

**Fondo Nacional de Financiamiento Forestal  
Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica**

**Especies para sistemas agroforestales: condiciones para su cultivo  
“Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las  
reservas de carbono”**

**Héctor A Martínez H  
Consultor**

**Moravia, Mayo de 2015**

## **Acrónimos**

ACT:	Área de Conservación Tempisque
AFE:	Administración Forestal del Estado
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BM:	Banco Mundial
CACH:	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha
CAF:	Certificado de Abono Forestal
CAFA:	Certificado de Abono Forestal por Adelantado
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CODEFORSA:	Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos
COOPEAGRI:	Cooperativa Agrícola Industrial y de Servicios Múltiples El General
CRUSA:	Fundación Costa Rica - USA
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FSC:	Forest Stewardship Council
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
IMA:	Incremento Medio Anual
ISO:	International Standard Organization
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
OET:	Organización para Estudios Tropicales
ONF:	Oficina Nacional Forestal de Costa Rica
PIB:	Producto Interno Bruto
PNUF:	Plan Nacional de Desarrollo Forestal
PSA:	Pago por Servicios Ambientales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TIR:	Tasa Interna de Retorno

## Contenido

<b>Acrónimos</b> .....	ii
<b>Resumen ejecutivo</b> .....	1
<b>1. Antecedentes</b> .....	2
<b>1.1 Marco de referencia</b> .....	2
1.2 ¿Por qué caoba, cedro y laurel? .....	3
<b>2. Requerimientos biofísicos</b> .....	3
2.1 Precipitación anual .....	3
2.2 Temperatura.....	4
2.3 Suelos .....	4
2.3.1 <i>Textura</i> .....	4
2.3.2 <i>Drenaje</i> .....	4
2.3.3 <i>Reacción</i> .....	5
2.3.4 <i>Profundidad</i> .....	5
2.4 Altitud.....	5
<b>3. Formas de reproducción y producción en vivero</b> .....	7
3.1 Reproducción por semillas y otras formas.....	7
3.2 Fertilización y controles químicos .....	9
3.3 Preparación y envío .....	12
<b>4. Establecimiento</b> .....	12
4.1 Época de plantación .....	12
<b>4.2 Protección de las plantaciones</b> .....	13
4.3 Selección del sitio y preparación del suelo .....	13
<b>5. Manejo</b> .....	17
5.1 Densidad de plantación .....	17
5.2 Control de malezas .....	19
5.3 Fertilización .....	19
5.3.1 <i>Requerimientos nutricionales para caoba</i> .....	19
5.3.2 <i>Requerimientos nutricionales para cedro</i> .....	21
5.3.3 <i>Requerimientos nutricionales para laurel</i> .....	23
<b>5.4 Podas</b> .....	26

<b>5.5</b>	<b>Raleos</b> .....	27
<b>5.6</b>	<b>Crecimiento</b> .....	27
5.7	Plagas y enfermedades.....	32
<b>5.8</b>	<b>Cosecha</b> .....	36
<b>5.9</b>	<b>Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión</b> .....	37
	Literatura citada .....	38

## Resumen ejecutivo

Las plantaciones de cultivos perennes como café o cacao y te (en menor proporción) en Centroamérica generalmente se manejan bajo sombra, con algunas excepciones en sitios óptimos donde el café es manejado en forma intensiva con altas aplicaciones de agroquímicos. Los resultados positivos del asocio de árboles de sombra con cultivos dependen mucho de las especies que se utilicen, del manejo que se le dé a los árboles, de la forma del asocio y de las condiciones del clima en cada lugar. En general, la utilización de árboles es más ventajosa en zonas marginales con suelos pobres y con pendientes acentuadas, sujetos a afecciones micro climáticas como una baja disponibilidad hídrica y vientos fuertes.

Los cultivadores de café, cacao y otros cultivos hacen esfuerzos por diversificar con especies como cedro (*C. odorata*), caoba (*S. macrophylla*) y laurel (*C. alliodora*). Varios estudios han concluido que la mejor rentabilidad de colocar especies maderables en cultivos arbolados fue para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia humilis*), tomando en consideración los precios del mercado y cadenas de valor regionales por metro cúbico de madera neta aprovechable.

Costa Rica cuenta con 52.452 ha de terreno que pueden considerarse como óptimas para el establecimiento de estas especies en sistemas agroforestales; a esta área se pueden agregar otras 995.422ha en las que al menos uno de los requerimientos no se llena completamente; al área considerada óptima se le puede agregar 33.977 ha consideradas como de terrenos con posibilidad de crecimiento medio y 545.291 ha donde el crecimiento será deficiente. Esto implica un total de 1.627.142 ha en las que se podrían establecer sistemas agroforestales (incluyendo sistemas silvopastoriles y cultivos asociados) con las tres especies forestales; solo el 3% de esta área es óptima para el uso en SAF con estas tres especies.

# Especies para sistemas agroforestales: condiciones para su cultivo

Héctor A Martínez H  
Consultor

## 1. Antecedentes

### 1.1 Marco de referencia

Los “Términos de Referencia para la contratación de la consultoría Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (TdR) establecen que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) es el responsable, según asignación legal, del financiamiento del sector forestal costarricense, mediante el financiamiento a través de dos modalidades: pago por servicios ambientales y crédito dirigido a pequeños y medianos productores. FONAFIFO es, además, el punto focal de REDD+ y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP), el cual ha definido como una de las acciones estratégicas para Redd+ el aumento de la producción y el consumo sostenible de madera, como una de las formas para aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

La consultoría indicada ha sido contratada por el FONAFIFO y responde ante un Comité Evaluador, nombrado por el Director Ejecutivo de FONAFIFO, del que forma parte la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal Nº 7575 para promover el desarrollo forestal del país.

El objetivo general de la consultoría es: Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono.

El logro de este fin requiere el alcance de los siguientes objetivos específicos:

- a) Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- b) Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.
- c) Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

La promoción del establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera requiere, como paso previo, la identificación de las principales barreras a la actividad. Los términos de referencia para el presente trabajo de consultoría solicitan la elaboración de paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades, para cinco especies prioritarias. Previamente se elaboró un documento para la priorización de las especies<sup>1</sup> y entre ellas se seleccionó *Cecrela odorata* (cedro), *Cordia alliodora* (laurel) y *Swietenia macrophylla* (caoba) como especies importantes utilizadas en sistemas agroforestales.

---

<sup>1</sup> Martínez H., H.A. 2014. Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Moravia, Costa Rica, FONAFIFO (Fondo Nacional de Fomento Forestal). 39 p.

## 1.2 ¿Por qué caoba, cedro y laurel?

Especies como cedro (*C. odorata*), caoba (*S. macrophylla*) y laurel (*C. alliodora*) se han asociado tanto en América Central como en el norte de América del Sur y México con cultivos de larga duración como café, cacao y te, tanto para proporcionar sombra, como para complementar los ingresos, al cosechar la madera.

La madera de caoba es considerada la más valiosa del mundo y cedro la segunda más valiosa; esta razón ha hecho que los bosques naturales con estas especies hayan sido explotados intensamente (en el caso de la caoba desde hace más de 500 años), lo que ha llevado a estas especies al borde de la extinción en muchos de los países donde se distribuye naturalmente.

Las tres especies han mostrado buen comportamiento creciendo asociadas con cultivos, y, en el caso de las meliáceas, a adaptarse o resistir mejor a la presencia del barrenador de los tallos (*Hypsiphylia grandella*); laurel ha mostrado un excelente comportamiento (crecimiento y producción de madera) en cafetales en Costa Rica y Colombia.

