	0.568	22.38	82.05
8	16.01	1.71	14.91	0.93	0.168	0.251	83.78	500	10.06	125.68	71.76	0.571	31.57	115.77
9	17.72	1.71	16.17	0.91	0.188	0.283	94.22	500	12.31	141.33	81.12	0.574	35.69	130.88
10	19.43	1.71	17.19	0.89	0.223	0.334	111.29	500	14.80	166.93	96.32	0.577	42.38	155.40
11	21.14	1.71	19.64	0.93	0.283	0.425	84.95	300	10.51	127.43	73.91	0.580	32.52	119.24
12	22.84	1.71	21.23	0.93	0.353	0.530	106.03	300	12.28	159.04	92.72	0.583	40.80	149.59
13	24.55	1.71	22.81	0.93	0.434	0.651	130.23	300	14.18	195.34	114.47	0.586	50.37	184.68
14	26.26	1.71	24.40	0.93	0.524	0.785	157.06	300	16.22	235.59	138.76	0.589	61.06	223.87
15	27.97	1.71	25.99	0.93	0.628	0.942	188.32	300	18.40	282.47	167.22	0.592	73.58	269.79
16	29.67	1.71	27.58	0.93	0.744	1.117	148.89	200	13.81	223.34	132.89	0.595	58.47	214.39
17	31.38	1.71	29.16	0.93	0.875	1.312	174.91	200	15.45	262.36	156.89	0.598	69.03	253.12
18	33.09	1.71	30.75	0.93	1.016	1.524	203.16	200	17.18	304.74	183.15	0.601	80.58	295.48
19	34.80	1.71	32.34	0.93	1.170	1.754	233.93	200	18.99	350.89	211.94	0.604	93.25	341.92
20	36.51	1.71	33.92	0.93	1.336	2.004	267.21	200	20.90	400.82	243.30	0.607	107.05	392.52

Parámetros	Raleo1	Raleo2	Raleo3	Volumen Total	Volumen + Raleos		
VolTotal m3/haAño15	11.67	37.84	62.77	188.32	300.60		
IMA15					20.04		
VolTotal m3/haAño20				267.21	379.50		
IMA20					18.97		
Biomasa Toneladas/haAño15	2.72	22.41	34.34	167.22	226.69	Carbono	CO2
IMA15					15.11	6.65	24.38
Biomasa Toneladas/haAño20				243.30	302.77		
IMA20					15.14	6.66	24.42

**Apéndice 4. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de laurel (*Cordia alliodora*) en Costa Rica.**

Edad	DAP	ICA	hTotal	Relación d/h	Vol total por árbol (m3)	Biomasa Verde/árbol VolTot*1,5	VolTotal (m3ha)	N	G	Biomasa Verde (m3/ha)	Biom*Densid (Ton/ha)	Densidad Madera	Carbono = Biom*0,44	CO2 = Carbono*(44/12)
1	3.00		3.30	1.10	0.002	0.003	1.57	833	0.59	2.35	1.13	0.480	0.50	1.82
2	7.00	4.00	7.70	1.10	0.016	0.023	11.65	750	2.88	17.48	8.44	0.483	3.71	13.62
3	10.50	3.50	11.03	1.05	0.050	0.074	37.22	750	6.49	55.83	27.13	0.486	11.94	43.78
4	13.80	3.30	13.80	1.00	0.108	0.161	80.65	750	11.20	120.97	59.15	0.489	26.03	95.43
5	16.80	3.00	16.46	0.98	0.169	0.253	84.32	500	11.07	126.48	62.23	0.492	27.38	100.39
6	19.70	2.90	18.91	0.96	0.266	0.399	133.04	500	15.22	199.56	98.78	0.495	43.46	159.37
7	22.50	2.80	21.38	0.95	0.310	0.465	155.14	500	19.85	232.72	115.89	0.498	50.99	186.97
8	25.00	2.50	22.80	0.91	0.418	0.627	125.40	300	14.71	188.10	94.24	0.501	41.46	152.03
9	27.30	2.30	23.90	0.88	0.537	0.805	161.06	300	17.54	241.59	121.76	0.504	53.58	196.44
10	29.30	2.00	24.63	0.84	0.536	0.805	160.92	300	20.20	241.38	122.38	0.507	53.85	197.44
11	31.10	1.80	26.14	0.84	0.634	0.952	190.34	300	22.76	285.52	145.61	0.510	64.07	234.92
12	32.60	1.50	27.40	0.84	0.727	1.091	109.08	150	12.50	163.62	83.94	0.513	36.93	135.42
13	33.90	1.30	28.49	0.84	0.812	1.219	121.85	150	13.52	182.78	94.31	0.516	41.50	152.16
14	35.20	1.30	29.59	0.84	0.801	1.201	120.10	150	14.58	180.15	93.50	0.519	41.14	150.84
15	36.40	1.20	30.59	0.84	0.883	1.324	132.43	150	15.59	198.64	103.69	0.522	45.62	167.29
16	37.60	1.20	31.60	0.84	0.968	1.452	145.24	150	16.63	217.86	114.38	0.525	50.33	184.53
17	38.70	1.10	32.20	0.83	1.053	1.579	157.91	150	17.62	236.86	125.06	0.528	55.03	201.77
18	39.80	1.10	32.79	0.82	1.141	1.711	171.11	150	18.64	256.67	136.29	0.531	59.97	219.88
19	40.90	1.10	33.36	0.82	1.233	1.850	184.99	150	19.68	277.48	148.18	0.534	65.20	239.06
20	42.00	1.10	33.91	0.81	1.246	1.869	186.93	150	20.75	280.40	150.57	0.537	66.25	242.93

