

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN
FORESTAL CON MEZCLA DE ESPECIES CONSIDERANDO
SU GREMIO ECOLÓGICO, EN LA VIRGEN DE SARAPIQUÍ,
COSTA RICA.**

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA
EN INGENIERÍA FORESTAL

Ing. Ernesto G. Prado

CARTAGO, COSTA RICA

2012



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN
FORESTAL CON MEZCLA DE ESPECIES CONSIDERANDO
SU GREMIO ECOLÓGICO, EN LA VIRGEN DE SARAPIQUÍ,
COSTA RICA**

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA
EN INGENIERÍA FORESTAL

Ing. Ernesto G. Prado

CARTAGO, COSTA RICA

2012

ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN FORESTAL CON MEZCLA DE ESPECIES CONSIDERANDO SU GREMIO ECOLÓGICO, EN LA VIRGEN DE SARAPIQUÍ, COSTA RICA

Ing. Ernesto G. Prado¹

Resumen

Se estableció una plantación con mezcla de especies forestales en una finca ubicada en San Ramón de La Virgen de Sarapiquí, perteneciente a la empresa Puro Verde Paraíso Forestal S.A. Esta plantación se realizó considerando la producción de madera a pequeño, mediano y largo plazo, una cobertura forestal permanente, la mayor cantidad de área cultivable y una interacción entre las especies que procure la mayor tasa de crecimiento. Para proponer las diferentes combinaciones de especies se tomó en cuenta la topografía del terreno, los requerimientos de las especies y el gremio ecológico al cual pertenecen. Esto, con base en la clasificación propuesta por Finegan (1993). Según el gremio ecológico se proponen tres turnos de corta: 10 años para las especies pertenecientes al gremio de heliófitas efímeras, 20 años para heliófitas durables y 30 años para las especies que pertenecen al gremio de las esciófitas. En cada año de aprovechamiento se plantará nuevamente la especie cortada procurando varios ciclos de aprovechamiento y una cobertura forestal al menos por 60 años, momento en el cual los turnos de corta concuerdan.

El gremio que mayor mortalidad natural presentó fue el de las heliófitas durables con un 20,32% en el estrato plano y un 10,82% en el moderado. En cuanto a calidad del árbol, el gremio de las esciófitas presentó un 72,72% en calidades 2 y 3 en el estrato plano y un 97,1% en el estrato moderado. El gremio que mayor altura total presentó, tanto en el estrato plano como en el moderado, fue el de las heliófitas efímeras con un promedio de 1,77 m y 1,35 m respectivamente.

Palabras clave: *Carapa nicaraguensis*, *Dipteryx panamensis*, *Hieronyma alchorneoides*, *Hymenaea courbaril*, *Minuartia guianensis*, *Tectona grandis*, *Terminalia oblonga*, *Pentaclethra macroloba*, *Vochysia guatemalensis*, especies nativas, mezcla de especies, turnos de rotación.

¹ González, E. 2012. Establecimiento y evaluación de una plantación forestal con mezcla de especies considerando su gremio ecológico en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica. Proyecto de Graduación de Licenciatura. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 53p

ESTABLISHMENT AND EVALUATION OF A FOREST PLANTATION WITH A SPECIES MIX TO WEIGH UP THEIR ECOLOGICAL GUILD, IN LA VIRGEN DE SARAPIQUI, COSTA RICA

Abstract

It was established a forest field with a species mix in a field that is located in San Ramon at La Virgen de Sarapiquí which belongs to Puro Verde Paraíso Forestal S. A. This field was made thinking in a wood production to a short, half and long period of time, a permanent forest hedge, the greater quantity to grow and an interaction between the species that procure the highest growing rate. To propose the different species mix was important to take care of the field topography, the different species requirements and the ecological guild that was proposed by Finegan (1993) before. According to the ecological guild we suggest three different shifts: 10 years for the ones that belongs to the heliófitas efímeras guild, 20 years for the durable heliófitas and 30 years for the species that belongs to the esciófitas guild. In every year of growth opportunities we will plant the new species that we had cut looking for the best growth opportunities cycle, a forestal hedge for around 60 years that is the moment when all the cut shifts coincide.

The guild with the majority natural mortality is the durable heliófitas with 20.32% in the flat stratus, and a 10.28% in the moderate one.

Talking about the tree quality, the esciofitas stratus presents a 72.72% in 2 and 3 qualities in the flat stratus and a 97.1% in the moderate one. The guild with the majority total high was present by the heliofitas efimeras in the flat stratus and the moderate one with a average of 1.77m v 1.35 m respectively.

Keywords: *Carapa nicaraguensis*, *Dipteryx panamensis*, *Hieronyma alchorneoides*, *Hymenaea courbaril*, *Miquartia guianensis*, *Tectona grandis*, *Terminalia oblonga*, *Pentaclethra macroloba*, *Vochysia guatemalensis*, native species

Acreditación

Este Proyecto de Graduación fue aceptado por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobado por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DE UNA PLANTACIÓN FORESTAL CON MEZCLA DE ESPECIES CONSIDERANDO SU GREMIO ECOLÓGICO, EN LA VIRGEN DE SARAPIQUÍ, COSTA RICA

Miembros del Tribunal Evaluador

Ruperto Quesada Monge, PhD.
Director de Tesis

Stefan Nicolas Pröstler
Gerente General Puro Verde Paraíso Forestal

Luis Guillermo Acosta Vargas, MAP.
Escuela de Ingeniería Forestal

Ing. Ernesto G. Prado
Estudiante

Dedicatoria

A mi hija Mariel González Quesada que es la luz de mi vida.

A mi esposa Lupita Vargas Fonseca por ser mi inspiración y apoyo diario.

A mi madre Maritza Prado Vargas por mostrarme el camino y ayudarme a seguirlo.

Agradecimientos

A mi esposa Ing. Lupita Vargas Fonseca Lic. por impulsarme a conseguir esta meta.

A Stefan Nicolas Pröstler gerente general de Puro Verde Paraíso Forestal S.A. por el apoyo brindado.

Al Ing. Ruperto Quesada Monge Ph.D. por creer en nuestro trabajo y ayudarme a transformarlo en este proyecto de graduación.

A Ing. Luis Acosta Vargas Lic. por sus valiosos aportes y comentarios

Índice general

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Acreditación	3
Dedicatoria	4
Agradecimientos	5
Índice general.....	6
Índice de cuadros.....	9
Índice de figuras.....	10
Introducción.....	11
Objetivos	12
Objetivo general	12
Objetivos específicos.....	12
Revisión de literatura	13
Plantaciones forestales	13
Plantaciones forestales con mezcla de especies	14
Gremios ecológicos	15
Heliófitas efímeras	15
Heliófitas durables	16
Esciófitas parciales	16
Descripción de especies forestales	17
<i>Tectona grandis</i> L. (Teca).....	17
<i>Dipteryx panamensis</i> (Pittier) Record & Mell. C (Almendro)	18
<i>Vochysia guatemalensis</i> J.D. Smith. (Cebo).....	19

<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemao. (Pilón)	20
<i>Virola koschnyi</i> Warb. (Fruta dorada)	21
<i>Terminalia oblonga</i> Ruiz.y Pav. (Surá)	21
<i>Hymenaea courbaril</i> L. (Guapinol)	22
<i>Minquartia guianensis</i> Aublet. (Manú).....	23
<i>Capara nicaraguensis</i> C. DC. (Caobilla)	24
<i>Swietenia macrophylla</i> King. (Caoba)	25
Metodología	26
Descripción del área de estudio	26
Ubicación geográfica	26
Clima.....	27
Condiciones topográficas.....	27
Suelos	28
Uso anterior del suelo	29
Elaboración de mapas.....	29
Mapa de área efectiva	29
Mapa de pendientes	30
Mapa de uso del suelo	32
Selección de las especies	34
Gremio ecológico	35
Diseño de plantación	36
Mezcla de especies	38
Monitoreo silvicultural	39
Procedimiento para el establecimiento de las parcelas de muestreo	42

Análisis de datos	44
Crecimiento en altura.....	44
Resultados y Discusión.....	45
Turnos de rotación.....	45
Análisis de datos del inventario forestal	47
Sitios planos.....	47
Sitios moderados	53
Conclusiones.....	58
Recomendaciones	59
Bibliografía	60

Índice de cuadros

Cuadro 1. Especies seleccionadas y clasificadas según su gremio ecológico para la plantación con mezcla de especies, La Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.....	35
Cuadro 2. Mortalidad por gremio ecológico en el estrato plano en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.....	48
Cuadro 3. Porcentaje de calidad por gremio ecológico en el estrato plano, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.....	49
Cuadro 4. Comparación de la calidad de los árboles de guapinol con y sin agricultura, en el estrato plano, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.....	50
Cuadro 5. Valores de altura por gremio ecológico en el estrato plano, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	51
Cuadro 6. Mortalidad por gremio ecológico en el estrato moderado en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	54
Cuadro 7. Calidad por gremio ecológico en el estrato moderado en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.....	55
Cuadro 8. Valores de altura por gremio ecológico en el estrato moderado en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.....	55

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de área efectiva para el Proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	30
Figura 2. Mapa de pendiente para el Proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	31
Figura 3. Mapa de uso del suelo para el Proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	33
Figura 4. Diseño utilizado en el establecimiento de la plantación con mezcla de especies, en San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, 2012.	37
Figura 5. Mapa con la ubicación de parcelas para el Proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	43
Figura 6. Turnos de corta y replante propuestos para cada gremio ecológico en una plantación con mezcla de especies, en San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, 2012.	46
Figura 7. Altura promedio por parcela según gremio ecológico para el estrato plano, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	52
Figura 8. Curvas de clasificación de altura dominante para teca según la OLAT, San José, Costa Rica, 2011.	53
Figura 9. Altura promedio por parcela según gremio ecológico para el estrato moderado, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	56
Figura 10. Altura promedio, desviaciones estándar y comparaciones según pruebas Tukey por gremio ecológico en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.	57

Introducción

El establecimiento de plantaciones forestales en Costa Rica se ha incrementado a través de los años, producto de los incentivos que el Estado otorga, de una mayor demanda de madera, de la captura de CO₂, de las grandes ventajas económicas que estas producen y del endurecimiento legal que promueve la protección del bosque restringiendo su aprovechamiento.

La mayoría de las plantaciones establecidas están conformadas por grandes áreas que contemplan, en su diseño, solo una especie forestal, nativa o exótica, dejando de lado la posibilidad de plantar dos o más especies forestales en el mismo espacio físico.

Al estudiar la dinámica de crecimiento que tienen los bosques naturales, se observa que estos están conformados tanto por especies de bajo valor comercial, que juegan un papel importante en la colonización de claros, como por especies de alto valor comercial que crecen bajo la sombra que producen las especies colonizadoras. Reproducir este modelo de distribución espacial en las plantaciones forestales, es una forma segura de producir madera de alto valor comercial a gran escala.

Las plantaciones forestales con mezcla de especies constituyen una buena alternativa para producir madera a corto, mediano y largo plazo; y garantizan una cobertura forestal permanente si se reponen las especies que se cortan en cada turno de cosecha final.

Con el presente trabajo se propone una metodología para el establecimiento de una plantación en mezcla, con especies forestales de alto valor comercial para la empresa Puro Verde Paraíso Forestal S.A., cuyo diseño espacial se basa en los gremios de tolerancia o ecológicos, según la clasificación de Finegan (1993) y en la optimización del crecimiento.

Objetivos

Objetivo general

Proponer un modelo de establecimiento de plantación utilizando mezcla de especies basado en el criterio de gremios ecológicos.

Objetivos específicos

Crear un diseño de plantación con el cual se pueda aprovechar al máximo el potencial de las diferentes especies.

Evaluar el crecimiento de la plantación en el primer año de desarrollo.

Proponer turnos de corta y replante para cada uno de los gremios ecológicos.

Revisión de literatura

Plantaciones forestales

Costa Rica es un país con un alto interés en la conservación de bosques. Desde finales de los años 60's, a partir de la primera Ley Forestal y de la creación de la Dirección General Forestal, se ha encausado en un proceso de protección y manejo del bosque, recuperación de la capa forestal, control de la tala ilegal y desarrollo de todo un sistema institucional que apoya al sector forestal. Asimismo, se han establecido políticas, planes y se han creado mecanismos innovadores para financiar y hacer sostenible el desarrollo forestal del país (Rodríguez 2002).

Como parte de esta iniciativa se establecen plantaciones forestales, actividad que si se realiza de forma planificada, permite el uso integral y aprovechamiento racional de los recursos. A su vez, estas proporcionan madera, protección al suelo, captación de carbono y estimulan la regeneración natural (Montagnini 2002).