## 2. Requerimientos biofísicos

### 2.1 Precipitación anual

Las especies seleccionadas se desarrollan bien en lugares con precipitaciones que varían entre 1.200 y 1.800 mm año<sup>-1</sup>, aunque en forma individual pueden sobrevivir en áreas con mayor precipitación; caoba (*Swietenia macrophylla*) naturalmente crece en sitios con precipitaciones entre 1000 mm año<sup>-1</sup> en bosque seco tropical hasta 4.000 mm año<sup>-1</sup> en bosques húmedos a muy húmedos tropicales; cedro (*Cedrela odorata*) crece bien en sitios con precipitaciones entre 1.200 y 2.500 mm año<sup>-1</sup>, mientras laurel (*Cordia alliodora*) crece en sitios con precipitaciones entre 1.500 y 3000 mm año<sup>-1</sup>.

*Swietenia macrophylla* es nativa de la zona continental de América Central y América del Sur, desde México hasta Perú, Bolivia y Brasil, siendo, por tanto, la especie más ampliamente distribuida del género *Swietenia*. La madera ha sido comercializada por más de 400 años y ha sido considerada la especie más valiosa del mundo. Actualmente se considera que está prácticamente extinta en Ecuador, Colombia, Panamá y Costa Rica; cerca de la extinción comercial en Bolivia; declinando en México, Belice y Brasil, y con severos síntomas de declinación en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Perú (Lugo 2002; Krisnawati 2011 ).

Caoba fue introducida en la India en 1872 con semillas procedentes de Belice, y desde entonces se ha plantado ampliamente en los trópicos. Los primeros intentos de introducir la especie en Sierra Leona, Nigeria, Uganda fueron poco exitosos debido a los ataques del barrenador de los brotes (*Hypsiphylia*). Actualmente existen plantaciones exitosas en Mauritius, Indonesia, Fiji y Sri Lanka.

*Cedrela odorata* es originaria de América Tropical y se extiende desde México (26º N) hasta el norte de Argentina (28º S), desde el nivel del mar hasta los 1200 msnm, en suelos calcáreos, pero no exclusivamente. El rango de precipitaciones varía entre 2500 y 4000 mm, aunque 3000 mm parece ser

su límite y no soporta suelos inundables; se le encuentra disperso, como árboles individuales en bosques semi-decíduos; también se le encuentra en las islas del Caribe (Beard 1942; Combe y Gewald 1979; Chaplin 1980; Holdridge 1943, 1976; Holdridge et al. 1971; Inoue 1977; Malimbwi 1978; Mas y Borja 1974; Whitmore et al.).

En Colombia, se considera que su ámbito natural de crecimiento ocurre en los bh-T, bmh-T, bh-T/bmh-T y bmh-T/bp-T, con temperaturas entre 24-30°C, 0-1.000 msnm, precipitación 2.000-8.000 mm y humedad relativa 60-100% (Guevara 1988).

Laurel (*Cordia alliodora*) es la especie más ampliamente distribuida del género *Cordia*, que incluye más de 200 especies, que comprenden desde arbustos hasta árboles de gran porte. El ámbito geográfico se extiende desde la latitud 25° N. hasta 25° S., desde el estado de Sinaloa en México hasta Misiones en Argentina (Stead 1980), en zonas con precipitaciones entre 1500 y más de 3000 mm anuales. El rango incluye las Indias Occidentales (Little y Wadsworth 1964). Laurel ha sido introducida en Jamaica (Johnston 1949) y plantado como exótica en Surinam en 1967 (Vega 1977). Ha sido plantado como ornamental en Florida (Little y Wadsworth 1964); es una especie común en México, las Antillas y Colombia donde recibe diferentes nombres locales (Venegas 1978; CATIE 1994).

## **2.2 Temperatura**

Las especies seleccionadas crecen bien en zonas bajas y medias de América Central y el norte de América del Sur, generalmente en áreas donde el café y el cacao se desarrollan adecuadamente. En general estas especies se desarrollan hasta los 1500 msnm, aunque los mejores crecimientos se han encontrado debajo de los 600 metros sobre el nivel del mar (msnm).

## **2.3 Suelos**

### *2.3.1 Textura*

Los suelos en los que crecen adecuadamente las tres especies (caoba, cedro, laurel) son de textura franca, variando desde franco arenosos hasta franco arcillo arenosos, provenientes de rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas, según su localización (Oliphant 1928; Stevenson 1928; Williams 1932; Lamb 1966; Negreros-Castillo 1991; Snook 1993; Gullison et al. 1966; Krisnawati et al. 2011). Cedro y caoba crecen bien en suelos arcillosos derivados de rocas calcáreas (Holdridge 1943; Marrero 1948; Ramírez 1964), pero también crece en sitios bien drenados sobre suelos ácidos derivados de roca volcánica (Ultisoles).

### *2.3.2 Drenaje*

Los suelos usualmente son bien drenados y aireados, en concordancia con su textura y con la presencia de materia orgánica. Aunque naturalmente estas especies pueden crecer en sitios de alta precipitación, los suelos sobre los cuales prosperan se caracterizan por no ser inundables y disponer de buen drenaje y aireación (Holdridge 1976; Styles 1972; Whitmore 1976).

### 2.3.3 Reacción

Los suelos donde prosperan las especies, tanto en forma natural como plantadas, son de reacción poco ácida a neutros (Más y Borja 1974; Whitmore 1978; Whitmore 1979).

### 2.3.4 Profundidad

Los suelos deben ser de moderadamente profundos a profundos, donde pueden crecer adecuadamente las especies forestales y los cultivos asociados.

## 2.4 Altitud

En su hábitat natural caoba se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1.500 msnm, mientras que cedro se encuentra entre 0 y los 1.900 en las estribaciones montañosas de América Central y América del Sur; laurel, por su parte, se extiende desde las llanuras atlántica y pacífica hasta los 1.200 msnm. En Costa Rica se puede considerar que las tierras comprendidas entre el nivel del mar y los 600 msnm parecen mostrar los menores crecimientos, aunque las especies pueden alcanzar los 1.200 msnm.