Parámetros	Raleo1	Raleo2	Raleo3	Volumen Total	Volumen + Raleos		
VolTotal m3/ha <sub>Año15</sub>	18.82	52.75	95.17	132.43	299.17		
IMA <sub>15</sub>					19.94		
VolTotal m3/ha <sub>Año18</sub>				171.11	337.85		
IMA <sub>18</sub>					18.77		
Biomasa Toneladas/ha <sub>Año15</sub>	3.07	21.66	61.68	103.69	190.10	Carbono	CO2
IMA <sub>15</sub>					12.67	5.58	20.45
Biomasa Toneladas/ha <sub>Año18</sub>				150.574	236.98		
IMA <sub>18</sub>					11.85	5.21	19.12

**Apéndice 5: Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de cedro amargo (*Cedrela odorata*) en Costa Rica.**

Edad	DAP	ICA	hTotal	Relación d/h	Vol total por árbol (m3)	Biomasa Verde/árbol VolTot*1,5	VolTotal (m3ha)	N	G	Biomasa Verde (m3/ha)	Biom*Densid (Ton/ha)	Densidad Madera	Carbono = Biom*0,44	CO2 = Carbono*(44/12)
1	4.30		4.73	1.10	0.004	0.007	3.66	833	1.21	5.50	2.34	0.425	1.03	3.77
2	9.03	4.73	9.93	1.10	0.035	0.053	26.29	750	4.79	39.43	16.88	0.428	7.43	27.23
3	13.06	4.04	13.71	1.05	0.099	0.148	73.99	750	10.04	110.99	47.84	0.431	21.05	77.18
4	16.40	3.34	16.40	1.00	0.167	0.250	125.23	750	15.83	187.84	81.52	0.434	35.87	131.53
5	19.37	2.96	18.98	0.98	0.265	0.397	132.46	500	14.71	198.69	86.83	0.437	38.20	140.08
6	22.09	2.72	21.20	0.96	0.310	0.465	155.02	500	19.13	232.53	102.31	0.440	45.02	165.07
7	23.00	0.91	21.85	0.95	0.347	0.521	173.58	500	20.74	260.36	115.34	0.443	50.75	186.08
8	25.43	2.43	23.19	0.912	0.460	0.690	138.05	300	15.22	207.07	92.35	0.446	40.64	149.00
9	27.11	1.68	23.74	0.88	0.551	0.826	165.23	300	17.30	247.85	111.28	0.449	48.97	179.54
10	28.39	1.28	23.86	0.84	0.516	0.775	154.95	300	18.97	232.42	105.05	0.452	46.22	169.49
11	29.94	1.55	25.17	0.84	0.598	0.897	179.40	300	21.09	269.10	122.44	0.455	53.87	197.54
12	31.11	1.17	26.15	0.84	0.668	1.002	133.57	200	15.19	200.36	91.76	0.458	40.38	148.05
13	33.23	2.12	27.93	0.84	0.804	1.205	160.71	200	17.32	241.07	111.13	0.461	48.90	179.29
14	34.66	1.43	29.13	0.84	0.805	1.208	161.06	200	18.84	241.60	112.10	0.464	49.32	180.86
15	35.72	1.07	30.03	0.84	0.874	1.312	174.90	200	20.02	262.34	122.52	0.467	53.91	197.66
16	37.09	1.37	31.18	0.84	0.974	1.462	194.88	200	21.58	292.31	137.39	0.470	60.45	221.65
17	38.44	1.35	31.99	0.83	1.081	1.621	216.19	200	23.18	324.29	153.39	0.473	67.49	247.46
18	40.09	1.66	33.03	0.82	1.215	1.823	243.07	200	25.22	364.60	173.55	0.476	76.36	280.00
19	42.06	1.97	34.30	0.82	1.305	1.957	260.98	200	27.75	391.47	187.51	0.479	82.51	302.52
20	42.36	0.30	34.20	0.81	1.332	1.998	266.44	200	28.15	399.67	192.64	0.482	84.76	310.79