Wadsworth (2000) citado por Ladrach (2010) hace mención de las condiciones variables que, inicialmente, rigieron para las plantaciones forestales establecidas; entre ellas, la utilización de mecanismos que permiten intercalar especies en claros de bosque natural, bajo su dosel y en grupos de árboles bajo el dosel. Con el tiempo, la reforestación se ha efectuado en áreas descubiertas, en las cuales, los árboles pueden gozar de un acceso total de luz y sin competencia de otra vegetación (Ladrach 2010).

Actualmente la reforestación en Costa Rica, en una proporción alta, se realiza en sistemas de plantaciones de monocultivos respondiendo a un modelo de negocio basado en la inversión extranjera, dejando a un lado tanto la interacción de las especies, según su gremio ecológico, como las plantaciones forestales con mezcla

de especies, siendo estas una buena alternativa para producir madera en forma escalonada a lo largo de un ciclo de corta variable.

Plantaciones forestales con mezcla de especies

En la naturaleza, los ecosistemas forestales tropicales se componen de mezclas de especies ubicadas en los diferentes estratos bajos, medios y altos (Lamprecht, 1990). La implementación de plantaciones forestales con mezcla de especies debe considerar la selección de especies, basado en su dinámica de crecimiento en altura y relativa tolerancia a la sombra, para asegurar que ninguna especie sea suprimida (Muñoz *et al.* 2006).

Las plantaciones con mezcla de especies, en comparación con las plantaciones puras, promueven la regeneración de una mayor diversidad de especies en el sotobosque, al crear una mayor variabilidad en el hábitat y un microclima que favorece a los dispersores y a la adaptabilidad de especies para la germinación y crecimiento (Alice *et al.* 2004).

Loewe y González (2004) citados por Muñoz *et al.* (2006) definen plantaciones con mezcla de especies como un cultivo simultáneo de dos o más especies en la misma superficie. Otra definición utilizada para las plantaciones con mezcla de especies es la mencionada por la FAO (1992). Esta indica que es “la combinación de árboles individuales, líneas o por pequeños bloques de diferentes especies, plantados de forma adyacente”.

Una de las ventajas de este sistema, según Alice *et al.* (2004), es que económicamente las plantaciones con mezcla de especies diversifican la producción y reducen los riesgos en mercados inestables, además de los riesgos potenciales de plagas.

La información silvicultural para el manejo de plantaciones forestales con mezcla de especies ha sido escasa, puesto que la mayor parte de la información desarrollada ha sido a partir del monocultivo de especies; las experiencias en plantaciones mixtas han sido pocas, sobre todo cuando se emplean especies nativas (Torres 2007).

Gremios ecológicos

El éxito de la regeneración de las diferentes especies depende de una serie de factores, entre los cuales están las condiciones microclimáticas y edáficas adecuadas para su desarrollo, la disponibilidad de semilla y requerimientos de luz en las diferentes etapas de su crecimiento (Lamprecht 1990).

Según Finegan (1993) y Finegan y Delgado (1997), citados por Louman *et al.* 2001, las especies vegetales pueden diferenciarse de acuerdo con su respuesta a la presencia de claros, en consecuencia, sobresalen especies mejor adaptadas para aprovechar la disponibilidad del recurso luz. Estos autores identifican tres grupos ecológicos:

Heliófitas efímeras

Especies que requieren un alto grado de luz para su establecimiento y desarrollo; su reproducción tiende a ser masiva y precoz; poseen alta capacidad para invadir terrenos desprotegidos o con poca vegetación y su vida es relativamente corta. Estas alcanzan la edad reproductiva a los 2 ó 4 años, fructifican continuamente y el tamaño de la semilla es relativamente pequeño. La gran eficiencia en la diseminación (aves, murciélagos y aire) de las semillas hace que se puedan encontrar en el bosque primario donde no hay árboles reproductivos de ese grupo.

Heliófitas durables

Especies intolerantes a la sombra, que requieren altos niveles de luz para crecer y reproducirse. Pueden establecerse bajo el dosel arbóreo pero requieren necesariamente de claros para desarrollarse. Su vida es relativamente larga. Sus semillas mantienen la viabilidad por menos tiempo que las heliófitas efímeras. Estas especies son comunes en el bosque primario y algunas de ellas pueden dominar la fase madura de este.

Esciófitas parciales

Especies que toleran la sombra, aunque la mayoría de ellas aumenta su crecimiento como reacción a la apertura del dosel. Su crecimiento es más lento que las heliófitas, con mayor esfuerzo asignado a la producción de estructuras permanentes que favorezcan una vida larga de individuos. Sus semillas y plántulas generalmente son de tamaño mediano a grande.

Desde esta concepción, más que gremios de especies se observa un continuo de especies, cada una respondiendo al estímulo de la radiación directa en diferentes momentos de su desarrollo (Salazar 2001). Es así como la dinámica de establecimiento, sobrevivencia y desarrollo de cada especie está íntimamente relacionado con la disponibilidad de energía radiante; además de otros recursos como el agua, minerales y de la eficiencia en el uso de los mismos (Lamprecht 1990).

Descripción de especies forestales

Las diferentes especies de las plantaciones arbóreas generan condiciones distintas de sombra y acumulación de hojarasca, determinantes de la abundancia de individuos reclutados y sobrevivientes. La selección de las especies promotoras de la restauración del bosque influirá en el porcentaje de individuos que permanecerán en cada etapa de la regeneración (Montagnini 2006).

A continuación se realiza una descripción general de las especies utilizadas en el proyecto de reforestación de la empresa Puro Verde Paraíso Forestal S.A. Estas fueron seleccionadas por ser endémicas de la zona, porque su madera tiene un alto valor en el mercado nacional e internacional, por su diversidad de usos y ciclos de corta relativamente cortos, no mayores a 30 años (en el caso de las esciófitas y heliófitas durables) y por ser especies con un potencial de crecimiento en el mercado nacional, gracias a la escasez de madera para construcción como la del cebo (heliófitas efímeras).

Especies forestales utilizadas:

***Tectona grandis* L. (Teca)**

Descripción de la especie

Esta es una especie de gran porte, de hasta 40 m de altura y de 1,5 m de diámetro, de fuste recto, cilíndrico y limpio. Corteza gruesa, gris o pardo grisácea, fibrosa y fisurada (Arguedas y Torres 1995).

Distribución y parámetros ambientales

Según Chaves y Fonseca (1991), “la teca es originaria de Birmania, Tailandia y algunas partes de la India. Se ha identificado a Trinidad y Tobago como el primer país del continente americano donde fue introducida la especie; de ahí, fue introducida a otros países”.

La temperatura promedio anual en el área de distribución natural es de 22 a 28 °C. En América Central se ha cultivado en lugares con temperaturas que varían entre los 22 y 28 °C. La precipitación óptima está en un rango de 1500 mm a 2000 mm anuales y es posible encontrarla desde el nivel del mar hasta los 900 msnm (Arguedas y Torres 1995).

Usos

Esta especie produce madera para aserrío de alta calidad y los residuos son utilizados como leña. Es muy utilizada como cercas vivas o plantaciones en línea.

***Dipteryx panamensis* (Pittier) Record & Mell. C (Almendro)**

Descripción de la especie

Especie de altura mediana a grande con hojas imparipinnadas alternas, oblongas y generalmente coriáceas, fuste relativamente liso, con raíces basales grandes pero carente de gambas (Carpio 1992).

Flores (1992) mencionado por Carpio (1992) describe que el almendro crece bien en suelos aluviales, arenosos, franco-arcillosos, ácidos en planicies muy húmedas o en laderas con pendiente muy moderada.

Distribución y parámetros ambientales

Según Chaves (2001), “la distribución del almendro no es muy amplia, se encuentra en la costa atlántica del sur de Nicaragua, en la de Costa Rica, en la de Panamá y en la de Colombia, en elevaciones bajas que no superan los 900 metros, aunque algunos autores lo reportan hasta en los 1.300 metros, en sitios de alta precipitación, de entre 3.500 mm y 5.000 mm, con temperaturas promedio entre 25 °C y 31 °C”.

Usos

La madera de esta especie es utilizada para realizar cajas, trabajos interiores, construcción interior, muebles y paneles (Carpio 1992).

***Vochysia guatemalensis* J.D. Smith. (Cebo)**

Descripción de la especie

Especie siempre verde, mediano a grande que alcanza hasta 30 m de altura y 80 cm de diámetro. El fuste es recto y cilíndrico, raramente bifurcado y con base cónica y alargada. Corteza lisa de color gris a blanco. Tiene copa estratificada con ramas angulares (Arguedas y Torres 1995).

Distribución y parámetros ambientales

Naturalmente esta especie se distribuye desde el Golfo de México hasta Panamá. En Costa Rica se encuentra en toda la Región Huétar Norte, Zona Atlántica, Zona Sur del país, Valle del General y Península de Osa (Arguedas y Torres 1995).

Crece en lugares con temperaturas que oscilan entre los 20 °C y los 30 °C, con precipitaciones que van desde los 300 mm hasta 5500 mm y desde los 100 msnm hasta los 900 msnm (Arguedas y Torres 1995).

Usos

La especie puede ser usada como sombra u ornamentación y protección de suelos. Su madera puede ser utilizada para postes, carpintería, muebles y contra chapados (Arguedas y Torres 1995).

***Hieronyma alchorneoides* Allemao. (Pilón)**

Descripción de la especie

Es un árbol de hasta 45 m de altura y 1,2 m de diámetro, con fuste cilíndrico y gambas bien desarrolladas. La corteza externa es pardo-rojiza y la corteza interna rosada. Presenta hojas simples, alternas con estípula grande al final de las ramitas. Las hojas viejas se tornan rojizas-anaranjadas (Arguedas y Torres 1995).

Distribución y parámetros ambientales

En Costa Rica, se encuentra distribuida en la zona atlántica y sur del país (Arguedas y Torres, 1995). Sitios con temperaturas de 24°C a 30°C, con precipitaciones entre los 3500 mm y 5000 mm, en altitudes entre los 20 y los 900 msnm, son aptos para la especie (Arguedas y Torres 1995).

Usos

La madera es utilizada en construcción pesada, estructuras para puentes, postes barriles, durmientes para vías de ferrocarril y ebanistería (Barraza y Diaz 1999).

***Virola koschnyi* Warb. (Fruta dorada)**

Descripción de la especie

Este árbol alcanza hasta 45 m de altura y 90 cm de diámetro, tiene fuste recto cilíndrico con lenticelas blancas alargadas evidentes en la base del fuste. Las gambas son medianamente desarrolladas, la corteza externa es pardo-rojiza y la interna blanco-rojiza (Sevilla 1996).

Distribución y parámetros ambientales

Esta especie se distribuye en Costa Rica en la zona norte y se considera abundante (Sevilla, 1996). Sitios con temperaturas de 21 a 24 °C, con precipitaciones entre los 2000 mm y 5000 mm y en altitudes entre los 0 y 600 msnm (Barraza y Díaz 1999).

Usos

La madera es utilizada básicamente como madera rolliza o para contrachapado (Zamora 2000).

***Terminalia oblonga* Ruiz.y Pav. (Surá)**

Descripción de la especie

Árbol de 25 a 45 metros de altura, con ramas de color pardo pálido, típicamente simpodiales, hojas simples alternas. Se reconoce por su tronco liso de color blancuzco, con la corteza exfoliada, similar al guayabo (*Psidium guayaba*) y con gambas bien desarrolladas (Zamora 2000).

Distribución y parámetros ambientales

En Costa Rica, esta especie se encuentra en la zona norte y se extiende desde Upala hasta Sarapiquí (Blanco *et al.* 2005). En sitios con temperaturas de 21 a 30 °C, con precipitaciones entre los 1500 mm y 4000 mm y en altitudes entre los 0 y 900 msnm (Zamora 2000).

Usos

La madera tiene excelentes propiedades y se emplea para pisos, paredes, techos, puertas, muebles o construcciones pesadas (Zamora 2000).

***Hymenaea courbaril* L. (Guapinol)**

Descripción de la especie

Es una especie grande de 25 a 35 m de altura, fuste generalmente libre de ramas, corteza gris y esencialmente lisa (Quesada 2003).

Distribución y parámetros ambientales

Se extiende desde México hasta Paraguay incluyendo las Antillas, también se localiza al este de África y Asia. En Costa Rica es típica en ambas vertientes y ampliamente distribuido en el Valle Central, en elevaciones de 0 a 1400 msnm, con climas húmedos a muy húmedo, precipitaciones de 800 a 4000 mm y temperaturas desde los 20 °C hasta los 30°C. (Holdridge *et al.* 1997, citado por Quesada 2003).