**Cuadro 1. Requerimientos de las especies para sistemas agroforestales**

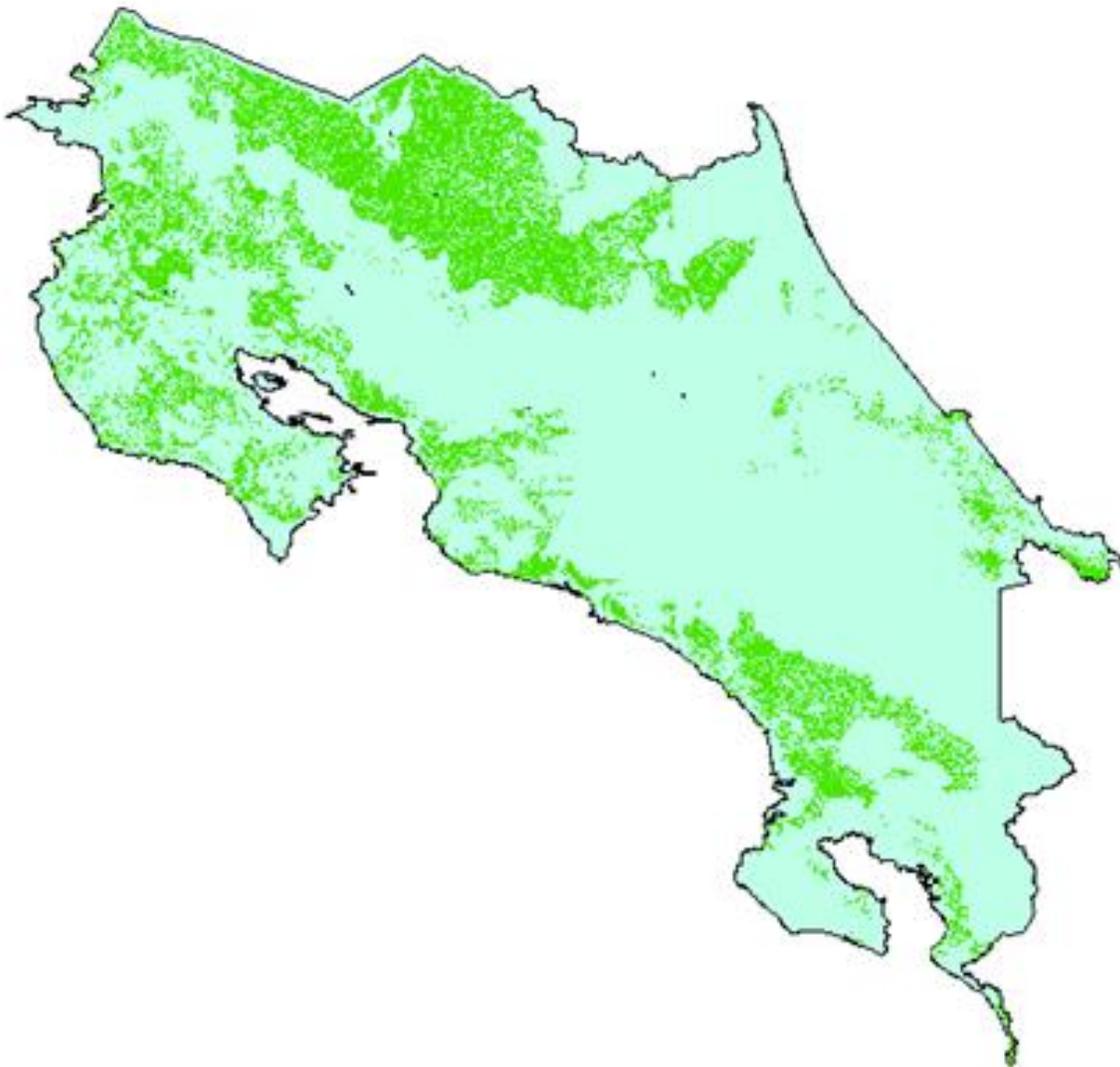
Especie	Suelos	Textura	pH	Fertilidad	Drenaje	Profundidad	Altitud (msnm)	Precipitación (mm año <sup>-1</sup> )	Meses secos año <sup>-1</sup>	Temperatura °C	Pendiente (%)
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults,	Franco, franco arenosos, franco arcillo arenosos	>5,2	Fértiles, bien aireados, mateira orgánica	bueno	moderadamente profundos a profundos	<600	1200-1800	2-4	22-28	<25
Caoba	Inceptisoles, alfisoles, andisoles, ultisoles	Franco, franco arenosos, franco arcillosos, provenientes de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, de aluviones volcánicos	6,5 - 7,5	Fértiles, bien aireados, mateira orgánica	bueno	Profundos	0 - 1.500	1.000 - 4.000	0 - 4	20 - 28	10-25
Cedro	Inceptisoles, alfisoles, andisoles, ultisoles	Franco, francoarenosos, franco arcillosos hasta arcilloso bien drenados	5,0-6,1	fértiles y aireados	bueno	moderadamente profundos a profundos	0-1.900	1.200 - 2.500	2 - 4	25	20 - 30
Laurel	Entisoles y Oxisoles, Andisoles	Franco arcillosos, francos	5,5	Fértiles, aireados, con materia orgánica	bueno	profundos	0 - 1.200	1.500 - 3.000	2 - 4	18 - 25	20 - 35

Fuente: Elaboración propia.

Con base en los requerimientos biofísicos de las tres especies (caoba, cedro, laurel) y utilizando la información cartográfica disponible se elaboró un mapa (anexo 1) que muestra las áreas que son óptimas para el establecimiento de las especies; de acuerdo a la información cartográfica, Costa Rica cuenta con 52.452 ha de terreno que pueden considerarse como óptimas para el establecimiento de estas especies en sistemas agroforestales; a esta área se pueden agregar otras 995.422ha en las que al menos uno de los requerimientos no se llena completamente; al área considerada óptima se le puede agregar 33.977 ha consideradas como de terrenos con posibilidad de crecimiento medio y 545.291 ha donde el crecimiento será deficiente. Esto implica un total de 1.627.142 ha en las que se podrían

establecer sistemas agroforestales con las tres especies forestales, pero es necesario aclarar que solo el 3% de esta área es óptima para el uso en SAF con estas tres especies. La figura adjunta muestra las áreas óptimas para el establecimiento de SAF con las especies forestales.

Guanacaste, incluyendo la península de Nicoya, partes de la provincia de Puntarenas, la zona Huetar norte y algunos sectores de la provincia de Limón constituyen las áreas más promisorias para el establecimiento de estas tres especies.



Zonas consideradas óptimas para el establecimiento de caoba, cedro y laurel en sistemas agroforestales  
Fuente: elaboración propia con cartografía digital de diferentes fuentes.

### 3. Formas de reproducción y producción en vivero

#### 3.1 Reproducción por semillas y otras formas

Las tres especies consideradas normalmente son producidas en vivero utilizando semillas, colectadas de fuentes seleccionadas.

*Swietenia macrophylla* se propaga por semillas; los mejores resultados se obtienen de árboles madre de excelente forma y saludo. La producción de semillas varía considerablemente de año a año. La fluctuación. La fluctuación puede reflejar la variación en la fenología de la floración, fallas en la polinización o fertilización (Mayhew y Newton 1998). La floración y fructificación ocurre regularmente a los 10-15 años y varía según la localización geográfica.

Los frutos de caoba se recolectan directamente de árboles seleccionados, cuando las cápsulas adquieren un color café claro y antes de que se abran, entre noviembre y diciembre. Se recomienda coleccionar los frutos de la parte media y alta de la copa, éstos se depositan en costales y posteriormente se transportan al vivero (Miranda 1999; Méndez y Soihet 1997).

En el vivero los frutos se ponen a secar al sol, se extienden sobre lonas, o pisos de cemento, durante 5 días. Cuando los frutos se abren las semillas se extrae manualmente, posteriormente se asolean nuevamente de 2 a 3 días, evitando deshidratación excesiva, aproximadamente de 9 a 12 % de contenido de humedad. Para eliminar las alas de la semilla se realizan fricciones manuales (Méndez y Soihet 1997; Miranda 1999). Una vez separadas las semillas, se eliminan las impurezas, usando un tamiz apropiado, quedando listas para su siembra o almacenamiento.

Los frutos se coleccionan cuando estén maduros para asegurar una buena germinación; las semillas tienen alta viabilidad (que puede alcanzar 60%-95%). Las semillas se almacenan en ambientes fríos (2° C – 5° C) en recipientes cerrados a una humedad relativa de alrededor de 45%. El peso de 1000 semillas varía entre 400–500 g. Las semillas se siembran en el vivero en bandejas de tierra o arena, a 2-4 cm de profundidad, o son cubiertas, en eras planas, dejando parte del ala expuesta. La germinación comienza después de aproximadamente 10 días y continúa durante aproximadamente 20 días

El semillero debe estar bien abonado y sombreado, pero después de 3-4 semanas las plántulas crecen mejor a pleno sol. Las plántulas pueden tener una tasa de supervivencia del 70%, aun si se planta durante la estación seca, siempre que estén parcialmente sombreados y se rieguen regularmente. Para establecimiento en el campo, se utilizan plantas a raíz desnuda; en este último caso las pseudo-estacas normalmente tienen 3-4 meses de edad y las estacas 20 cm de longitud del tallo 20-40 cm de longitud de la raíz con un diámetro del cuello de la raíz 0,5-2,5 cm; también se pueden utilizar plántulas más desarrolladas. Se pueden utilizar rebrotes, que son relativamente fáciles de establecer a partir de

plantas de 3 años de edad, pero es más difícil después. *Swietenia macrophylla* se puede propagar in vitro e injertos; este último método ha sido utilizado para establecer huertos semilleros.