Parámetros	Raleo1	Raleo2	Raleo3	Volumen Total	Volumen + Raleos		
VolTotal m3/ha <sub>Año15</sub>	29.22	59.02	59.80	174.90	322.93		
IMA <sub>15</sub>					21.53		
VolTotal m3/ha <sub>Año18</sub>				243.07	391.11		
IMA <sub>18</sub>					21.73		
Biomasa Toneladas/ha <sub>Año15</sub>	5.30	22.99	30.68	122.52	181.48	Carbono	CO2
IMA <sub>15</sub>					12.10	5.32	19.52
Biomasa Toneladas/ha <sub>Año18</sub>				173.551	232.52		
IMA <sub>18</sub>					12.92	5.68	20.84

**Apéndice 6. Modelo de crecimiento y de biomasa de plantaciones de cebo o chanco (*Vochysia guatemalensis*) en Costa Rica.**

Edad	DAP	ICA	hTotal	Relación d/h	Vol total por árbol (m3)	Biomasa Verde/árbol VolTot*1,5	VolTotal (m3/ha)	N	G	Biomasa Verde (m3/ha)	Biom*Densid (Ton/ha)	Densidad Madera	Carbono = Biom*0,44 Carb
1	3.50		3.85	1.10	0.003	0.004	2.15	833	0.80	3.23	0.97	0.300	0.43
2	7.80	4.30	8.58	1.10	0.021	0.032	15.76	750	3.58	23.64	7.16	0.303	3.15
3	11.90	4.10	12.50	1.05	0.075	0.113	56.50	750	8.33	84.74	25.93	0.306	11.41
4	15.80	3.90	15.80	1.00	0.149	0.224	112.00	750	14.68	168.01	51.91	0.309	22.84
5	19.40	3.60	19.01	0.98	0.204	0.307	102.23	500	14.76	153.34	47.84	0.312	21.05
6	22.80	3.40	21.89	0.96	0.299	0.448	149.38	500	20.39	224.07	70.58	0.315	31.06
7	25.80	3.00	24.51	0.95	0.353	0.529	176.33	500	26.10	264.49	84.11	0.318	37.01
8	28.50	2.70	25.99	0.912	0.472	0.708	141.68	300	19.11	212.52	68.22	0.321	30.02
9	31.00	2.50	27.14	0.88	0.605	0.907	181.43	300	22.61	272.15	88.18	0.324	38.80
10	33.30	2.30	27.99	0.84	0.747	1.120	224.03	300	26.09	336.05	109.89	0.327	48.35
11	35.30	2.00	29.67	0.84	0.887	1.330	177.40	200	19.55	266.10	87.81	0.330	38.64
12	37.10	1.80	31.18	0.84	1.027	1.541	205.50	200	21.59	308.25	102.65	0.333	45.16
13	38.70	1.60	32.53	0.84	1.166	1.748	233.13	200	23.49	349.69	117.50	0.336	51.70
14	40.20	1.50	33.79	0.84	1.304	1.956	260.83	200	25.35	391.25	132.63	0.339	58.36
15	41.50	1.30	34.88	0.84	1.434	2.152	286.89	200	27.02	430.33	147.17	0.342	64.76
16	42.80	1.30	35.97	0.84	1.574	2.361	314.74	200	28.73	472.10	162.88	0.345	71.67
17	44.00	1.20	36.61	0.83	1.711	2.566	342.12	200	30.37	513.18	178.59	0.348	78.58
18	45.20	1.20	37.23	0.82	1.856	2.784	371.18	200	32.05	556.77	195.43	0.351	85.99
19	46.30	1.10	37.76	0.82	1.997	2.995	399.36	200	33.63	599.04	212.06	0.354	93.31
20	47.40	1.10	38.27	0.81	2.145	3.218	429.07	200	35.24	643.61	229.77	0.357	101.10