Usos

La madera de esta especie es utilizada para producir implementos agrícolas, construcción de botes y barcos, carpintería en general, construcción pesada, ebanistería, postes, mangos de herramientas y tornería (Carpio 1992).

***Minquartia guianensis* Aublet. (Manú)**

Descripción de la especie

Especie de hasta 40 m de altura y 90 cm de diámetro, copa redondeada con ramas un poco péndulas, fuste medianamente cilíndrico, gambas pequeñas, corteza lisa a levemente fisurada color pardo claro (Jiménez 1995).

Distribución y parámetros ambientales

En Costa Rica, se conoce en la zona norte (San Carlos y Sarapiquí), Zona Atlántica (Guápiles, Siquirres, Limón), es más escasa en la zona sur (Fila Chonta de Parrita, Golfito y Península de Osa) (Jiménez 1995).

Crece en formaciones de bosque muy húmedo siempre verde de tierras bajas, elevaciones inferiores a los 1000 msnm, en sitios con topografía plano ondulada con pendientes entre 20 – 40% y una precipitación mayor a los 3500 mm anuales y temperaturas entre 25 y 35°C.(Jiménez 1995).

Usos

Según Creemers y Lemckert (1981) citados por Jiménez (1995), la madera de manú es excesivamente pesada y durable, con un peso específico de 0.91, albura amarilla y duramen pardo oscuro. Van der Slooten (1971) citado por Jiménez (1995) menciona que esta madera presenta dificultades de secado, es difícil de trabajar y es utilizada en construcciones de postes, traviesas de ferrocarril, puentes y construcciones marinas.

***Capara nicaraguensis* C. DC. (Caobilla)**

Descripción de la especie

Especie de tamaño grande, con gambas gruesas, la corteza es grisácea. Las hojas son compuestas, alternas, sin glándulas, grandes y de textura coriácea (Carpio 1992).

Distribución y parámetros ambientales

Se distribuye en las regiones subtropicales de América Central, la parte norte de América del Sur hasta Perú. En Costa Rica, se localiza en elevaciones bajas con climas húmedos o muy húmedos (Carpio 1992).

Esta especie se desarrolla desde los 0 msnm hasta los 800 msnm, en áreas con temperaturas promedio anuales de 20 a 35°C y precipitaciones promedio anuales de 1900 a 3500 mm (Carpio 1992).

Usos

La madera es utilizada en la fabricación de herramienta para la agricultura, adornos, acabados, carpintería y construcción en general, muebles; además es buena para la fabricación de pulpa para papel (Carpio 1992).

***Swietenia macrophylla* King. (Caoba)**

Descripción de la especie

Árbol de 7 a 40 m de altura, con ramas de color pardo oscuro y hojas paripinnadas alternas con 3 a 6 pares de folios (Zamora 2000). Se caracteriza por el follaje de color verde lustroso, hojas agrupadas hacia el ápice de las ramas, los folios claramente asimétricos en la base y los frutos grandes y leñosos.

Distribución y parámetros ambientales

En Costa Rica, se encuentra en la provincia de Guanacaste, Pacífico Central y Los Chiles pero plantada en varias regiones del país (Barwick 2004). Crece en sitios con temperaturas de 24 a 32 °C, con precipitaciones entre los 1500 mm y 3500 mm y en altitudes entre los 0 y 1000 msnm (Zamora 2000).

Usos

Se considera una de las especies finas de más demanda a nivel mundial por las excelentes propiedades de la madera, utilizada en paredes, techos, puertas, pisos y artículos de ebanistería (Zamora 2000).

Metodología

Descripción del área de estudio

La empresa Puro Verde Paraíso Forestal se estableció en Costa Rica en el año 2007 y se dedica al establecimiento, mantenimiento y aprovechamiento de plantaciones forestales.

En el año 2010, la empresa se expande a la zona de Sarapiquí cuando adquiere una finca de 349,83 ha en la comunidad de San Ramón de la Virgen, con el propósito de reforestar con un sistema de mezcla de especies forestales nativas y exóticas.

Esta propiedad ubicada en la comunidad de La Virgen sirve como modelo de plantación para la compañía Puro Verde Paraíso Forestal S.A., al considerar la producción de madera a pequeño, mediano y largo plazo, una cobertura forestal permanente, la mayor cantidad de área reforestada, la interacción entre las especies que procure su mayor tasa de crecimiento y la ocupación del área basada en la combinación de especies con diferentes necesidades lumínicas, edáficas y de manejo.

Ubicación geográfica

La finca San Ramón se encuentra ubicada en el caserío de San Ramón, distrito La Virgen, cantón de Sarapiquí, en la provincia de Heredia, localizada entre las coordenadas verticales 485628,6 a 487954,1 y las coordenadas horizontales 1141217 a 1143988, en medio de las Hojas Cartográficas de Río Cuarto y Poas número: 3347 II y 3346 I respectivamente.

Clima

De acuerdo con los datos adquiridos en la Estación Biológica La Selva, la temperatura media anual es de 24,3°C, con un rango de oscilación de 30 a 18,2°C. La precipitación media anual es de 3 777mm. Presenta una estación lluviosa de mayo a enero, extendiéndose a febrero en algunas ocasiones, la estación seca de marzo a mayo, con precipitaciones esporádicas ocasionadas por los frentes fríos del norte (Hernández 2010).

Condiciones topográficas

Se ubica entre 407 y 533 metros sobre el nivel del mar. Por su paisaje el relieve de la finca presenta condiciones moderadas, con rangos de inclinación que varían entre 10 y 25% (ondulados) pero con presencia de zonas con pendientes que alcanzan el 50%.

La finca cuenta con una red hídrica abundante ya que tiene 3 nacientes declaradas que abastecen de agua potable a las comunidades de La Virgen, San Ramón y Chilamate. Estos causes de agua cruzan la finca de sur a norte y cada uno se divide en varios segmentos aumentando el área de protección de la finca.

El río San Ramoncito atraviesa una pequeña parte de la finca ubicada en el sector norte de la propiedad.

Suelos

Los suelos son de origen volcánico. Las formaciones del terreno que conforman el área fueron creadas primariamente por fluidos de lava, los cuales, por medio del clima caliente, alta precipitación y el trayecto del agua, dieron forma a cerros bajos de formación irregular (Molina 2010).

Se realizó un estudio de suelos para determinar sus características físicas y químicas; las muestras fueron analizadas por el laboratorio de la empresa AGROTEC. Los resultados de los análisis determinaron que estos suelos presentan problemas serios de acidez, pH fuertemente ácido y niveles deficientes de calcio, magnesio y potasio; así como deficiencia de fósforo y zinc (Barquero 2010).

Estos suelos clasifican como Acrudoxic Hapludands, lo que significa que son suelos volcánicos típicos, profundos, con contenidos bajos de calcio, magnesio y potasio, es decir, son de baja fertilidad (Barquero 2010). Asimismo, son poco comunes en nuestro país, presentan características muy particulares como la baja fertilidad que los distinguen de otros suelos volcánicos similares. Además presentan buenas características físicas, texturas livianas, buenos drenajes naturales, profundos, friables y bien estructurados (Barquero 2010).

Son suelos de color negro a pardo oscuro en la superficie, con profundidad efectiva muy alta (> 120 cm), condición muy favorable para el crecimiento de especies forestales. El drenaje es muy bueno, no hay evidencia de moteos ni de capas impermeables (Barquero 2010).

Uso anterior del suelo

La finca San Ramón ha sido tradicionalmente utilizada para la ganadería extensiva. En las 234,94 ha de repasto que tiene la propiedad se manejaban alrededor de 250 cabezas de ganado.

Elaboración de mapas

La realización de mapas es una herramienta que, durante la etapa previa a la plantación, ayuda a seleccionar los sitios por plantar y las especies óptimas; además de cuantificar y mostrar gráficamente los lotes establecidos una vez finalizada la etapa de plantación.

Mapa de área efectiva

Este mapa se realizó previo al establecimiento de la plantación, sirvió tanto para la ubicación y cálculo del área por plantar, como para delimitar las zonas de protección, caminos, repastos e infraestructura. Este mapa se realizó con la ayuda de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, siglas en inglés) marca Garmin, modelo Oregon 550.

Los datos tomados con el GPS fueron analizados, clasificados y exportados a formato Shape, con la ayuda del programa Touratech versión 3.2.

Una vez exportados los datos a formato Shape se utilizó el programa Arc Gis 10 para la realización del mapa, el cual es la base para la planificación del establecimiento de la plantación. La Figura 1 muestra el mapa de área efectiva generado.

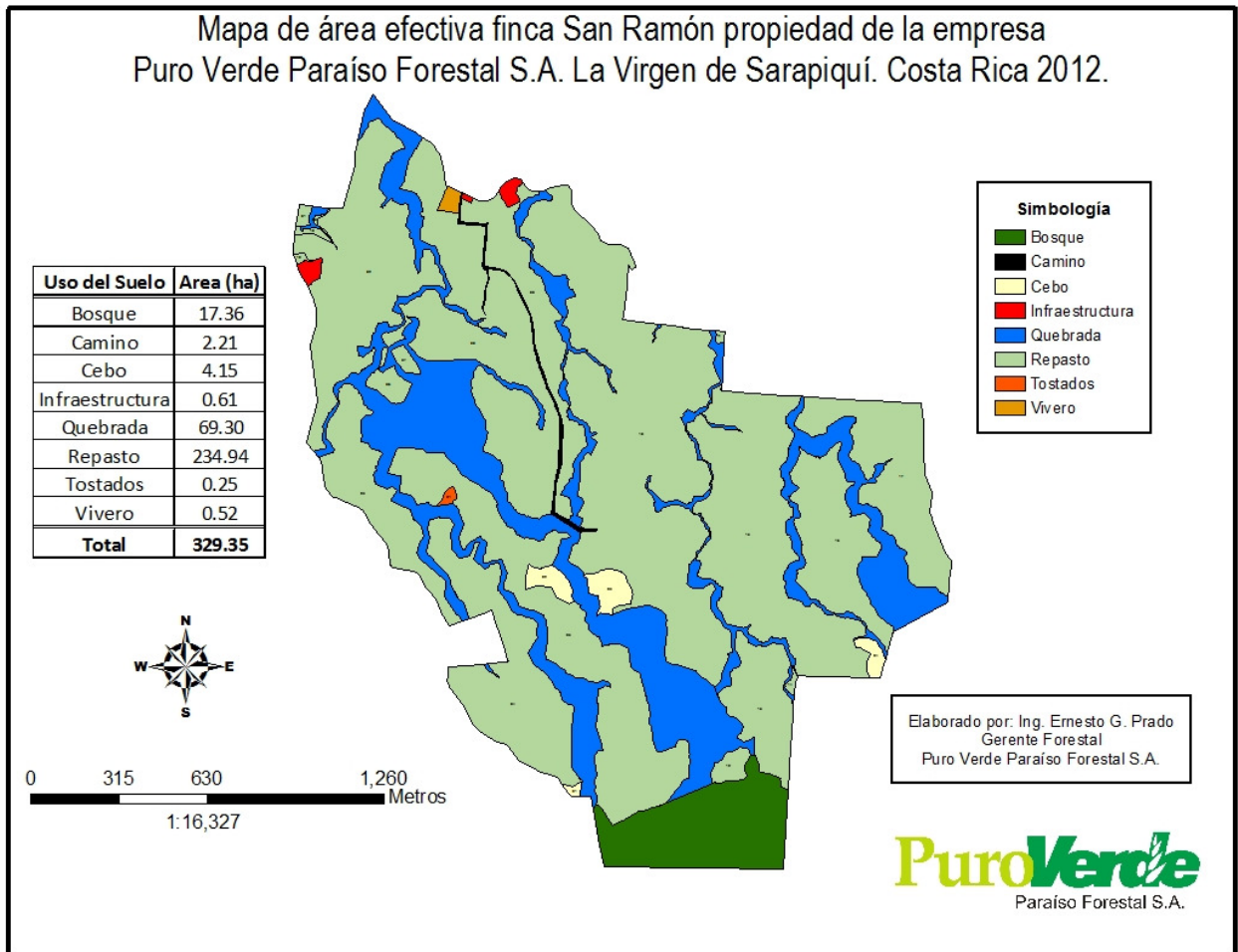


Figura 1. Mapa de área efectiva para el Proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Mapa de pendientes

Se realizó un mapa de pendientes en donde se clasificaron las zonas de repasto en tres clases de sitio por pendiente:

- Sitios planos: Sitios con porcentajes de pendientes que oscilan entre 0% y el 8%.
- Sitios moderados: Sitios con porcentajes de pendiente que oscilan entre el 8% y 20%.
- Sitios ondulados: Sitios con porcentajes de pendientes mayores a 20%.