Con *Cedrela odorata*, las semillas para el establecimiento de plantaciones deben provenir de individuos sanos (libres de plagas y enfermedades), vigorosos y con buena producción de frutos. Con esto se pretende asegurar que las plantas obtenidas de esas semillas hereden las características de los parentales (Arriaga et al. 1994). Lo más común es cosechar el fruto seco. Los frutos se colocan en sacos o bolsas para su transporte al vivero, evitando su insolación directa y largos periodos de transporte; para extraer las semillas del fruto, es necesario exponer los frutos al sol de 24 a 35 horas, en jornadas de 4 a 6 horas por día, sin secarse directamente al sol (Soihet y Méndez 1997).

Las semillas a utilizar deben provenir de individuos sanos (libres de plagas y enfermedades), vigorosos, y con buena producción de frutos. Con esto se pretende asegurar que las plantas obtenidas de esas semillas hereden las características de los parentales (Arriaga et al. 1994).

El ciclo reproductivo de la especie se sincroniza con la estación de crecimiento del lugar; en general florece al inicio de la estación de lluvias: de mayo a agosto en México, las Antillas, América Central y el norte de América del Sur (Bascopé et al. 1957; Karani 1973; Malimbwi 1978); septiembre-octubre en Argentina (OEA 1967). La floración comienza cuando las hojas nuevas se están expandiendo; las inflorescencias son pequeñas y dispone de cinco flores verdosas-blancas simétricas; los árboles son monoicos y las flores masculinas y femeninas nacen de la misma inflorescencia y las flores femeninas abren primero. El desarrollo del fruto dura unos 9 ó 10 meses y maduran durante la próxima estación seca. Los árboles comienzan a fructificar a una edad de 10 a 12 años. El fruto, una gran cápsula leñosa, se presenta cerca puntas de las ramas; los frutos maduran, se abren y arrojan las semillas mientras todavía permanecen unidas al árbol madre, de donde deben ser colectadas.

Producción y diseminación de las semillas: los frutos del cedro comienzan a abrir de la parte superior del árbol hacia abajo liberando 40 a 50 semillas aladas cuando maduran. El peso de las semillas es un 8% a 10% del peso de los frutos maduros. Un kg contiene de 20.000 a 50.000 semillas aproximadamente. Las semillas miden de 20 a 25 mm de longitud, incluida el ala, y son dispersadas por el viento (Miller et al. 1957; Wadsworth 1960). Las semillas más pesadas, que caen bajo los árboles producen abundante regeneración natural todos los años; las semillas se desprenden durante la estación seca y pierden la viabilidad rápidamente.

Para conservar la viabilidad, las semillas deben conservarse a bajas temperaturas (Chaplin 1980; Marrero 1949; Marshall 1930). La germinación comienza con el inicio de la temporada de lluvias y es epigea; es bastante vigorosa y puede alcanzar hasta un 90 por ciento (Más Porrás 1974); no se conoce la existencia de dormancia en las semillas. La germinación es rápida y usualmente se completa en 2 a 4 semanas (Marrero 1949; Marshall 1930).

El desarrollo inicial de las plántulas es rápido si se dispone de la humedad y luminosidad adecuadas (Beard 1942; Pennington y Surukhan 1968; Whitmore 1971). Plántulas crecidas a la sombra se saturan fotosintéticamente a intensidades bajas y son tolerantes a la sombra, pero las plántulas que crecen a plena exposición requieren altas intensidades de luz para el mejor crecimiento (Inoue 1977, 1980). Las

plántulas de sombra son susceptibles a quemaduras de sol y el posterior ataque de insectos (Omoyola 1972); en sitios con deficiencias, cedro parece responder adecuadamente a la fertilización con N-P-K.

*Cordia alliodora* produce semillas abundantes cada año, durante varias semanas en el época más seca (Tschinkel 1967). La recolección es difícil, especialmente por la atura de las copas y el tamaño de los frutos, la presencia de hormigas y en ocasiones por falta de implementos apropiados. Los árboles seleccionados para la recolección de semillas de laurel debe estar alejados de árboles mal formados, libres de plagas y enfermedades (excepto las hormigas que viven naturalmente en ellos) y accesibles (CATIE 1994).

En Costa Rica el laurel alcanza la madurez sexual entre los 5 y 10 años (Johnson y Morales 1972); algunas procedencias costarricenses han florecido a los 4 años y producen semillas viables a los 5 años, cuando han sido plantadas en Surinam (Vega 1977).

En general, la fenología es bastante variable a lo largo del área de distribución, fenómeno que se presenta en las especies con rangos extendidos de distribución geográfica. La mayor floración ocurre entre los meses de febrero y marzo en América Central (Stead 1980) y se extiende hasta mayo, al menos en Costa Rica (Opler *et al.* 1975). En la parte sur de su distribución, la floración se produce antes, a partir de diciembre y enero (Vega 1977). En Puerto Rico no hay estaciones húmedas o secas marcadas y la floración tiene lugar en casi cualquier época del año (Little y Wadworth 1964). En Colombia laurel florece durante todo el año en Colombia y Ecuador, pero hay variación altitudinal; la zonas húmedas de alta montaña florece a principios de año, y en las áreas bajas secas florece más tarde, en julio y agosto (Mechior 1977). La polinización se realiza por el viento o por insectos del orden Lepidoptera, y las abejas (Johnson y Morales 1972). Los árboles tienen masas florales que son muy visibles desde grandes distancias (Stead 1980).

Los frutos son cilíndricos y maduran entre uno y dos meses después de la floración. Los frutos contienen una semilla de alrededor de 6 mm de longitud. Las semillas son dispersadas por el viento, sin embargo, pueden persistir en los árboles unas pocas semanas después de la maduración. La caída de semillas es por lo general muy variable ya que hay flores durante todo el año. En América Central el máximo de caída de se produce general en abril y mayo (Tschinkel 1967).

### **3.2 Fertilización y controles químicos**

Según Alvarado y Leiva (2012), no obstante que *S. macrophylla* es tolerante a condiciones de suelo de fertilidad baja, la aplicación de fertilizantes apropiados puede favorecer el crecimiento de los árboles recién trasplantados en estos sitios. Se estima que la aplicación de un buen programa de fertilización puede reducir los turnos de corta tal vez hasta 15-20 años, aunque el efecto de la aplicación de fertilizantes sobre la tasa de crecimiento y la calidad de la madera de la especie han sido poco estudiados (Mayhew y Newton 1998).