Parámetros	Raleo1	Raleo2	Raleo3	Volumen Total	Volumen + Raleos		
VolTotal m3/ha <sub>Año10</sub>	26.13	59.95	74.68	224.03	384.79		
IMA <sub>10</sub>					38.48		
VolTotal m3/ha <sub>Año14</sub>				260.83	421.60		
IMA <sub>14</sub>					30.11		
Biomasa Toneladas/ha <sub>Año10</sub>	4.07	15.89	22.07	109.89	151.92	Carbono	CO2
IMA <sub>10</sub>					15.19	6.68	24.51
Biomasa Toneladas/ha <sub>Año14</sub>				132.63	174.67		
IMA <sub>14</sub>					12.48	5.49	20.13

## Apéndice 7: LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES

### REPORTE DE ENSAYO (SC12-LSF-I01-R01 (v7))

**Nº DE REPORTE:** **53362**

USUARIO: INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA  
 RESPONSABLE: OLMAN MURILLO  
 CORREO: olmuga@yahoo.es; yorlenybadilla@yahoo.es  
 TELÉFONO: 2550-2441

PROVINCIA: ALAJUELA  
 CANTÓN: SAN CARLOS

CULTIVO: MADERABLES

ANÁLISIS: QC,B,S  
 FECHA RECEPCIÓN: 03/03/2015  
 EMISIÓN DE REPORTE: 16/03/2015  
 Nº DE MUESTRAS TOTAL: 7  
 PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS QUÍMICO FOLIAR												
ID USUARIO	ID LAB	% <sup>1</sup>						mg/kg				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
GUANACASTE	P-15-01258	5.05	0.36	0.20	0.41	2.69	0.26	74	14	38	34	16
CENIZARO	P-15-01259	6.85	0.32	0.47	0.15	2.10	0.31	179	15	22	37	26
CEDRO AMARGO	P-15-01260	4.86	0.41	1.44	0.36	3.68	0.36	119	14	35	63	45
LAUREL	P-15-01261	4.71	0.40	1.25	0.62	3.07	0.24	77	24	29	39	52
AMARILLON	P-15-01262	2.53	0.27	0.67	0.20	1.94	0.15	43	7	13	28	36
CAFE VERANERO	P-15-01263	3.67	0.27	0.76	0.41	3.38	0.20	145	4	21	101	32
CFE VENECIA	P-15-01264	3.61	0.27	0.73	0.43	3.67	0.19	119	4	19	103	30

OBSERVACIÓN: MUESTRAS DE INVERNADERO.