Este mapa fue realizado con el programa Arc Gis 10 y con la ayuda de la extensión Spatial analyst (Figura 2).

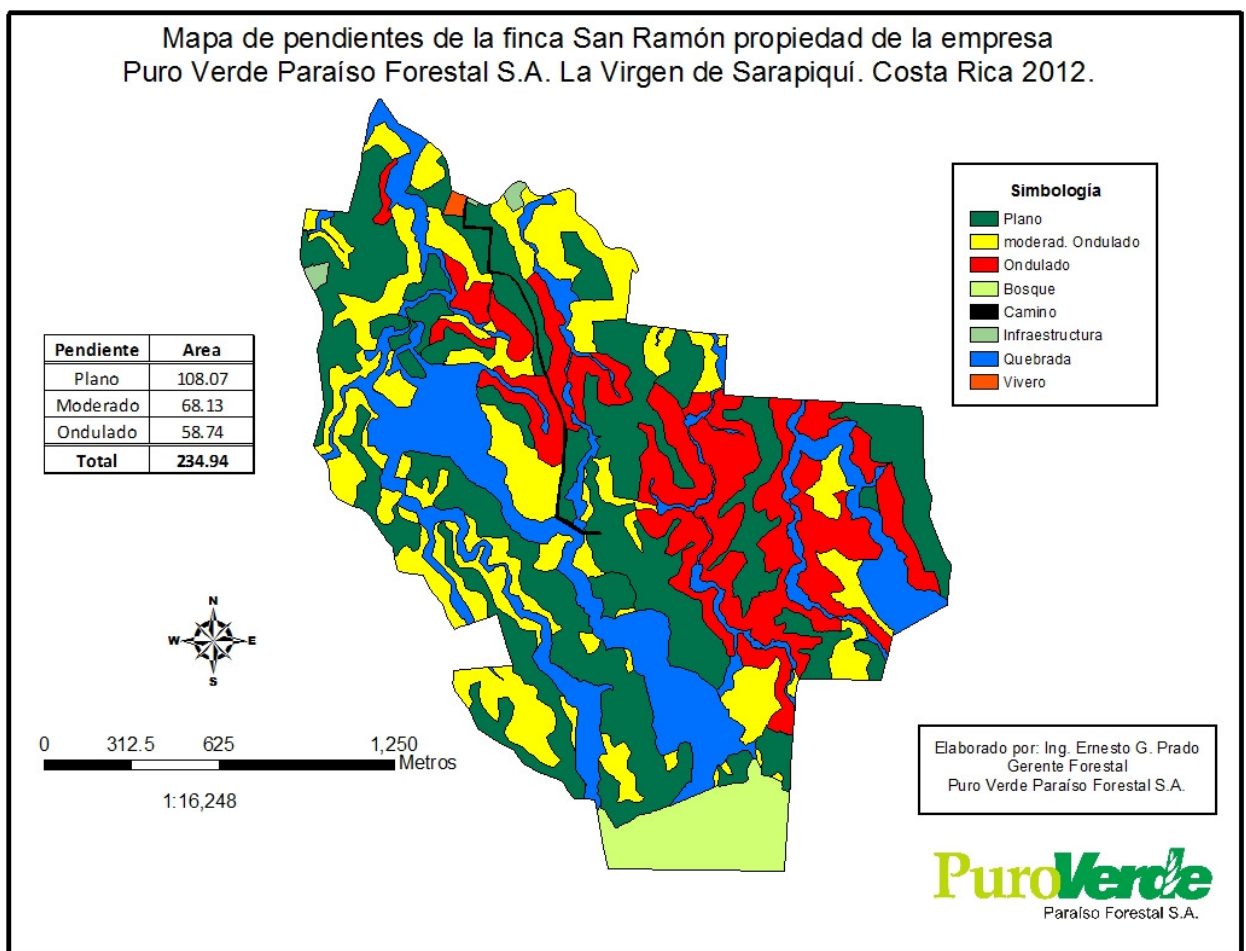


Figura 2. Mapa de pendiente para el Proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Con los mapas de área efectiva y pendiente, los estudios de suelo y los datos de clima de la zona, se realizó una selección de las especies por utilizar en el establecimiento de la plantación.

Mapa de uso del suelo

Una vez finalizado el establecimiento de la plantación se realizó el mapa de uso del suelo, en el cual se muestran los lotes plantados con cada una de las especies seleccionadas, caminos, zonas de protección, ríos e infraestructura.

Este mapa se realizó con la ayuda de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, siglas en inglés) marca Garmin, modelo Montana 650 y con el Software Arc Gis 10 (Figura 3).

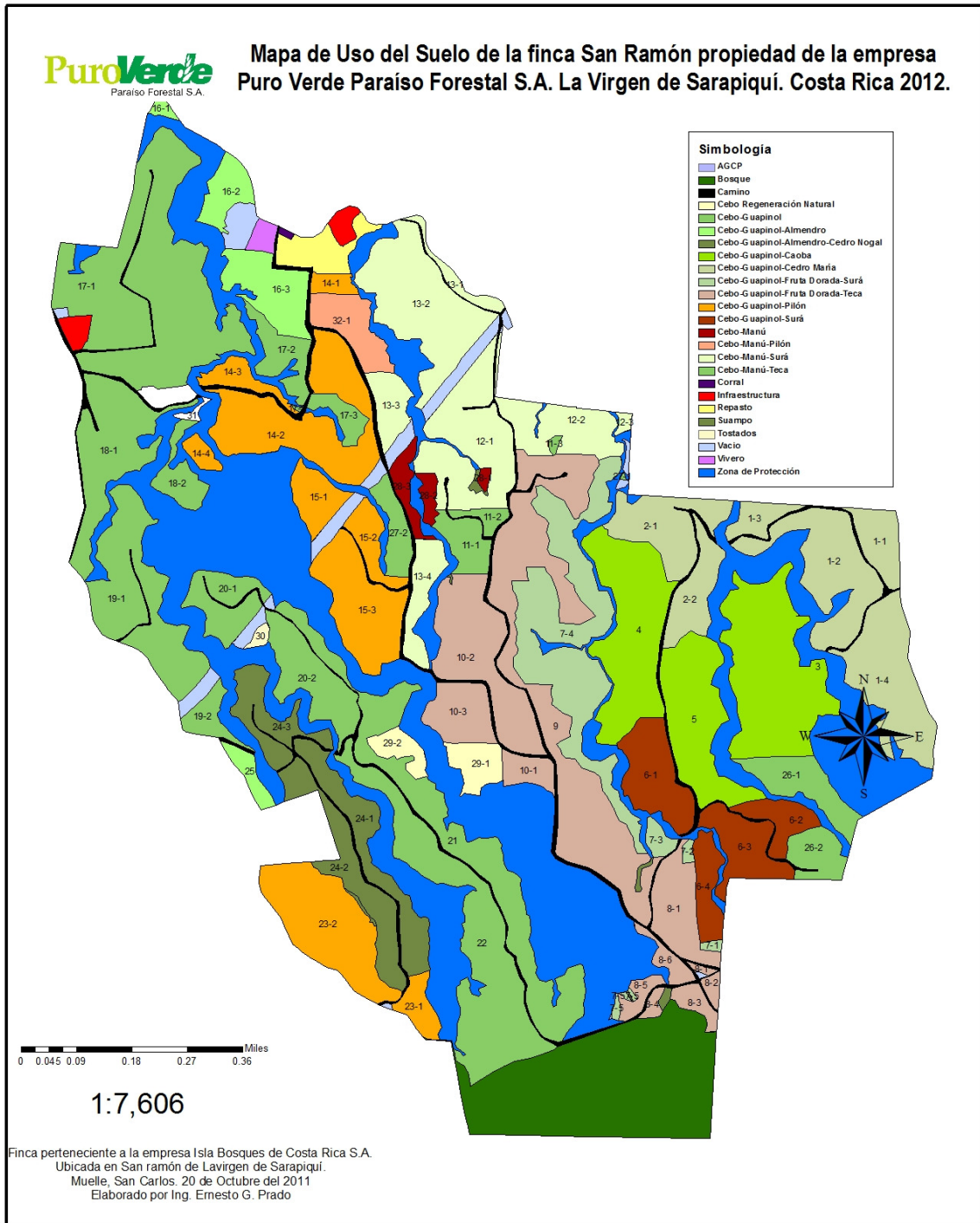


Figura 3. Mapa de uso del suelo para el Proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Selección de las especies

La selección de las especies utilizadas en el proyecto de reforestación, se realizó considerando las necesidades ambientales, topográficas y edafológicas de cada una de las especies; adicionalmente, se determinó cuáles de las especies nativas preseleccionadas se encuentran normalmente en la zona de Sarapiquí y, en el caso de las especies exóticas, se valoró la probabilidad de adaptación al sitio.

Las especies nativas seleccionadas fueron: *Dipteryx panamensis* (almendro), *Vochysia guatemalensis* (cebo), *Terminalia oblonga* (surá), *Minquartia guianensis* (manú), *Hieronyma alchorneoides* (pilón), *Hymenaea courbaril* (guapinol), *Carapa nicaraguensis* Aubl. (caobilla).

La especie exótica seleccionada fue *Tectona grandis* (teca).

La especie cebo fue seleccionada por su rápido crecimiento. Esto permitirá que actúe como una especie colonizadora que pronto cerrará el dosel, asegurando las condiciones del sitio para las especies manú, fruta dorada y guapinol.

Al poseer un rápido crecimiento, los ciclos de rotación se reducen a 10 años. Con esto se puede garantizar un ingreso económico importante, cada década, si se sigue plantando una vez que es cortada.

Además es una especie cuya madera tiene un potencial importante en el mercado de la construcción (formaleta, marcos de ventana y puertas, etc.) por lo que la tendencia, cada vez mayor, es la de suplir el mercado con madera proveniente de plantaciones.

Las especies surá, pilón, almendro, caoba y teca son especies con crecimiento menor al cebo cuyo ciclo de corta es de 20 años. Su madera posee un valor alto en el mercado nacional e internacional.

Las especies maderables más valiosas y con menor crecimiento son el manú, fruta dorada y el guapinol. Estas tendrán un ciclo de corta de 30 años; pero, en el futuro, cuando la madera de bosque natural esté totalmente agotada, estas especies en plantación tendrán un mercado asegurado.

Gremio ecológico

Una vez seleccionadas las especies se procedió a clasificarlas, según el gremio ecológico al que pertenecen. La clasificación utilizada fue la propuesta por Finegan (1993) y Finegan y Delgado (1997), citados por Louman *et al.* 2001. Las especies que conforman los tres gremios ecológicos se pueden observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Especies seleccionadas y clasificadas según su gremio ecológico para la plantación con mezcla de especies, La Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Gremio			
ecológico	Heliófitas efímeras	Heliófitas durables	Esciófitas
Especie	<i>Vochysia guatemalensis</i>	<i>Tectona grandis</i>	<i>Hymenaea courbaril</i>
		<i>Dipteryx panamensis</i>	<i>Minuartia guinensis</i>
		<i>Hieronyma alchorneoides</i>	<i>Virola koschnyi</i>
		<i>Terminalia oblonga</i>	
		<i>Sweitenia macrophyla</i>	
		<i>Carapa nicaraguensis</i>	

La especie *Vochysia guatemalensis* pertenece al grupo de las heliófitas durables; pero, para efectos de esta propuesta, se clasificó como heliófita efímera por presentar el crecimiento más rápido (8-10 años), esto con el fin de diferenciarla de

las demás especies (teca, almendro, pilón, surá, caoba y caobilla) cuyo crecimiento es más lento (18-20 años).

La especie *Carapa nicaraguensis*, aunque se incluye en la lista de especies y se clasifica por gremio ecológico, fue destinada a la recuperación de zonas de protección y zonas sin cobertura forestal cercanas a quebradas, así como en sitios con mal drenaje o inundados de uso no maderable.

Diseño de plantación

El diseño de la plantación consideró el gremio ecológico al que pertenece cada especie para luego determinar la posición de este en el esquema de plantación.

El diseño utilizado fue el “tresbolillo” o “pata de gallo”. Se implementaron dos tipos de distanciamiento: 4x4 m entre las especies heliófitas (efímeras y durables) y 4x2 m entre las especies heliófitas y esciófitas. Con este diseño se plantaron 825 árboles por hectárea de los cuales 200 pertenecen al gremio de las especies esciófitas, 225 al gremio de las heliófitas durables y 400 árboles por hectárea son del gremio de las especies heliófitas efímeras. En la Figura 1 se observa el diseño de plantación propuesto para el establecimiento.