En un estudio desarrollado en condiciones de invernadero en la Amazonia, Kriebitzsch *et al.* (2000) encontraron que las plántulas de caoba tuvieron un requerimiento de nutrimentos con el siguiente orden  $K > Ca > S > Mg > P > Fe$ . Los autores no mencionan la edad de las plántulas utilizadas en el análisis, ni las características químicas de los sustratos analizados. Bajo condiciones de invernadero en Costa Rica,

empleando la técnica del elemento faltante, Paniagua y Toruño (2004) encontraron que al hacer crecer las plántulas de caoba en un Inceptisol y en un Ultisol, los requerimientos de la especie fueron diferentes; mientras que en el Inceptisol los requerimientos fueron  $P > Cu > B > Fe > N$ , en el Ultisol siguieron el orden  $B > Fe > Mn > Zn > N > P > Cu$ , recomendándose la adición de  $K > N > P$  para maximizar el crecimiento en ambos tipos de suelo.

Vendiola (1995) encontró que la aplicación foliar de nutrimentos cada dos semanas a plántulas de caoba en viveros de Mindoro, Filipinas, incrementó la velocidad crecimiento y fue económicamente rentable. En Pustaka, Indonesia, Mindawati (1990) menciona que la adición de niveles crecientes de N (0, 2,1, 4,2, 6,3, 8,4 y 10,5 g árbol<sup>-1</sup>) y de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 2,3, 4,6, 6,9, 9,2 y 11,5 g árbol) no afectó significativamente la altura o el diámetro de arbolitos de caoba, aunque la adición de 6,3 g N árbol con 11,5 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> árbol aumentó en un 30,3% la altura y la adición de 8,4 g N árbol con 11,5 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> árbol aumentó en un 34,0% el diámetro de los arbolitos.

Como parte de un estudio de crecimiento de *S. macrophylla* en gradientes topográficas de bosque natural del sureste de Pará, Brasil, Grogan (2003) desarrolló un experimento factorial con plántulas en dos clases de sotobosque (sombra y claro), así como en dos clases de suelos distróficos: 1) Espodosoles de condición hidromórfica, cercanos a ríos estacionales, arenosos y blancuzcos (pH 4,98-5,72, CICE 0,53-1,64 cmol(+) kg<sup>-1</sup>, saturación de acidez 8-39%) y 2) Ultisoles y Oxisoles, arcillosos, pardo amarillentos a rojos (pH 4,35-4,82, CICE 0,75-1,28 cmol(+) kg<sup>-1</sup>, saturación de acidez 73-87%). Los autores establecieron un experimento paralelo con los suelos citados, probando el efecto en el crecimiento de plántulas en vivero de la adición Ca y Mg (39% Ca + 5% Mg, mezclados como 3 kg m<sup>-3</sup> sustrato). El tratamiento tuvo un efecto positivo en el desarrollo de altura de las plántulas, independientemente de los dos suelos distróficos usados como sustrato. Aunque los autores no indican a que profundidad se tomó el sustrato utilizado, los resultados indican que el crecimiento de las plántulas de caoba se podría mejorar, reduciendo el tiempo de permanencia en el vivero, así como producir plántulas con mayor vigor para el establecimiento de una plantación.

En la Península de Yucatán en México, Wightman (2001) probó varios sustratos para la producción de plántulas en vivero de *S. macrophylla*. A manera de testigos, utilizaron los sustratos que los viveros forestales utilizan corrientemente: "suelo negro" o Vertic Luvisol y "suelo rojo" o Ferric luvisol. A estos sustratos se les adicionó diversas combinaciones de materiales de origen orgánico: cáscara de arroz, ceniza de cáscara de arroz, "humus" colectado debajo de hojarasca del bosque, estiércol de vaca, bagazo de caña y aserrín y fertilizantes químicos como 17-17-17 y urea. Las plántulas de *S. macrophylla* presentaron una tendencia contraria a lo esperado, pues la adición de materiales orgánicos a los sustratos tuvo un efecto negativo, incluso en las mediciones de individuos establecidos en el campo un año después. La adición de fertilizante 17-17-17 no generó diferencias importantes en el desarrollo de las plántulas.

Mexal *et al.* (2002) realizaron ensayos de fertilización en el Estado de Quintana Roo, México, con plántulas de vivero de *S. macrophylla*, utilizando como sustratos suelos comunes en el Estado, fertilizados y no fertilizados, así como distintos tipos de contenedores para las plántulas. Los autores no encontraron una respuesta importante en el crecimiento de las plántulas (biomasa producida y la altura

desarrollada en el vivero) de ambas especies en función de los tratamientos comparados, ni posteriormente en las plántulas establecidas.

*Cedrela odorata* tiene un bajo porcentaje de germinación y en vivero se logra el valor mayor utilizando arena como medio de enraizamiento (Mena *et al.* 2000), aunque su producción en vivero es común en Costa Rica. Paniagua (2004), citado por Alvarado 2012, realizó un ensayo de invernadero con plántulas de la especie *C. odorata*, utilizando bolsas plásticas con un Fluentic Dystropepts ácido y bajo en P disponible al que se le adicionó 0, 0,5, 1,0 y 2,0 t CaCO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> con una base de N y P y por aparte también se comparó la adición de 0, 140, 280 y 560 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Como resultado de la adición de cal el pH aumentó de 4,4 a 5,1, el contenido de Ca intercambiable de 1,4 a 4,6 cmol L<sup>-1</sup>, la acidez disminuyó de 2,75 a 0,50 cmol L<sup>-1</sup> y con la adición de P aumentó su contenido disponible de 3,4 a 9,8 µg ml<sup>-1</sup> (extraído con Olsen modificado). Debido a los cambios en el suelo, las plántulas de *C. odorata* presentaron un incremento positivo y significativo en altura, en diámetro y biomasa aérea y radical cuando se adicionó cal y significativo y positivo solo a la adición de 560 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

En general, la aplicación de cal al sustrato de crecimiento causó un mejor efecto sobre las variables de crecimiento de las plántulas que la adición de P y el único cambio positivo observado a nivel foliar fue el incremento de la concentración de Ca de 1,1 a 2,5 %.

En viveros de Colombia, Cantillo (1992) encontró, que la especie *C. montana* registró un aumento en altura con la adición de 30 kg N ha<sup>-1</sup> y de 30 kg P ha<sup>-1</sup> y niveles de K entre 0 y 15 kg ha<sup>-1</sup>; el incremento en diámetro respondió de manera similar al N y al P, verificándose una deficiencia de K en los testigos y un exceso del elemento al nivel de 15 kg K ha<sup>-1</sup>.

Según Alvarado y Raigosa (2012), con *Cordia alliodora*, al comparar el empleo de 10 g por recipiente de la fórmula de fertilizante 10-30-10 con la utilización de suelo sin fertilización, la utilización de 100% de compost o de 50% de compost a nivel de vivero, Wightman *et al.* (2001) encontraron que el tipo de recipiente utilizado afecta significativamente su crecimiento y que la aplicación de fertilizante 10-30-10 permite obtener el mayor aumento en altura, diámetro del cuello y peso seco de las plántulas de *C. alliodora*. En el caso de las variables superficie foliar y longitud de las raíces, no se encontró diferencia entre la aplicación de fertilizante y la de compost. El crecimiento de las plántulas de laurel en suelo sin enmiendas, solamente alcanzó el 4% y el 7% de la biomasa producida con fertilizante o compost, respectivamente.

Seis meses después de trasplantar las plántulas de cada tratamiento en al campo, las diferencias anteriormente mencionadas aún persistían, pero desaparecieron a los 12 meses después del trasplante; este hecho hace ver la necesidad de continuar con la fertilización al trasplante (Wightman *et al.* 2001). En el Ecuador, se recomienda aplicar abonos foliares con micronutrientes en dosis de 50 cm<sup>3</sup> por bomba de 20 litros cada quince días, las primeras adiciones altas en N y las últimas en K, con el fin de inducir la lignificación y producir un árbol resistente al trasplante (Corporación de Desarrollo Forestal y Maderero del Ecuador 2001).