## Apéndice 8 Modelo de Costos de Plantaciones

Actividad	Promedio Jornales/ha	Frecuencia	Porcentaje de la Ha
<b>Año 0</b>			
<b>Formulación y gestión del proyecto</b>			
Visita al proyecto. Ing. Forestal	0.25	1	0.1
Revisión de documentos. Técnico Forestal	0.25	1	0.1
Levantamiento de área, definición de Rodales (estratos). Técnico Forestal	0.67	1	0.1
Muestreo y análisis de suelos. Técnico Forestal	0.50	1	0.1
Elaboración de mapas en SIG. Técnico Forestal	0.50	1	0.1
Formulación de proyecto para FONAFIFO. Ing. Forestal	0.75	1	0.1
Gestión de Formalización del proyecto (FONAFIFO y CIAgro). Ing. Forestal	0.33	1	0.1
<b>Total Formulación y Gestión del Proyecto año 0</b>	<b>3.25</b>		
<b>Preparación y Establecimiento de la plantación</b>			
	Promedio Jornales/ha	Frecuencia	Porcentaje de la Ha
Acumulación y Quema de Residuos (33% del área)	0.92	1	0.33
Eliminación árboles remanentes, repique con motosierra, 10% del área	2.13	1	0.1
Combustibles y lubricantes	5675	1	0.1
Repique y limpieza manual de terreno (10% del área)	2.50	1	0.1
Chapea Manual general del área (100% del área)	5.38	2	1
Control químico de malezas (pre-emergente) (100% del área). 1 L. Oxifluro	1.42	1	1
Herbicida pre-emergente + adherente	11070	1	1
Repaso control químico de malezas (20% del área)	0.75	1	0.2
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.2
<b>Subsolado del terreno (1 hora tractor)</b>	0	1	1
<b>Rastreado (2 veces, 1 hora tractor)</b>	0	2	1
<b>Lomillado del terreno (0.5 hora tractor)</b>	0	0.5	1
Construcción de drenajes (20m/ha), <b>Zonas Húmedas</b>	20000	1	1
Construcción de caminos principales, alcantarillas o puentes (10m/ha)	15000	1	1
Construcción de caminos secundarios, alcantarillas o puentes (10m/ha)	7500		
Establecimiento y reparación de cercas (25m/ha), Mano de Obra	0.90	1	1
Postes, alambre, grapas y demás materiales de cercas	35120	1	1
<b>Infraestructura (productores grandes)</b>	0	1	1
<b>Maquinaria y Equipo (productores grandes)</b>	0	1	1
Trazado-marcación	1.50	1	1
Preparado y acarreo de estacas guía para plantar	0.50	1	1
Rodajea pre-plantación	2.00	1	1
Hoyado	1.70	1	1
Plantas	200	833	1
Descarga y Distribución de plantas	0.90	1	1
Encalado manual toda el área (1-2 meses antes de plantación). 2 a 4 Ton/ha	1.19	1	1
Cal	20000	1	1
Fertilización al momento de plantación. 30 a 50 g/planta = 40 k/ha (1 saco)	1.56	1	1
Fertilizante	15140	2	1
Plantación de árboles (3 x 4m = 833/ha)	2.67	1	1
Resiembra 8-10% (a los 30 días después de plantado)	0.71	1	1
<b>Total Mano de Obra año 0</b>	<b>25.81</b>		
Total insumos (agroquímicos, combustibles, plantas, postes, otros)	101435.00		
Total inversiones	0.00		

Año 1, Mantenimiento y manejo	Promedio Jornales/ha	Frecuencia	Porcentaje de la Ha
Chapea con Motoguadaña (100% del área)	2.25	2	1
Combustibles y lubricantes motoguadaña	4375	2	1
Chapea Manual general del área (100% del área)	5.38	2	1
Chapea en la línea de plantación (33% del área)	2.33	1	0.33
Control químico de malezas (100% del área), 1 L. Glifosato > 3 meses	1.75	2	1
Herbicidas, adherentes y otros	14430	2	1
Repaso control químico de malezas (15% del área).	1.75	1	0.15
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.15
Rodajea manual	3.00	2	1
Rodajea química > 6 meses	1.58	2	1
Herbicidas, adherentes y otros	14430	2	1
Control químico de Banda (1,5m ancho), 33% del área	1.75	3	0.33
Herbicidas, adherentes y otros	14430	3	0.33
Deshija o eliminación brote basal (4-6 mes)	1.16	1	0.9
Poda de formación (3-6 mes, 100% árboles)	1.58	1	1
Primera poda (h = 1,5m, 100% árboles)	1.73	1	1
Amarre de árboles volcados por viento <b>en teca</b>	3.83	1	0.5
Fertilización (2 y 6 meses después de plantado). 50 g/planta = 40 k/ha	1.61	2	1
Fertilizante	15140	2	1
Eliminación de bejuco	0.98	3	1
Control de plagas (hormiga, joboto, otros)	0.51	3	1
Insecticida hormiga	3000	3	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.50	1	1
Otras labores no planificadas (5%)	2.00	1	1
<b>Total Mano de Obra, gastos generales año 1</b>	<b>31.69</b>		
Ingeniero Fijo o Regencia (4 visitas de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y	26912	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 1</b>	<b>26912</b>		