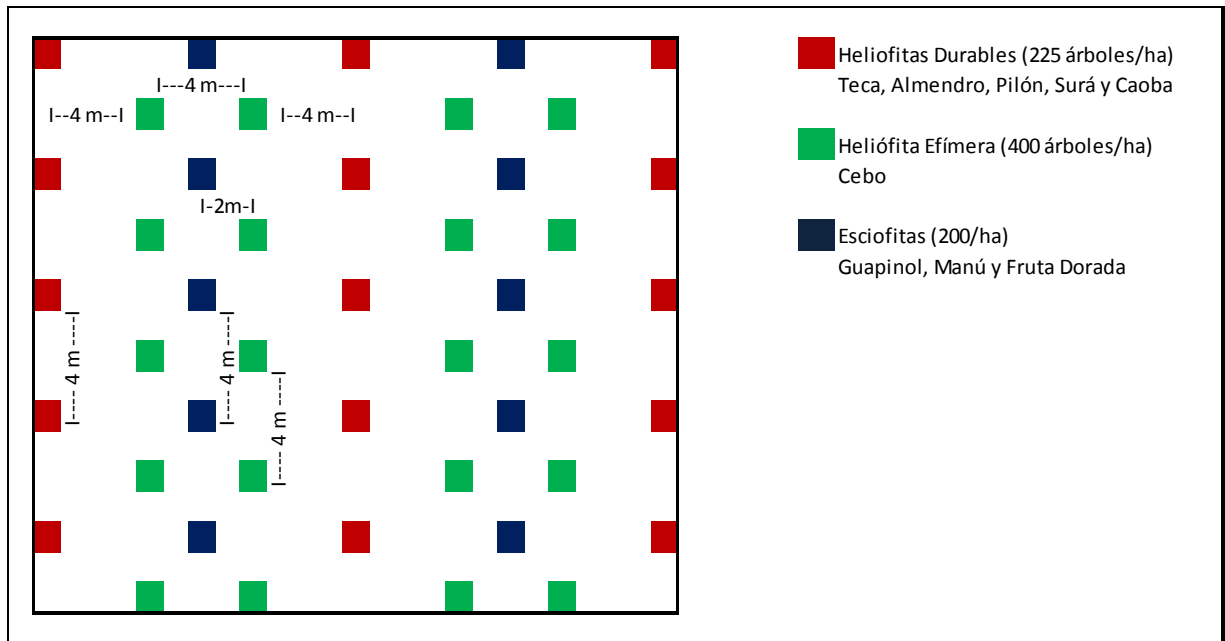


Figura 4. Diseño utilizado en el establecimiento de la plantación con mezcla de especies, en San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, 2012.

Entre las filas de las especies heliófitas (efímeras y durables) existe una distancia de 4 m, igual distancia hay entre los árboles de cada fila. Entre las filas de las heliófitas efímeras y las esciófitas, existe una distancia de 2 m y entre los árboles de cada fila hay una distancia de 4 m.

Cada árbol que pertenece al grupo de las esciófitas se encuentra en medio de cuatro árboles del grupo de las heliófitas efímeras. De tal manera, cuando estas últimas cierran el dosel, las esciófitas se encontrarán rápidamente bajo sombra.

Mezcla de especies

La combinación de las especies se realizó usando como base la topografía del terreno, por ser este un factor que influye en su crecimiento. En las partes planas (0% a 8% de pendiente) la combinación es: (teca, surá, almendro, pilón o caoba), cebo y (manú o fruta dorada), en las partes moderadamente onduladas (8% - 25% de pendiente) la combinación es: (almendro, surá o pilón), cebo y (manú, guapinol o fruta dorada) y en las partes con pendientes mayores a 25% (onduladas) la combinación es: cebo y guapinol.

Esta clasificación se debe a que algunas especies crecen favorablemente en áreas planas y no toleran la pendiente (teca y caoba) y otras crecen bien en las áreas planas y moderadamente onduladas como el caso del almendro, el pilón y el surá pero no toleran la alta pendiente como si lo hacen el cebo y el guapinol.

En los sitios que poseen pendiente moderada y pendiente ondulada la erosión es alta. Esto provoca la pérdida de la capa fértil por lo que son sitios en los que las especies que demandan suelos fértiles no pueden crecer adecuadamente.

Las últimas tres filas del marcaje del terreno que se encuentran contiguas a las quebradas sin zonas de protección, fueron sembradas con las especies *Carapa guianensis* con el propósito de regenerar la zona de protección y con esto proteger el recurso hídrico.

Monitoreo silvicultural

Con el fin de cuantificar el crecimiento experimentado en el primer año por cada uno de los gremios establecidos y realizar una comparación entre ellos, se llevó a cabo un inventario forestal con una intensidad de muestreo del 2,5%. Para la implementación de este inventario se utilizaron parcelas temporales de medición (PTM) de 500 m².

La principal variable por evaluar fue la altura total del árbol, por ser la que mejor describe la interacción de las especies, según su gremio ecológico. Asimismo, se midió el diámetro a la altura de pecho (d) a 1,30 m del suelo a los árboles que sobrepasaron esta altura. Las variables calidad y mortalidad también fueron evaluadas.

La calidad del árbol fue evaluada con base en la metodología propuesta por Murillo y Camacho (1997). Esta indica que la calidad del árbol es producto de la combinación de valores obtenidos en la evaluación de cuatro criterios principalmente: inclinación del árbol, bifurcación, daño mecánico y estado fitosanitario.

Inclinación

Esta es el ángulo que tiene el plantón con respecto a un eje vertical imaginario que no debe superar los 30° y debe tomarse todo el eje completo y no solo el ápice o la sección terminal. Esta variable se califica con un 1 si el plantón está recto, es decir, con un ángulo de inclinación igual o inferior a 30° y con un 2 si el plantón está inclinado con un ángulo superior a 30° (Murillo y Camacho 1997).

Bifurcación en los primeros 2,5 m del fuste

Esta variable es, en la mayoría de los casos, un claro ejemplo de la mala calidad de la semilla utilizada. Además es una característica con una alta heredabilidad. Por otra parte, existen causas silviculturales como el mal manejo en el vivero, transporte, siembra, etc, por las cuales los plantones podrían perder su eje dominante. Este material totalmente indeseable para fines comerciales, se califica con un 1 si el plantón no está bifurcado y con un 2 si presenta bifurcación (Murillo y Camacho 1997).

Daño mecánico

Se registra aquí cualquier anomalía que se detecte en los árboles producto de malas prácticas silviculturales, por ejemplo, pérdida o daño del eje dominante; deshojado o con ramas quebradas en más de 50%, con heridas en el tallo o cualquier otro daño que produzca en el futuro una bifurcación, muerte o pérdida considerable del crecimiento, o lo exponga a plagas y enfermedades. Esta variable se registra de acuerdo con los siguientes criterios: 1 = sin daños visibles y 2 = con algún daño (Murillo y Camacho 1997).

Estado fitosanitario

Se registra la presencia de cualquier problema fitosanitario como exudados, perforaciones, manchas severas, herrumbres o cualquier otra manifestación. Se debe registrar la incidencia y severidad del problema fitosanitario, bajo tres categorías a saber: 1 = sano: plantón sin evidencia de problemas y con buena nutrición aparente, 2 = aceptablemente sano: plantón con alguna evidencia de problemas fitosanitarios siempre y cuando no se presente en más de un 50% del follaje, que no le haya provocado heridas severas o se encuentre bajo una alta probabilidad de muerte y 3 = Enfermo: son aquellos plantones con características de

sanidad que afectan el desarrollo normal del mismo. Por ejemplo, pérdida del eje dominante, pérdida del follaje u otros daños visibles en más del 50% del plantón, caídas de ramas, chancros o pudriciones en el tallo, herrumbre, etc. (Murillo y Camacho 1997).

Variable calidad

Esta es una variable general que integra todas las demás variables específicas mencionadas, cuya finalidad es simplemente obtener una designación global sobre el estado de la calidad del plantón, de manera que permita, luego, con los datos de otras parcelas, estimar el estado de la calidad de la plantación en su totalidad. Se asigna un 1 = excelente: para aquellos plantones cuyas calificaciones han sido absolutamente de 1 en todas las otras variables específicas, 2 = Aceptable: son todos aquellos plantones que han recibido 1 o 2 veces una calificación de 2 en alguna de las variables anteriores, 3 = Regular: son todos aquellos plantones que han recibido más de dos veces una calificación de 2, y 4= Mala: son todos los plantones muertos, pero, que aún permanecen en pie y, finalmente, los que han recibido una calificación de 3 en la variable específica de estado fitosanitario (Murillo y Camacho 1997).

La variable mortalidad se calificó con un 1 si el árbol estaba vivo y con un 2 si estaba muerto o ausente.

Procedimiento para el establecimiento de las parcelas de muestreo

1. Con base en el mapa de pendientes se generaron tres estratos:
 - a. Ondulado (pendiente >20%)
 - b. Moderado (pendiente entre 8% - 20%)
 - c. Plano (pendiente entre 0% - 8%)
2. Una vez generados los estratos, se calculó el área de cada uno para establecer el 2,5% y así calcular el número de parcelas por establecer en cada uno.
3. Al proyecto se le asignó una malla de puntos, la cual cubre toda el área por muestrear. Estos puntos se encuentran a una distancia de 17,85 m uno de otro y están respectivamente enumerados.
4. La red de PTM se asignó bajo un diseño estadístico de muestreo aleatorio, utilizando como base la malla de puntos en cada proyecto. El tamaño de la muestra (número de parcelas) se estableció en función de la intensidad de muestreo, cuyo valor está definido en un 2,5 %.
5. Primero se escoge con cuál estrato iniciar, se procede a generar números aleatorios con una calculadora, y, luego, se asigna la ubicación de la parcela en la malla, según corresponda (número generado).

En las zonas calificadas como onduladas, no se montaron PTM debido a que en estas áreas no se plantaron las especies pertenecientes al gremio de las heliófitas durables, ya que ninguna de las especies utilizadas se adapta a esta condición de sitio. El estrato ondulado quedó por fuera del estudio al no tener plantado los tres gremios completos. En la Figura 4 se muestra el mapa con la ubicación de parcelas.

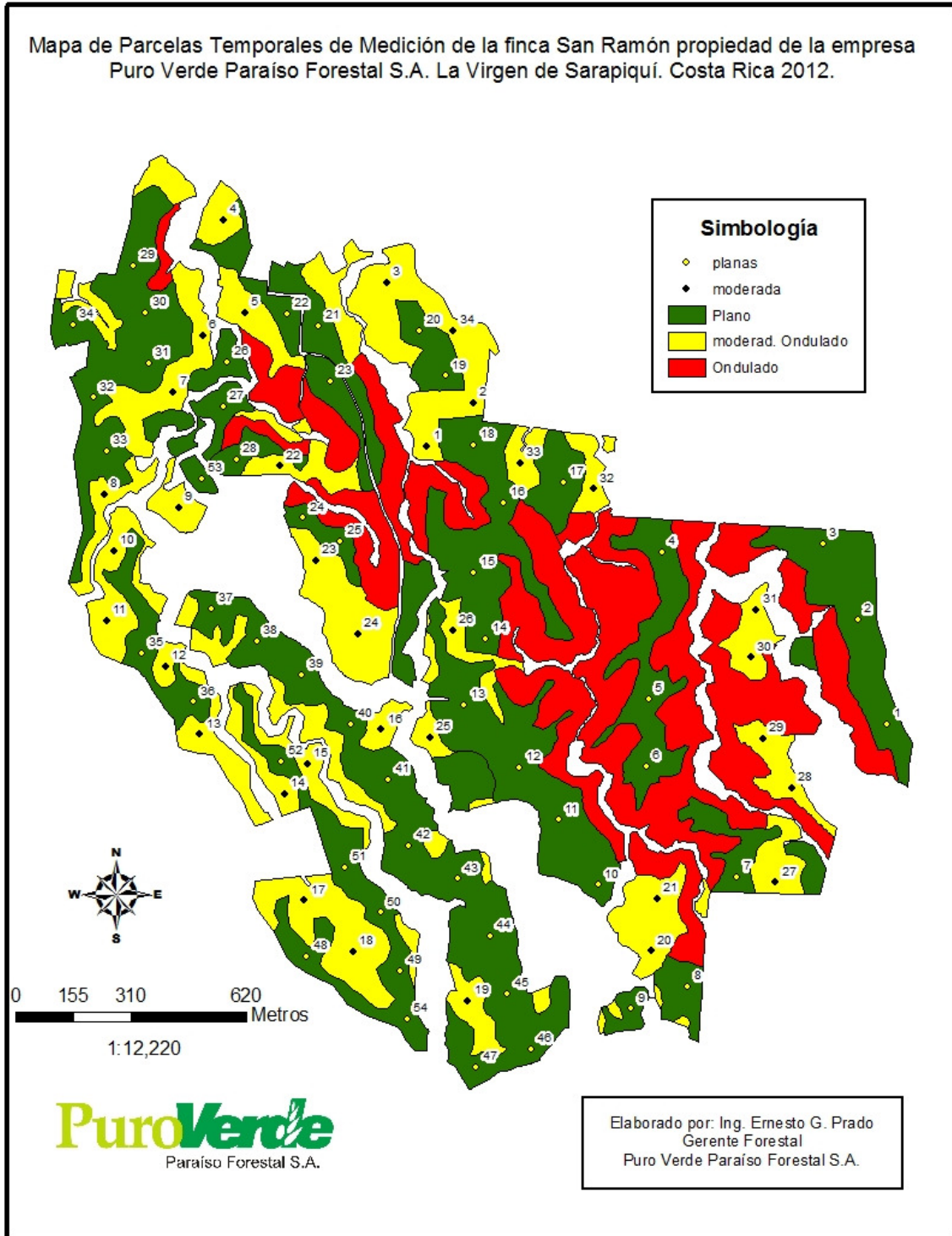


Figura 5. Mapa con la ubicación de parcelas para el Proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Análisis de datos

Crecimiento en altura

Los resultados obtenidos por pendiente y gremio ecológico fueron sometidos a pruebas estadísticas mediante un arreglo factorial de dos factores (pendiente) y tres niveles (gremios ecológicos); y pruebas de Tukey con una alfa de 0,05 en el programa STATISTICA versión 8 (2007).