La concentración foliar de N, P y K de *C. alliodora* no se ve afectada por el tipo de recipientes en que se siembre la especie, pero los contenidos de Ca y Mg son mayores que cuando se aplican NPK, debido al efecto de dilución causado por el mayor crecimiento de las plántulas. Se han encontrado correlaciones

negativas entre las concentraciones foliares de P, Ca y Mg y el peso seco de la biomasa, por lo que la respuesta estaba deficiente en N y K. Los valores de concentración foliar encontrados en el trabajo de Wightman *et al.* (2001) son inferiores a los encontrados por Bergman *et al.* (1994) en suelos de la región Atlántica de Costa Rica y en los casos de K y Ca, más elevados que los mencionados por otros autores en plantaciones de mayor edad (Cadena 1989; Drechsel y Zech 1991; Herrera y Finegan 1997).

### **3.3 Preparación y envío**

En vivero se pueden producir plántulas en bolsas de polietileno, para lo cual se trasplantan de las eras de germinación una vez las plantas han producido las primeras dos hojas verdaderas; también se puede producir como pseudoestacas, producidas en bancales, donde normalmente se han repicado las plántulas a distancias de 15-20 cm entre plántulas (la densidad en estos bancales no debería sobrepasar las 25 plántulas m<sup>-2</sup>).

En el caso de producción en recipientes (bolsas, tubetes, pellets) las plántulas van al campo cuando hayan alcanzado una altura de 20-25 cm; cuando se prefiere la producción de pseudoestacas, las mismas deben tener entre 1,5 y 2,5 cm de diámetro en el cuello, 5,0 – 10,0 cm de tallo, 15-25 cm de raíz (podando las raíces laterales), bien lignificadas, rectas, sin torceduras en la raíz o el tallo (CONIF 1988, OFI-CATIE 2001).

También se puede utilizar plantas enteras a raíz desnuda para su traslado al campo (CATIE 1994, SIRE 2010).

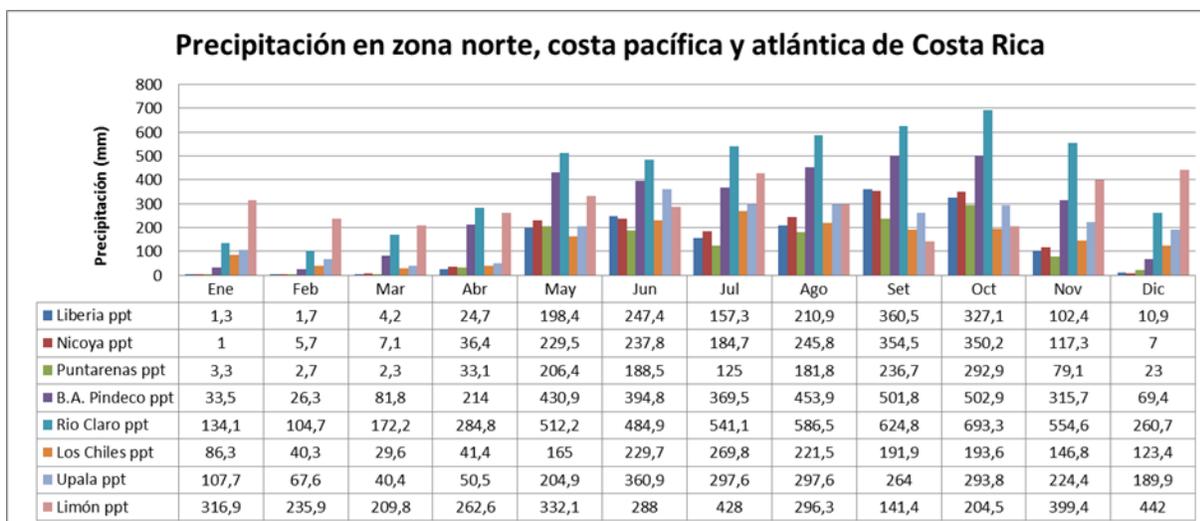
Dependiendo del tipo de plántula seleccionado se decide el sistema de envío: en bandejas con 25-30 plántulas en bolsas, bandejas de 96 o más pellets o tubetes, o protegidas, envueltas en papel humedecido para evitar desecación durante el transporte cuando se utilizan pseudoestacas o plantas a raíz desnuda.

La mejor opción es utilizar un vivero especializado que suministre las plántulas en el lugar de establecimiento definitivo.

## **4. Establecimiento**

### **4.1 Época de plantación**

Caoba, cedro y laurel, al igual que otras especies, deben establecerse preferencialmente al inicio de la temporada de lluvias; si se establecen junto a los cultivos agrícolas deberán hacerlo antes de los mismos, guardando los distanciamientos adecuados para no interferir con los cultivos. En Costa Rica, normalmente, la época de lluvias inicia en mayo y se extiende hasta octubre, noviembre en algunas áreas (figura 1).



**Figura 1. Distribución de la precipitación en zonas seleccionadas de Costa Rica (Fuente: IMN)**

#### 4.2 Protección de las plantaciones

Al igual que con otras especies, los árboles de las especies seleccionadas deben ser protegidas de daños producidos por el fuego (incendios forestales), el pisoteo y ramoneo de ganado y otros animales así como ataques de insectos y enfermedades, especialmente cuando se establecen como plantaciones puras. Normalmente estas especies se establecen en forma asociada con especies agrícolas, especialmente café, cacao u otros cultivos agrícolas, o mezcladas con pastos en producción silvo-agropecuaria. Los sitios plantados deben protegerse mediante rondas cortafuegos y cercos que impidan el ingreso de animales; es necesario implementar labores de vigilancia permanente para evaluar posibles riesgos y daños. Es común, adicionalmente, el establecimiento de cercos, incluyendo la presencia de otras especies para proteger a las plantaciones recién establecidas.

Dado que caoba y cedro son susceptibles a los ataques del barrenador de los tallos (*Hypsiphylia grandella*), es necesario asegurar el cuidado de las nuevas plantas lo que se logra mezclándolo con otras especies y a bajas densidades (se recomiendan distancias entre plantas entre 6 y 12 metros).

#### 4.3 Selección del sitio y preparación del suelo

La información que se consigna a continuación es un resumen de una amplia revisión bibliográfica sobre el tema realizado por Mayhew y Newton (1998) citada por Alvarado y Leyva 2012. *Swietenia macrophylla* tolera una gran variación de condiciones ambientales y se la encuentra en forma natural en bosques tropicales secos y húmedos, aunque se considera que su desarrollo natural óptimo ocurre en el bosque tropical seco.

La especie crece bien en sitios similares a los requeridos por el cultivo del café, con una precipitación anual entre 1.000-4.000 mm, una temperatura media anual entre 15-35°C y tolera una estación seca de 4 meses de duración. Es una especie que crece en las tierras bajas del trópico húmedo y subhúmedo, en elevaciones entre 50 y 1.400 msnm.

Por su adaptación a una región natural tan amplia, *S. macrophylla* ha sido descrita creciendo en una igualmente diversa cantidad de tipos de suelos, incluyendo los derivados de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, de origen desde aluvial hasta volcánico. La especie crece bien en suelos arcillosos hasta arenosos, prefiere suelos con pH neutro a ligeramente básico (aunque se la ha encontrado en suelos con pH 4,5), bien drenados con buena retención de humedad y no soporta períodos de inundación largos. Bajo condiciones naturales, los mejores crecimientos se han observado en suelos de origen volcánico y aunque tolera mejor que otras especies (p.e. teca) deficiencias nutricionales, no se desarrolla adecuadamente en suelos sobre-cultivados y degradados, en los cuales se encuentra poca materia orgánica, compactación o son muy poco profundos.