Año 2			
Chapea con Moto guadaña (75% del área)	2.25	2	0.75
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.75
Chapea de la línea de plantación (33% del área)	2.33	1	0.33
Control químico de Banda (1,5m ancho)	1.75	4	0.33
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.33
Control químico total de malezas (75% del área)	1.75	2	0.75
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.75
Repaso control químico de malezas (15% del área).	1.75	1	0.15
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.15
Deshija o eliminación brote basal <b>en teca y melina</b>	0.84	1	0.9
Poda de brotes de rama <b>en teca</b>	2.00	3	0.75
Poda baja (h = 2,5m, 100% árboles)	2.43	1	1
Amarre de árboles volcados por viento ( <b>teca</b> )	3.83	1	0.75
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.45	1	0.5
Control de plagas (hormiga, joboto, otros)	3000	3	0.5
Establecimiento y Medición PPM (3% de los árboles en pie)	0.13	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Limpieza de Drenajes (20m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (20m/ha)	0.24	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Otras labores no planificadas (5%)	1.30	1	1
<b>Total Mano de Obra año 2</b>	<b>19.75</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (3 visitas de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 2</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 3</b>			
Chapea con Moto guadaña (50% del área)	2.25	2	0.5
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.5
Control químico de Banda (1,5m ancho)	1.75	2	0.33
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.33
Control químico de malezas (50% del área)	1.75	2	0.5
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.5
Repaso control químico de malezas (10% del área).	1.75	1	0.1
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.1
Marcaje árboles META (300 a 400/ha)	0.67	1	1
Amarre de árboles volcados por viento ( <b>teca</b> )	3.83	1	0.33
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.51	1	0.5
Aplicación de insecticidas y otros	4000	1	0.5
Deshija o eliminación brote basal en teca	0.78	1	0.33
Poda de brotes de rama <b>en teca</b>	1.50	3	0.75
Poda media (h = 5m, 50% árboles)	2.58	1	0.5
Poda rama gruesa hasta 5m (Acacia, Teca, Melina, otras)	1.73	1	0.5
Marcaje de Raleo I (40 a 50%) ( <b>Melina, Acacia, Cebo, otras</b> )	0.47	1	1
Raleo I Melina, Acacia y <i>V. guatemalensis</i> (40 a 50%)	2.33	1	1
Combustibles y lubricantes	5675	1	0.5
Extracción de madera de Raleo I ( <b>Melina</b> )	3.00	1	1
Troceo y Empatiado de madera de raleo I	2.00	1	1
Medición, Carga y Despacho de madera	1.00	1	1
Control de rebrotes de tocón <b>de melina</b>	0.63	1	1
Limpieza de Drenajes (20m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (20m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de cercas (25m/ha)	1054	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	1
Otras labores no planificadas (5%)	1.50	1	1
<b>Total Mano de Obra año 3</b>	<b>21.57</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 3</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 4</b>			
Chapea con Moto guadaña (33% del área)	2.25	1	0.33
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.33
Control químico de malezas (33% del área)	1.75	3	0.33
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.33
Amarre de árboles volcados por viento <b>en teca</b> (árboles META)	3.83	1	0.25
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.4
Aplicación de insecticidas y otros	4000	1	0.4
Poda de brotes de rama en <b>teca</b> (400 árboles META/ha)	1.00	2	0.5
Poda alta (h = 8 m, 50% árboles)	2.65	1	0.33
Marcaje de Raleo I (40 a 50%)	0.47	1	1
<b>Raleo I Teca y Nativas (40 a 50%)</b>	<b>2.25</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	0.1
<b>Extracción de madera de Raleo I</b>	<b>3.00</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Troceo y Empatiado de madera de raleo I</b>	<b>2.00</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Medición, Carga y Despacho de madera	1.00	1	1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	1
Otras labores no planificadas (5%)	1.00	1	1
<b>Total Mano de Obra año 4</b>	<b>13.75</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 4</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 5</b>			
Chapea con Moto guadaña (25% del área)	2.25	1	0.25
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	1	0.25
Control químico de malezas (25% del área)	1.75	2	0.25
Herbicidas, adherentes y otros	14430	2	0.25
Poda de brotes de rama <b>en teca</b> (400 árboles META/ha)	1.00	2	0.5
Marcaje de Raleo II, <b>melina</b> (40-50%)	0.47	1	0.5
<b>Raleo II Melina (40-50%)</b>	<b>2.25</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	0.5
<b>Extracción de madera de Raleo II</b>	<b>3.50</b>	<b>1</b>	<b>0.75</b>
<b>Troceo y Empatiado de madera de raleo II</b>	<b>2.50</b>	<b>1</b>	<b>0.75</b>
Medición, Carga y Despacho de madera	1.00	1	1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.33
Aplicación de insecticidas y otros	4000	1	0.33
Control de rebrotes de tocón <b>de melina y teca</b>	0.63	1	0.5
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de cercas (25m/ha)	1054	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	1
Otras labores no planificadas (5%)	0.60	1	1
<b>Total Mano de Obra año 5</b>	<b>7.89</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 5</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 6</b>			
Chapea con Motoguadaña (20% del área)	2.25	1	0.2
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.2
Control químico de malezas (20% del área)	1.75	1	0.2
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.2
Poda de brotes de rama <b>en teca</b> (400 árboles META/ha)	1.00	1	0.4
Marcaje de Raleo II, Acacia, <i>V. guatemalensis</i> (40%)	0.47	1	0.5
<b>Raleo II Acacia y <i>V. guatemalensis</i> (40%)</b>	<b>2.25</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	0.5
Extracción de madera de Raleo II	3.50	1	0.75
Troceo y Empatiado de madera de raleo II	2.50	1	0.75
Medición, Carga y Despacho de madera	1.00	1	1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.33
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.6
Otras labores no planificadas (5%)	0.70	1	1
<b>Total Mano de Obra año 6</b>	<b>7.27</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 6</b>	<b>26911.63</b>		