Resultados y Discusión

En Costa Rica, existen plantaciones forestales con mezcla de especies que poseen su propio diseño de plantación y que desean satisfacer diversos objetivos, los cuales van desde recuperación de áreas degradadas hasta la producción de madera de alta calidad.

La empresa Puro Verde Paraíso Forestal S.A., desarrolló su propio diseño de plantación basado en la dinámica de crecimiento de los bosques naturales (criterio de tolerancia de las especies) y que tiene como objetivo la producción de madera de alta calidad, en diferentes turnos de rotación, los cuales aseguran la maximización del área de producción y cobertura forestal al menos por 60 años.

Turnos de rotación

Con base en el diseño de plantación empleado se proponen turnos de corta y replante según el gremio ecológico al que pertenecen las especies. El gremio de las heliófitas efímeras (cebo) se aprovecha cada 10 años y se planta nuevamente a 2 m de su posición original para evitar el tocón del árbol cortado y garantizar así el sistema tresbolillo; el gremio de las heliófitas durables (almendro, surá, caoba, pilón y teca) se cosecha cada 20 años, este también es plantado nuevamente a 2 m de su posición original. Estas actividades de corta y replante de las heliófitas durables coinciden con las de las heliófitas efímeras en su segundo ciclo. El gremio de las esciófitas (fruta dorada, manú y guapinol) se aprovecha cada 30 años y se planta nuevamente a 2 m de su posición original. Estas actividades de corta y replante de las esciófitas coinciden con las de las heliófitas efímeras en su tercer ciclo (Figura 6).

La Figura 6 muestra el esquema de cómo se alternarán los ciclos de corta y plantación para las especies pertenecientes a los tres gremios ecológicos. Estos ciclos de corta son dependientes de los crecimientos que estos experimenten.

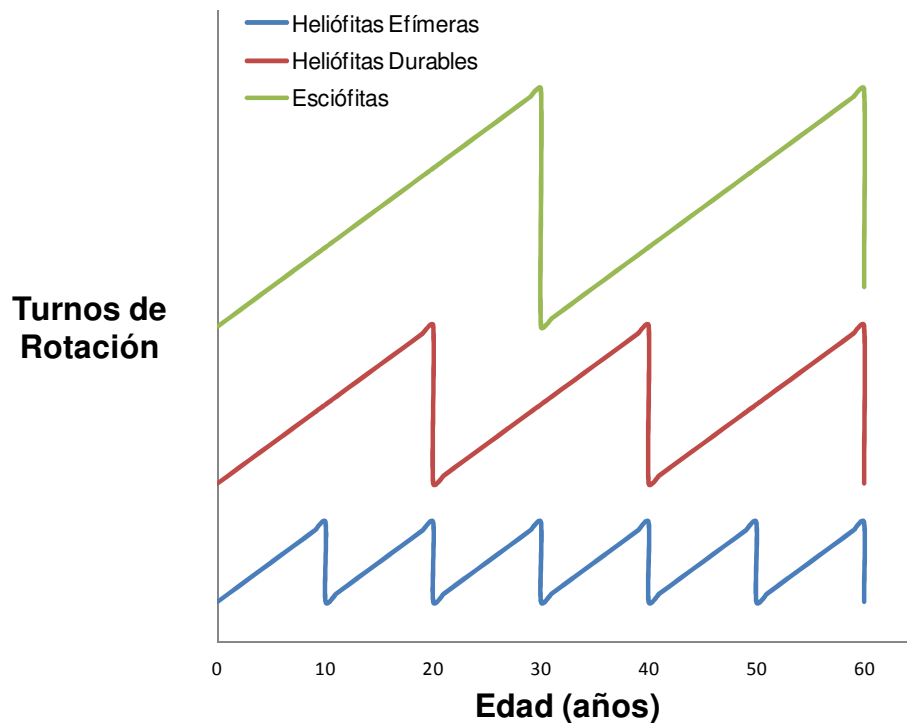


Figura 6. Turnos de corta y replante propuestos para cada gremio ecológico en una plantación con mezcla de especies, en San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, 2012.

Este ciclo de producción de 30 años se puede reproducir en dos ocasiones y garantizar una cobertura forestal por 60 años: momento en que los turnos de corta de los 3 gremios suceden simultáneamente. Por ser un diseño innovador en el país, es imposible encontrar información de crecimiento de las especies utilizadas en condiciones similares, por lo que es necesario generar información de crecimiento desde el primer año, a partir de los inventarios forestales.

Análisis de datos del inventario forestal

Se establecieron un total de 88 parcelas temporales de medición, de las cuales 34 pertenecen a sitios moderadamente ondulados y 54 a sitios planos. Con esta cantidad se garantiza cubrir el 2,5% de intensidad de muestro para cada uno de los estratos. El proyecto cuenta con 108,07 ha con pendientes planas, 68,13 ha moderadamente onduladas y 58,74 ha con pendiente ondulada, para un total de 234,94 ha plantadas.

Los sitios pertenecientes al estrato ondulado fueron descartados del estudio debido a que el diseño de la plantación fue modificado; no se plantaron especies del gremio de las heliófitas durables al no adaptarse ninguna de estas a condiciones de alta pendiente, por lo que fueron sustituidas por la especie heliófita efímera (cebo).

Sitios planos

En el Cuadro 2 se observa que la mortalidad promedio presente en el estrato plano, en la finca San Ramón, es de 9,59%. Por lo tanto, es el gremio de las heliófitas durables el que presenta mayor porcentaje de mortalidad con un 20,32%, seguido del gremio de las esciófitas parciales con un 7,05%. Las heliófitas efímeras presentan una mortalidad de 1,38%.

Cuadro 2. Mortalidad por gremio ecológico en el estrato plano en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Gremio	Vivos	# Muertos	% Mortalidad	Total
Esciófitas	527	40	7,05	567
Heliófitas Durables	443	113	20,32	556
Heliófitas Efímeras	1072	15	1,38	1087
Totales	2042	168	9,59	2210

El alto grado de mortalidad que presentó el gremio de las heliófitas durables se debe, principalmente, a la especie *Tectona grandis*. Esta, a pesar de haber sido replantada un mes después de la siembra, no se pudo adaptar a las condiciones de alta acidez (pH 3,5 – 4,5) y precipitación (4000 mm/año) presentes en la zona.

En las partes planas donde fue plantada la teca existen muchos sitios con problemas de evacuación del agua, por lo que esta se acumula formando áreas encharcadas y es en estos sitios donde existe mayor mortalidad de la especie.

En el Cuadro 3 se observa que, en promedio, la calidad 2 es la que presenta mayor porcentaje con un 47,37%, seguida de la calidad 1 con un 41,71% de los árboles evaluados. En cuanto a los gremios, el que presenta mayor porcentaje de individuos con calidad 1 es el de las heliófitas durables con un 51,47% y el que tiene el porcentaje más bajo es el gremio de las esciófitas parciales con un 27,27%. Esta situación es diferente en cuanto a la calidad 3 se refiere, ya que es en esta donde las especies del grupo de las esciófitas parciales, presentan el mayor valor con un 23,40%.

Cuadro 3. Porcentaje de calidad por gremio ecológico en el estrato plano, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Gremio	Calidad (%)				Total
	1	2	3	4	
Esciófitas	27,27	49,32	23,40		100
Heliófitas Durables	51,47	43,12	5,42		100
Heliófitas Efímeras	46,40	49,66	3,84	0,10	100
Totales	41,71	47,37	10,89	0,10	100

Estos resultados obtenidos para el gremio de las esciófitas durables es predecible, ya que la especie guapinol es la que en mayor cantidad se encuentra plantada para efectos del proyecto y presentó problemas de forma desde los primeros meses. Esta situación puede ser momentánea ya que se ha observado cómo esta especie puede corregir sus torceduras, en los próximos años, si se trabaja fuertemente en ella con podas de formación.

El diseño de la plantación busca que la especie heliófita efímera, rápidamente, cierre el dosel y le brinde sombra a la esciófita. Pero esto no se logró durante el primer año de crecimiento. En consecuencia, el guapinol está expuesto a la luz y esto afecta la forma de su fuste desarrollando torceduras fuertes y ramas contrarias al ápice principal. Esta especie, en particular, es beneficiada por la sombra desde temprana edad, por lo que un distanciamiento menor entre árboles del gremio de las heliófitas efímeras podría lograr un cruce de ramas a más temprana edad.

Otra alternativa es mezclar la plantación con cultivos agrícolas como el tiquizque o la yuca, productos que tienen crecimientos rápidos en comparación a la plantación y, rápidamente, las especies esciófitas tendrán las condiciones óptimas de luz para su desarrollo. Las especies seleccionadas para el cultivo agrícola deben ser sembradas

solamente en el área que cubre las especies esciófitas para que no perjudique el crecimiento de las otras especies.

En este proyecto se plantaron 14 hectáreas de agricultura simultáneamente con la plantación y, específicamente, la especie tiquizque brindó mucha sombra al guapinol durante los primeros meses. Esto permitió que el árbol creciera totalmente recto en busca de la luz, logrando una diferencia notable en la forma del árbol en comparación del resto de la plantación.

En el cuadro 4 se observa una comparación en cuanto a la calidad de los árboles de guapinol plantados con agricultura (tiquizque) y el resto de la plantación sin agricultura en sitios planos.

Cuadro 4. Comparación de la calidad de los árboles de guapinol con y sin agricultura, en el estrato plano, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Especie	Calidad %				Total
	1	2	3	4	
Guapinol con agricultura	13,83	63,83	22,34	----	100
Guapinol sin agricultura	0,54	55,60	43,86	----	100

La calidad de los árboles de guapinol es mejorada por la sombra que le produce el tiquizque, aumentando los individuos de calidad 1 de 0,54% a 13,83% y disminuyendo notablemente los individuos de calidad 3 pasando de un 43% a un 22,34%. Asimismo, la agricultura es una actividad altamente demandante del control de malezas y de la fertilización, por lo que la plantación también se beneficia de estas actividades.

Los dos primeros años del establecimiento de una plantación son los más costosos y es en este tiempo donde se invierte más del 60% de los recursos económicos del proyecto, por lo que la implementación de un cultivo agrícola bien seleccionado es

una forma de recuperar parte del capital invertido, maximizando el área efectiva de la finca y haciendo más atractiva la actividad de reforestación para los inversionistas.

En el Cuadro 5 se presentan las variables dasométricas por gremio ecológico. Se observa como las heliófitas efímeras son las que mayor altura promedio poseen con 1,77 m, casi 1 metro más de altura que las esciófitas parciales, las cuales poseen 0,74 m de altura en promedio.