*Swietenia macrophylla* se emplea con frecuencia para controlar erosión en terrenos empinados; sin embargo, debe considerarse la interacción lluvia, tipo de suelo y posición en el relieve, pues en áreas sujetas a inundación se prefieren las parte medias y superiores de la pendiente, mientras que en áreas con mucha precipitación los suelos poco profundos de las cumbres pueden ser más apropiados para realizar la plantación. Hauxwell (2001) señala que la escogencia de sitios bien drenados y con fertilidad natural media a alta, constituyen un paso pertinente en esta especie, la cual puede ayudar a la plantación a soportar un eventual ataque de los barrenadores. Además, señala baja incidencia de la plaga en sitios ventosos, lo cual podría traducirse a un “control climático” sobre la incidencia de los barrenadores. Otra opción de control, consiste en mantener el sotobosque crecido, a manera de obstaculizar el vuelo torpe de las mariposas de *Hypsipyla grandella*.

*Cedrela odorata* es muy abundante en terrenos de bajura y pie de monte del bosque húmedo, siendo reemplazado por el cedro de tierra fría o cedro rosado (*C. montana*) y *C. lilloi*, en los cerros y lomas entre 1.800 y 2.900 m de altura, con precipitaciones medias de 2.000 mm (Cantillo 1992), o el cedro dulce (*C. tonduzii*), también conocido como ukur en lengua indígena cabécar, bribri y guatuso, rum-kra en lengua brunca y rru-rruga en lengua Térraba, el cual prospera entre 1.200 y 3.200 m de altura, con precipitaciones entre 1.000 y 2.700 (Arnáez *et al.* 1992), citado por Alvarado (2012). La especie *C. tonduzii* prefiere sustratos de textura franco arenosa, ya que se ha encontrado que el crecimiento radical de hasta 5 cm antes del repique no se ve favorecido por texturas arcillosas en el sustrato (Arnáez *et al.* 1992).

El cedro es un árbol nativo del Neotrópico que aparece como individuos esparcidos en bosques húmedos y estacionales mixtos, semi-siempre-verdes o semi-decuidos, dominados por otras especies en las zonas de vida Subtropical y Tropical. La especie prefiere suelos bien drenados y aireados de fertilidad alta. En Argentina y en los países caribeños, a menudo se lo encuentra en forma natural sobre suelos arcillosos bien drenados, pero no exclusivamente, de origen calcáreo; también se lo encuentra en Costa Rica sobre suelos ácidos bien aireados derivados de rocas volcánicas desde 0 hasta 1.200 msnm (Asociación Costarricense para el Estudio de Especies Forestales Nativas 1992).

Tolera períodos secos prolongados pero no prospera bien en áreas con más de 3.000 mm de precipitación o en sitios encharcados. Estudios realizados en Costa Rica, muestran que la especie crece hasta 5 veces más rápido cuando se planta en sistemas mixtos que como monocultivo, lo que se atribuye a una reducción del ataque de *H. grandella* y a una baja densidad de individuos por parcela (Piotto *et al.* 2004).

Según Alvarado y Raigosa (2012), a lo largo de su rango geográfico, *C. alliodora* ocurre bajo una amplia gama de condiciones ecológicas. Su crecimiento óptimo se obtiene en regiones con 1.300-2.000 mm de precipitación anual, aunque se lo encuentra en forma natural varían desde menos de 600 mm de precipitación y una estación seca de siete meses por año, hasta más de 6.000 mm de precipitación por año y desde el nivel del mar hasta 1.400 msnm en América Central y 2.000 msnm a latitudes menores en Colombia.

Generalmente se la encuentra formando rodales puros después de la tala del bosque, por lo que se la considera una especie pionera de claros y no típica del bosque maduro. Las procedencias de las zonas húmedas son superiores a las de las zonas secas para todas las características de crecimiento y forma (excepto la densidad de la madera); a los siete u ocho años, la altura y el diámetro de altura de pecho de las procedencias de la zona húmeda son generalmente el doble de las procedencias de la zona seca (Boshier y Lamb 1997).

*Cordia alliodora* sobrevive bajo un rango de condiciones nutritivas, como lo demuestra su amplia ocurrencia en áreas degradadas o abandonadas usadas alguna vez para pastizales o agricultura migratoria.

El rango se extiende desde tierras bajas planas, costeras, de arenas profundas e infértiles con poca materia orgánica (Entisoles y Oxisoles de Surinam), hasta tierras altas disectadas, con suelos volcánicos fértiles, profundos y ricos en materia orgánica (Andisoles en Colombia y Costa Rica). Sin embargo, el mejor crecimiento ocurre en zonas por debajo de los 500 msnm, en suelos bien drenados, de textura media, donde la precipitación promedio anual excede los 2.000 mm y la temperatura media anual es cercana a los 24°C.

Es una especie que se adapta muy bien al ser intercalada con plantaciones agrícolas, siendo un componente importante en la caficultura colombiana. Se ha empleado en plantaciones permanentes junto con café (*Coffea* spp.), cacao (*Theobroma cacao*), coco (*Cocos nucifera*), guayaba (*Psidium* spp.), poró (*Erythrina poeppigiana*) y cedro (*Cedrela odorata*); en temporales como plátano (*Musa* spp.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), arroz (*Oriza sativa*) y yuca (*Manihot sculenta*). En pastizales y en linderos crecen árboles dispersos.

La especie no tolera el drenaje interno pobre ni el encharcamiento, puede sobrevivir bajo sombra ligera, pero requiere exposición plena para crecer vigorosamente y en suelos fértiles mostrar un rápido crecimiento inicial. Peck (1976) no recomienda que se plante en vegas de ríos mal drenadas ni en suelos degradados recientemente abandonados en los que la fertilidad es baja y la competencia de gramíneas es fuerte.

El laurel crece en suelos de muy variadas condiciones, desde suelos franco arenosos profundos bajo condiciones secas, hasta suelos rojos arcillo limosos y pesados de los bosques de bajura, moderadamente bien drenados y relativamente fértiles; no se debe plantar en suelos con drenaje malo y excesivo, ni en suelos salino-sódicos o con laterita endurecida a poca profundidad (Poel 1988). En Costa Rica predomina en suelos poco desarrollados, fértiles y de origen aluvial, aunque también puede crecer en suelos desarrollados, laterizados o empobrecidos (Graves y McCarter 1990). *C. alliodora* prefiere suelos de fertilidad natural elevada y libre de inundaciones estacionales, suelos calcáreos, sitios

húmedos con buen drenaje y no debe sembrarse en terrenos degradados (Johnson y Morales 1972). Aunque el drenaje no parece afectar su crecimiento, se ha encontrado que la madera procedente de regiones pantanosas es de baja calidad (Pérez 1954). Giraldo *et al.* (1980), en Antioquia, Colombia, encontraron que las propiedades físicas de los suelos de origen muy variado, no afectaron el crecimiento del laurel, mientras que el pH ( $R^2 = 0,466$ ) y la capacidad de intercambio de cationes ( $R^2 = 0,525$ ) si lo hicieron, presentándose los mejores crecimientos cuando los contenidos de K intercambiable son altos, el pH es aproximadamente 5,5 y la CIC es mayor a 40 cmol (+) 100 g<sup>-1</sup> de suelo.