<b>Año 7</b>			
Chapea con Motoguadaña (15% del área)	2.25	1	0.15
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.15
Control químico de malezas (15% del área)	1.75	1	0.15
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.15
Poda de brotes de rama <b>en teca</b> (400 árboles META/ha)	1.00	1	0.33
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.33
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de cercas (25m/ha)	1054	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.5
Otras labores no planificadas (5%)	0.50	1	1
<b>Total Mano de Obra año 7</b>	<b>5.80</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 7</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 8</b>			
Chapea con Moto guadaña (15% del área)	2.25	1	0.15
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.15
Control químico de malezas (15% del área)	1.75	1	0.15
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.15
Poda de brotes de rama <b>en teca</b> (200 árboles META/ha)	0.50	1	0.25
Marcaje de Raleo II, teca y nativas (40%)	0.47	1	0.5
<b>Raleo II teca y nativas (40%)</b>	<b>2.25</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	0.5
Extracción de madera de Raleo II	3.50	1	0.5
Troceo y Empatiado de madera de raleo II	2.50	1	0.5
Medición, Carga y Despacho de madera	1.00	1	1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.25
<b>Cosecha melina</b>	<b>3.67</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	1
Supervisión de cosecha, Empatiado y Medición de madera	2.00	1	1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.5
Otras labores no planificadas (5%)	0.60	1	1
<b>Total Mano de Obra año 8</b>	<b>8.77</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	26912	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 8</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 9</b>			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.25
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Mantenimiento de cercas (25m/ha)	1054	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.5
Otras labores no planificadas (5%)	0.30	1	1
<b>Total Mano de Obra año 9</b>	<b>3.05</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	26912	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 9</b>	<b>26912</b>		

Año 10			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Control químico de malezas (10% del área)	1.75	1	0.1
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.1
<b>Cosecha Acacia y V. guatemalensis</b>	<b>3.67</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	1
Supervisión de cosecha, Empatiado y Medición de madera	2.00	1	1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.2
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.5
Otras labores no planificadas (5%)	0.50	1	1
<b>Total Mano de Obra año 10</b>	<b>6.80</b>		
Ingeniero Fijo o Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y	26912	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 10</b>	<b>26912</b>		