Cuadro 5. Valores de altura por gremio ecológico en el estrato plano, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Gremio	Altura total (m)	Rango de Altura (m)
Esciófitas	0,74	0,23 – 1,38
Heliófitas Durables	1,10	0,16 – 2,69
Heliófitas Efímeras	1,77	1,19 – 2,40
Promedio	1,20	----

Estos resultados verifican la tendencia de crecimiento esperada, la cual pone en primer lugar al grupo de las heliófitas efímeras que cerrarán oportunamente el dosel, brindando la sombra que las esciófitas parciales requieren para su crecimiento. En segundo plano, se encuentra el grupo de las heliófitas durables que presenta un crecimiento menor, pero, que no son afectadas por la competencia con las especies del gremio de las heliófitas efímeras.

En la Figura 7 se observa la misma tendencia en cuanto a los valores promedio de altura por parcela y por gremio ecológico, ya que las heliófitas efímeras presentan sus valores en un rango mayor que los otros dos gremios, el gremio de las heliófitas durables presenta 3 parcelas con una mayor altura promedio.

Esas tres parcelas corresponden a sitios sembrados con la especie *Tectona grandis*, la cual ha tenido un crecimiento medio en estos, alcanzando un altura dominante promedio de 4,03 metros.

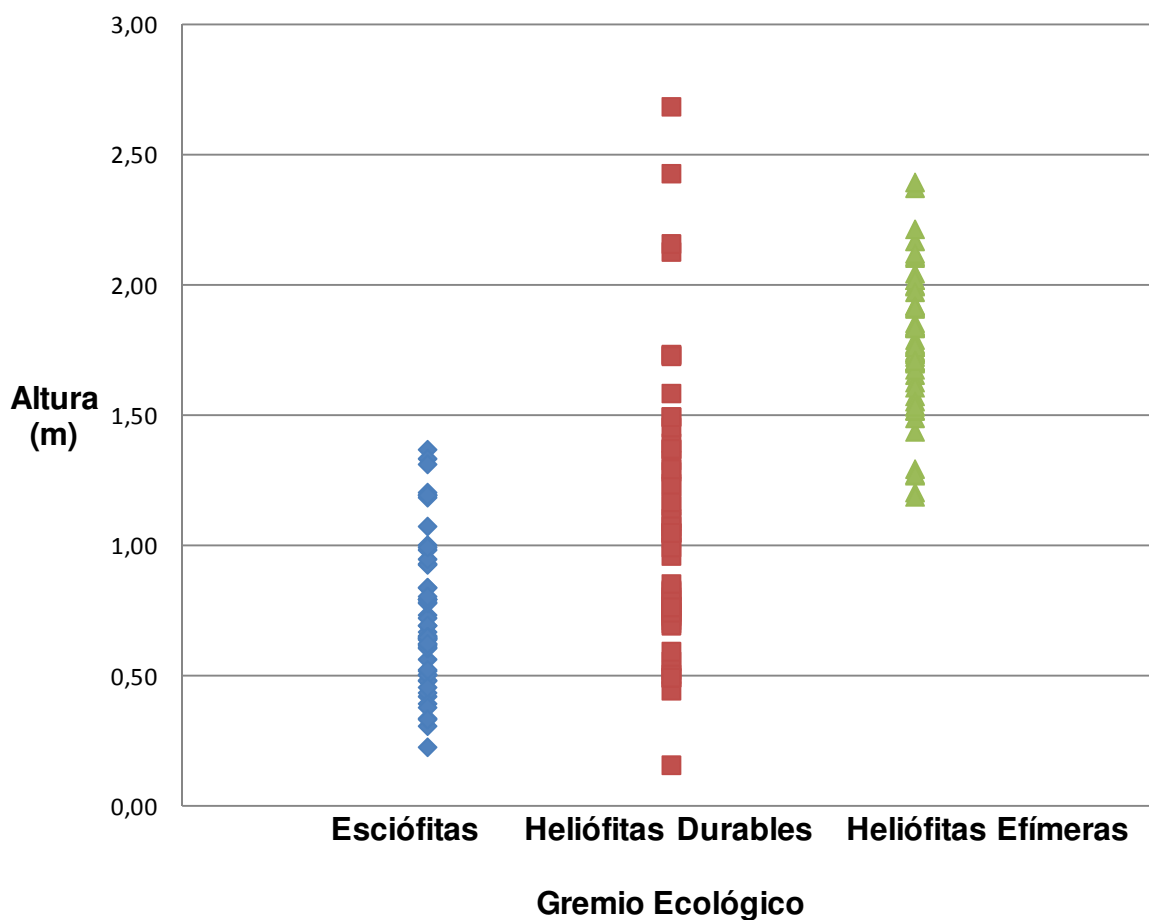


Figura 7. Altura promedio por parcela según gremio ecológico para el estrato plano, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Según la clasificación de altura dominante publicada por la Organización Latinoamericana de Teca (OLAT), 4,03 m de altura dominante, a un año de edad, se considera un estrato de crecimiento medio, como se observa en la Figura 8.

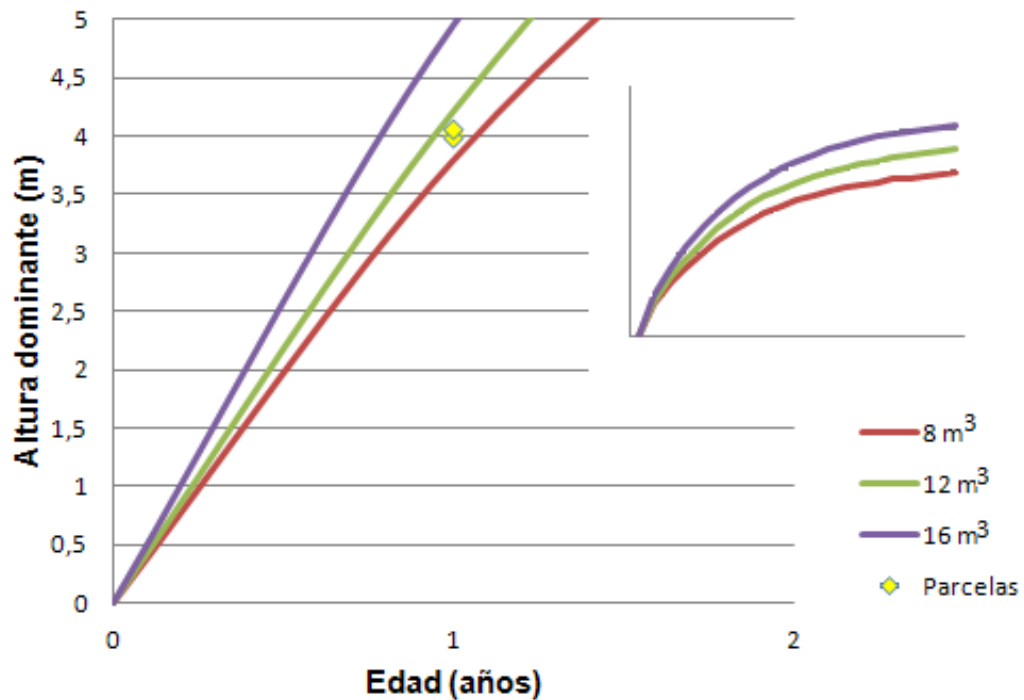


Figura 8. Curvas de clasificación de altura dominante para teca según la OLAT, San José, Costa Rica, 2011.

Sitios moderados

En el Cuadro 6 se observa que la mortalidad promedio presente en el estrato con pendiente moderada en la finca San Ramón es de 6,69%, y es el gremio de las heliófitas durables el que presenta mayor porcentaje de mortalidad con un 10,82%, seguido del gremio de las esciófitas parciales con un 5,46%. Las heliófitas efímeras presentan una mortalidad de 3,80%.

Cuadro 6. Mortalidad por gremio ecológico en el estrato moderado en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Gremio	Vivos	# Muertos	% Mortalidad	Total
Esciófitas	329	19	5,46	348
Heliófitas Durables	305	37	10,82	342
Heliófitas Efímeras	633	25	3,80	658
Totales	1267	81	6,69	1348

Igual que en el estrato plano, el gremio de las heliófitas durables es el que mayor mortalidad experimentó pero, en esta ocasión, se trata de 2 zonas específicas donde las especies pilón y surá no se adaptaron a pesar de haber sido replantadas. Estos son los lotes 15 y 23 en el caso del pilón y el lote 6 en el surá. El resto de la plantación presenta niveles de mortalidad inferiores al 5%.

En el Cuadro 7 se observa que, en promedio, la calidad 2 es la que presenta mayor porcentaje con un 61,54%, seguida de la calidad 1 con un 18,03% de los árboles evaluados.

Cuadro 7. Calidad por gremio ecológico en el estrato moderado en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Gremio	Calidad				Total
	1	2	3	4	
Esciófitas	2,90	60,69	36,41		100
Heliófitas Durables	26,04	57,59	14,79	1,58	100
Heliófitas Efímeras	25,15	66,34	8,12	0,39	100
Totales	18,03	61,54	19,78	0,98	100

En los sitios con pendiente moderada aumentaron drásticamente los valores de calidad inferior en comparación con los sitios planos. La especie guapinol sigue siendo la que presenta las mayores deformaciones en su fuste en el grupo de la esciófitas parciales; sin embargo, es notable la disminución de la calidad en los otros dos grupos, perdiendo casi el 50% de los individuos con calidad 1.

Con respecto a la altura promedio por gremio ecológico, las heliófitas efímeras siguen duplicando en altura a las del gremio de las esciófitas, que son las que presentan el menor promedio de altura como se muestra en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Valores de altura por gremio ecológico en el estrato moderado en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Gremio	Altura total (m)	Rango de Altura (m)
Esciófitas	0,66	0,24 – 0,98
Heliófitas Durables	0,80	0,34 – 1,12
Heliófitas Efímeras	1,35	0,52 – 2,01
Promedio	0,93	----

Del mismo modo, el gremio de las heliófitas efímeras presenta valores promedios de altura, por parcela y por gremio ecológico, en un rango mayor que los otros dos gremios (Figura 9).

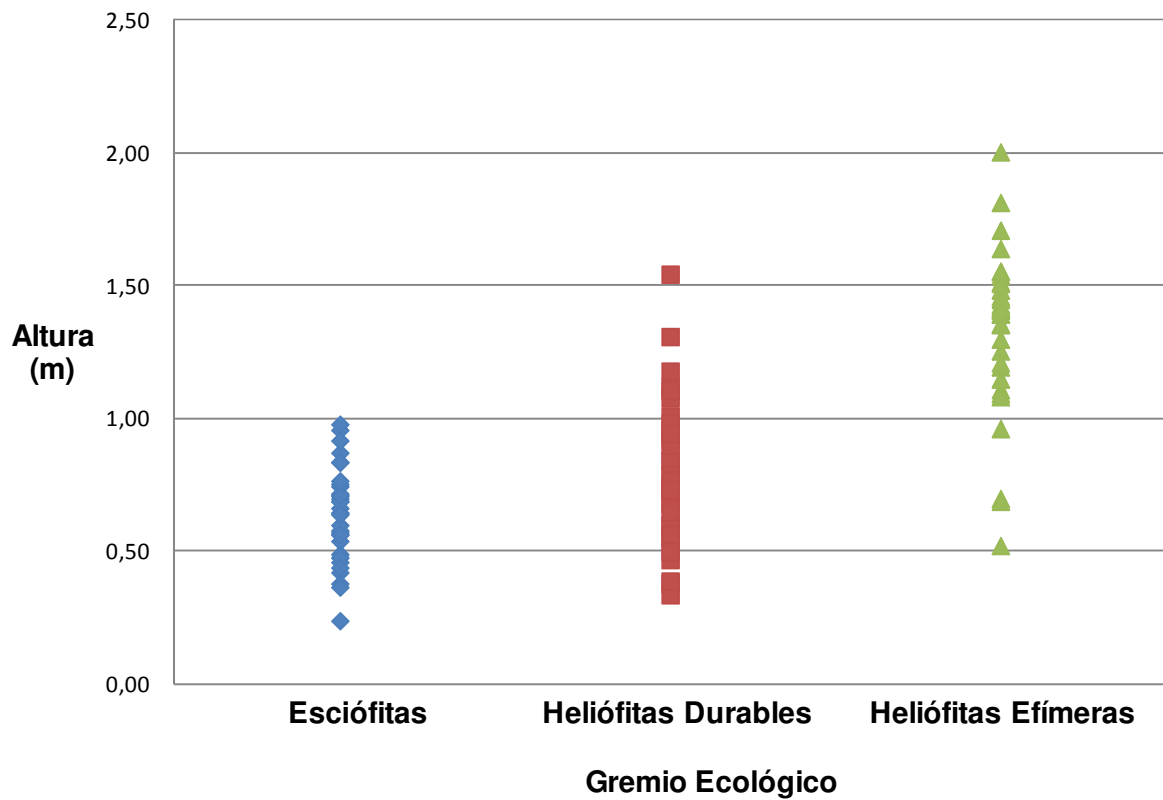


Figura 9. Altura promedio por parcela según gremio ecológico para el estrato moderado, en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

En la Figura 10 se observa que existen diferencias significativas en cuanto a la altura promedio que poseen los tres gremios ecológicos plantados en un sitio clasificado como plano y, diferencias significativas entre las heliófitas durables y efímeras para un sitio moderado; no obstante, no existen diferencias significativas entre las esciófitas y las heliófitas durables en este mismo sitio.

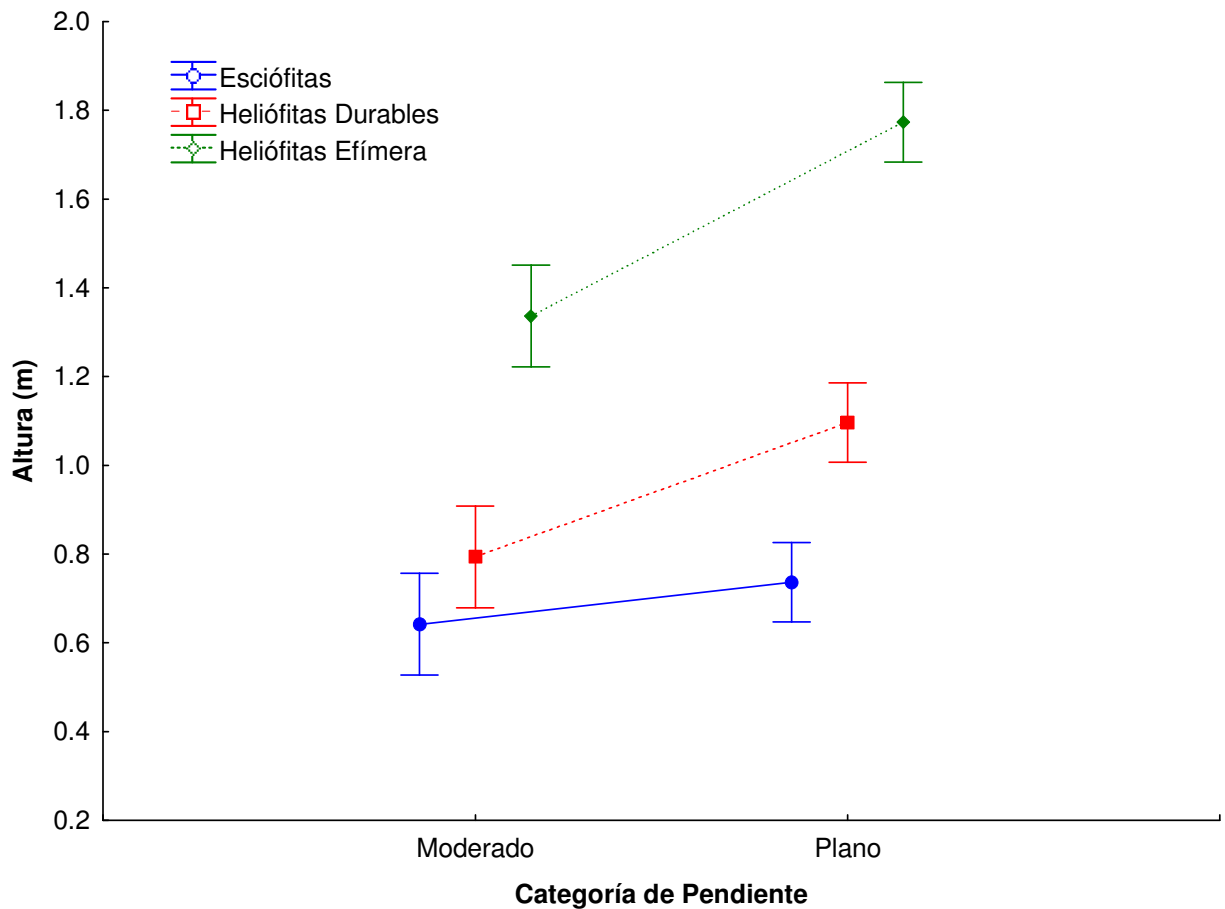


Figura 10. Altura promedio, desviaciones estándar y comparaciones según pruebas Tukey por gremio ecológico en el proyecto San Ramón, en la Virgen de Sarapiquí, Costa Rica, 2012.

Existen diferencias significativas en las alturas de las heliófitas durables y efímeras plantadas en sitios planos y moderados, caso contrario entre las alturas de las especies pertenecientes al gremio de las esciófitas plantadas en ambos sitios, lo que significa que la pendiente juega un papel importante en el crecimiento de las especies pertenecientes al gremio de las heliófitas y no influye en el crecimiento de las esciófitas.

Conclusiones

El diseño de plantación evaluado en su primer año de desarrollo imita la dinámica de crecimiento que existe en los bosques naturales, ya que las especies heliófitas efímeras crecen, en altura, el doble que las esciófitas.

Las especies del gremio de las heliófitas efímeras son las que presentan mayor crecimiento en altura, superando a las especies heliófitas durables y esciófitas independientemente del sitio en que se plantaron.

La pendiente no es un factor que afecte la altura de las especies esciófitas; pero sí a las especies que pertenecen a las heliófitas durables y efímeras.

Los turnos de corta propuestos son de 10 años para las heliófitas efímeras, 20 años para las heliófitas durables y 30 años para las esciófitas.

La implementación de este diseño de plantación contempla el replante de la especie una vez que llega al turno de corta y asegura una cobertura forestal en el sitio por 60 años.

Los árboles de la especie guapinol que se encuentran bajo la sombra de la agricultura presentaron una valoración de la calidad mejor que los árboles que no presentaban esa asociación.

La agricultura es una actividad, que mezclada con la plantación, produce una maximización del área de producción, además de un ingreso a corto plazo con el cual se podría recuperar parte de lo invertido en la plantación.

Recomendaciones

Establecer plantaciones con un distanciamiento menor entre los árboles de la especie *Vochysia guatemalensis*, para lograr que el dosel de la plantación se cierre a más temprana edad.

Valorar la posibilidad de plantar la especie esciófita uno o dos años después de establecida la plantación, una vez que el dosel haya cerrado.

Seguir con la evaluación anual del crecimiento, para establecer la combinación de especies más adecuada en el diseño de plantación implementado.

Realizar estudios para determinar el efecto que tiene la sombra que produce la agricultura, a temprana edad, sobre la calidad de forma de la especie guapinol.

Utilizar *Vochysia ferruginea* como la especie heliófita efímera en el diseño de plantación implementado, ya que es una especie de rápido crecimiento y la madera tiene un mayor valor comercial en el mercado.

Aplicar enmiendas en las áreas donde está plantada la especie *Tectona grandis* con el fin de subir el pH a 6 para beneficiar a la especie.

Realizar drenajes para evacuar las aguas que se acumulan en las partes planas con el fin de favorecer el crecimiento de la especie *Tectona grandis*.

Bibliografía

- 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). Revista digital Agronomía Costarricense (28)2:61-71.2004. Consultado el 4 dic. 2010. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v28n02_061.pdf.
- Arguedas Gamboa, M; Torres Córdoba, G. 1995. Especies forestales de mayor utilización en Costa Rica. Serie de apoyo académico. Cartago, CR. Editorial Tecnológica. 46 p.
- Barquero, R. 2010. Informe Técnico: Plan de fertilización para Puro Verde Paraíso Forestal S.A. AGROTEC: Laboratorios Analíticos S.A. San José, CR. 3 p.
- Barraza, D; Díaz Gómez, J. 1999. Clasificación preliminar de sitios para plantaciones con *Hieronyma alchorneoides*, *Vochysia guatemalensis*, *Vochysia ferruginea*, *Virola koschy* y *Terminalia amazonia* en la zona nor-atlántica de Costa Rica. Práctica de especialidad. Heredia, CR: UNA: Escuela de Ciencias Ambientales. 88 p.
- Barwick, M. 2004. Tropical and subtropical trees. Thames and Hudson. London, Inglaterra. 484 p.
- Blanco, M. *et al.* 2005. Fichas técnicas de veinte especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. San José, CR. Editorial de la universidad de Costa Rica. 101 p.

- Carpio Malavassi, I. 1992. Maderas de Costa Rica: 150 especies forestales. San José, CR. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 338 p.
- Chaves E. 2001. Árboles Monumento: Almendro de montaña. (en línea). Ambientico: Revista sobre actualidad ambiental. 93. Consultado 9 abril 2012. Disponible en <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien-Tico/93/chaves.htm>.
- Chaves, E; Fonseca, W. 1991. *Tectona grandis* L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Serie técnica no.179. CATIE, Turrialba, CR. 60p
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 1992. Plantaciones mixtas y puras en las zonas tropicales y subtropicales; Documento Forestal FAO N° 103. Roma, IT. 152 p.
- Finegan, B. 1993. Bases Ecológicas de la Silvicultura. In: VI Curso Intensivo Internacional de Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales Tropicales. CATIE, Turrialba, C.R. 229 p.
- Hernández, M. 2010. Condiciones meteorológicas de la Virgen de Sarapiquí (entrevista). Sarapiquí, CR.
- Jiménez Madrigal, Q. 1995. Árboles maderables en peligro de extinción en Costa Rica. San José, CR. INCAFO, 124 p.
- Ladrach, W. 2010. Manejo práctico de plantaciones forestales en el trópico y subtropical. Cartago, CR. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 660p.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas; posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. Trad. A Carrillo. Eschborn, AD. GTZ. 335 p.

- Louman, B; Quirós, D; Nilsson, M. 2001. Silvicultura de bosques latifoliados tropicales con énfasis en América Central. Turrialba. CR, CATIE. 265 p.
- Molina, E. 2010. Informe de estudio preliminar de suelos de la finca San Ramón, Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Laboratorio de la Universidad de Costa Rica. San José, CR. 6 p.
- Murillo, O; Camacho P. 1997. Metodología para la evaluación de la calidad de plantaciones forestales recién establecidas. (en línea). Agronomía Costarricense. 21(2). 189-207. Consultado 6 abril 2012. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n02_189.pdf
- Montagnini, F. 2006. Pueden las plantaciones forestales actuar como catalizadoras de la sucesión secundaria. (en línea). Kurú: Revista Forestal. 3(9). Consultado 4 dic. 2010. Disponible en http://www.tec.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior9/pdf/Actualidad3.pdf
- Montagnini, F; Piotto, D; Ugalde, L. 2002. Plantaciones forestales con especies nativas: Una alternativa para la producción de madera y la provisión de servicios ambientales. In: Congreso Forestal Latinoamericano (2, 2010, Guatemala). Memoria. GT. 10p.
- Muñoz, M; Aedo, D; Castro, C; 2006. Primeros resultados de una plantación mixta de *Castanea sativa* mill. con *Robinia pseudoacacia* L. o con *Quillaja saponaria* Mol. Universidad de Talca, Chile. Consultado 4 Dic. 2010. Disponible en: http://www.infor.cl/areas_investigacion/proyectos_plantaciones.htm

- Quesada Monge, R. 2003. Estudio de especies forestales con poblaciones reducidas o en peligro de extinción. Informe Final. Cartago, CR: ITCR: Escuela de Ingeniería Forestal. 167p.
- Rodríguez, J. 2002. El éxito forestal de Costa Rica en cinco casos. (en línea). Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). 3p. Consultado 4 dic. 2010. Disponible en: http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Bosques/MINAET_2002_xitoforestal.pdf. (Actualmente MINAET).
- Salazar Blanco, M. 2001. Estudio de la dinámica y estructura de dos bosques secundarios húmedos tropicales ubicados en la Estación Biológica la Selva, Puerto Viejo de Sarapiquí, Heredia, Costa Rica. Práctica de especialidad. Cartago, CR: ITCR, Escuela de Ingeniería Forestal. 77p.
- Sevilla Segura, C; 1996. Evaluación de la calidad y crecimiento de especies forestales nativas. Práctica de especialidad. Cartago, CR: ITCR: Escuela de Ingeniería Forestal. 88 p.
- Torres Ortega, M. 2007. Evaluación de plantaciones forestales mixtas en Santa Cecilia, La Cruz, Guanacaste. Práctica de especialidad. Cartago, CR: ITCR: Escuela de Ingeniería Forestal. 59 p.
- Zamora, N, 2000; Árboles de la Mosquitia hondureña: descripción de 150 especies. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 314 p.