Año 11			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.2
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Mantenimiento de cercas (25m/ha)	1054	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.5
Otras labores no planificadas (5%)	0.30	1	1
<b>Total Mano de Obra año 11</b>	<b>3.05</b>		
Ingeniero Fijo o Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y	26912	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 11</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 12 (teca y nativas)</b>			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Control químico de malezas (10% del área)	1.75	1	0.1
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.1
Marcaje de Raleo III, teca y nativas (40%)	0.47	1	0.33
<b>Raleo III teca y nativas (40%)</b>	<b>2.25</b>	<b>1</b>	<b>0.4</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	0.5
<b>Extracción de madera de Raleo III</b>	<b>3.50</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
<b>Troceo y Empatiado de madera de raleo III</b>	<b>2.50</b>	<b>1</b>	<b>0.5</b>
Medición, Carga y Despacho de madera	1.00	1	1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.5
Otras labores no planificadas (5%)	0.60	1	1
<b>Total Mano de Obra año 12</b>	<b>6.27</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 12</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 13 (teca y nativas)</b>			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de cercas (25m/ha)	1054	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.33
Otras labores no planificadas (5%)	0.33	1	1
<b>Total Mano de Obra año 13</b>	<b>3.05</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 13</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 14 (teca y nativas)</b>			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Control químico de malezas (10% del área)	1.75	1	0.1
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.1
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0.42	1	0.1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	1
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.33
Otras labores no planificadas (5%)	0.40	1	1
<b>Total Mano de Obra año 14</b>	<b>4.80</b>		
Ingeniero Fijo o Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y	26912	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 14</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 15 (teca y nativas)</b>			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Mantenimiento de cercas (25m/ha)	1054	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	0.5
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.33
Otras labores no planificadas (5%)	0.33	1	1
<b>Total Mano de Obra año 15</b>	<b>2.63</b>		
Ingeniero Fijo o Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y	26912	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 15</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 16 (teca y nativas)</b>			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Control químico de malezas (10% del área)	1.75	1	0.1
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.1
<b>Cosecha</b>	<b>3.50</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	1
Supervisión de cosecha, Empatiado y Medición de madera	2.00	1	1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	0.5
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	0.5
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.33
Otras labores no planificadas (5%)	0.50	1	1
<b>Total Mano de Obra año 16</b>	<b>6.88</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 16</b>	<b>26912</b>		
<b>Año 17 (teca)</b>			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	1
Mantenimiento de cercas (25m/ha)	1054	1	1
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	0.33
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.33
Otras labores no planificadas (5%)	0.33	1	1
<b>Total Mano de Obra año 17</b>	<b>2.96</b>		
Ingeniero Fijo o <b>Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y</b>	<b>26912</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 17</b>	<b>26912</b>		

<b>Año 18 (teca)</b>			
Chapea con Moto guadaña (10% del área)	2.25	1	0.1
Combustibles y lubricantes moto guadaña	4375	2	0.1
Control químico de malezas (10% del área)	1.75	1	0.1
Herbicidas, adherentes y otros	14430	1	0.1
<b>Cosecha</b>	<b>3.50</b>	<b>1</b>	<b>0.33</b>
Combustibles y lubricantes	5675	1	0.33
Supervisión de cosecha, Empatiado y Medición de madera	2.00	1	1
Limpieza de Drenajes (25m/ha)	2000	1	0.5
Rondas cortafuego (25m/ha)	0.30	1	0.33
Mantenimiento de infraestructura (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de Equipos (3% del valor), grandes productores	0	1	1
Mantenimiento de caminos (20m/ha)	0	1	1
Mediciones PPM (3% de los árboles en pie)	0.08	1	0.33
Otras labores no planificadas (5%)	0.60	1	1
<b>Total Mano de Obra año 18</b>	<b>6.38</b>		
Ingeniero Fijo o Regencia (1 visita de 1 hora, 18% del PSA, pequeños y	26912	1	1
Control de calidad, supervisión de labores (Técnicos Forestales)	0	1	1
Capataz, administrador de finca, supervisor de peones	0	1	1
Administración (asistente administrativo)	0	1	1
<b>Total Año 18</b>	<b>26912</b>		