Alvarado y Raigosa (2012) citando a varios autores describen condiciones para el crecimiento de *C. alliodora*: Bergman *et al.* (1994) mencionan que el crecimiento del sistema radical de *C. alliodora* en suelos compactados por pastoreo es deficiente, lo que se traduce en una baja capacidad de absorción de nutrimentos. En suelos ácidos (hasta 80% de saturación de acidez), la especie tampoco crece adecuadamente, en particular si los contenidos de N, P y K son bajos, presentándose un desbalance K/Mg, cuando el contenido de Mg disponible es naturalmente elevado en el suelo. Herrera y Finegan (1997) mencionan que el árbol es más abundante en topografías onduladas que fuertemente escarpadas donde los suelos tienen poca acidez intercambiable.

Hummel (2000), describe el tipo de crecimiento de laurel en suelos de Costa Rica con pH 4,30 a 6,98, encontrando que la densidad de la plantación es el factor que más limitó las variables de crecimiento de la especie.

Reyes (1997) encontró que el incremento diamétrico de *C. alliodora* presenta una correlación lineal negativa con el contenido de acidez del suelo (-0,26) y potasio (-0,21), pero positivo con la forma del terreno (0,20) y el contenido de Zn disponible (0,19); el mismo autor menciona que al construir un modelo matemático que relacione el incremento diamétrico con las variables de sitio puede obtenerse un  $R^2$  de 86% si se consideran los contenidos de K y acidez intercambiables, la capacidad de intercambio de cationes efectiva y los contenidos de Mn y Zn disponibles.

#### *Preparación del terreno de para plantación*

Cuando se trata de caoba y cedro, ante una eventual condición anaeróbica del suelo causada por mal drenaje, compactación o un nivel freático alto, los individuos pueden perder vigor y ser más susceptibles al ataque del barrenador de meristemas (Hauxwell *et al.* 2001). Por esto, los terrenos a plantar deben estar bien drenados, o en su defecto debe diseñarse una buena red de drenajes que garantice el movimiento constante del agua en la plantación. Asimismo, se debe mecanizar y romper aquellas capas u horizontes del suelo compactadas por el pisoteo de ganado.

En programas de reforestación con *S. macrophylla* en suelos ácidos (pH 3,9–4,5 y 57% arcilla) de Indonesia dominados por la gramínea *Imperata cylindrica*, Otsamo *et al.* (1995) encontraron que al comparar la técnica de preparación total del terreno con la adición de herbicida con o sin fertilizante (60 g de 15:15:15 por plántula al trasplante y 150 g adicionales 18 meses después de la siembra), no se observaron diferencias significativas en las variables de crecimiento de la especie.

Aunque en Centro América no se recomienda hacer plantaciones puras de laurel (*C. alliodora*) debido a que tiene problemas de crecimiento, en particular cuando se planta en terrenos degradados (compactados, poco profundos o ácidos) o naturalmente pobres (potreros bajos en bases y en materia

orgánica y particularmente deficientes en P). Cuando se planta en suelos aluviales fértiles, asociado a cultivos como el plátano o el cacao, el crecimiento de la especie es normalmente bueno, si en adición se le agregan enmiendas o se mejora el drenaje natural moderado. En la tierra firme (suelos no pantanosos) del litoral pacífico de Colombia, Peck (1976) encontró que el laurel presenta un buen crecimiento inicial, aunque su yema terminal es muy susceptible a desviarse por la acción de las malezas, principalmente lianas, causando la deformación del fuste; las plantaciones densas tienen la tendencia a estancarse, requiriéndose espaciamientos amplios de unos 50 m<sup>2</sup> (200 árboles por ha) a los dos años, recomendándose una densidad de plantación inicial de 4x4 m.

## 5. Manejo

### 5.1 Densidad de plantación

Lemmens (2006) indica que caoba puede ir al campo, a raíz desnuda, o como plántulas en bola de tierra y aún como pseudoestacas (longitud del tallo de 20 cm, longitud de la raíz 20-40 cm, diámetro del cuello de la raíz 0,5-2,5 cm) o plántulas jóvenes recolectadas en el campo, o criadas en vivero; se prefieren las plántulas con raíces cubiertas (bola de tierra) de 3-4 meses de edad. *Swietenia macrophylla* se puede propagar *in vitro* e injertos. El espaciamiento en el campo es usualmente 2,5-3 m × 2,5-3 m., 4 m x 4 m, aunque asociado a cultivos como café o cacao se puede plantar a distancias de 8 m x 8 m, 10 m x 10m o aún 12 m x 12 m. Se encuentra regeneración natural abundante en muchas plantaciones maduras de caoba la cual puede ser utilizada para establecer la próxima cosecha, lo que reduce los costos de establecimiento de viveros y plantaciones.

Espaciamientos amplios de cerca de 4–5 m × 4–5 m son comúnmente utilizados por los agricultores de Kalimantan y Java, intercalando entre las líneas de caoba diferentes cultivos como yuca, maíz, maní, ahuyamas y otros cultivos agrícolas. Una vez establecida la plantación se puede sembrar pastos entre los árboles para pastoreo (Krisnawati et al. 2011).

CATIE (2006) en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá recomienda como distanciamientos de las especies arbóreas para servicio al café distancias que podrían oscilar entre 6 x 6 hasta 9 x 9 m, para densidades de 278 y 124 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En la actualidad, en la mayor parte de los casos se dejan los árboles de sombra como regeneración natural a espaciamientos irregulares. Si se dejan algunos árboles maderables para que cubran el estrato superior al café para formar sistemas multi-estratos, se podría recomendar la incorporación de laurel, cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macrophylla*), maría o alguna otra especie maderable valiosa a distanciamientos que podrían oscilar entre 9 x 12 y 12 x 12 m, para densidades de 93 y 70 árboles ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Caoba se ha plantado ampliamente en todos los trópicos en programas de reforestación. También se ha usado en sistemas agroforestales, donde además de la madera proporciona sombra. No se recomienda su plantación pura debido al ataque del barrenador, pero sí en combinaciones con otras especies maderables o en líneas de enriquecimiento en bosques y tacotales. Por lo general, los árboles jóvenes son respetados por los finqueros cuando se corta el bosque para hacer potreros o para usos agrícolas,

de manera que se pueden encontrar individuos de diversos tamaños dentro de las fincas. En algunos países (p. ej. Indonesia, Trinidad), ha sido plantada con fines de protección del suelo.

Hay evidencias de que la presencia de sombra lateral reduce el daño de la plaga, de manera que se puede recurrir a varias opciones, entre ellas: mezcla con otras especies arbóreas de crecimiento más rápido (ej. leucaena, eucaliptos); plantación en hileras dentro de bosquetes jóvenes o tacotales; o eliminación de malezas en carriles a lo largo de las líneas de plantación, dejando una franja con malezas en el centro, para permitir el desarrollo de barreras naturales entre las hileras de los árboles. La primera opción tiene la ventaja adicional de que los otros árboles pueden proporcionar ingresos a menor plazo, mientras se completa el turno comercial de la caoba.

En el caso de cedro, OFI-CATIE (2003) indica que, en general, no se recomiendan las plantaciones puras debido al barrenador del tallo. Es mejor mezclarlo con otras especies (*Cordia alliodora*, por ejemplo), a una tasa de 10-15 árboles por hectárea o, dado lo abierto de su copa, intercalarlo con cultivos. Su uso como árbol de sombra en cafetales es quizá el más común entre pequeños productores, principalmente en Nicaragua, pero también en el resto de la Región. Sin embargo, no gusta a todos pues algunos dicen que es "*muy caliente*" y bota las hojas en verano. En Nicaragua y México es muy frecuente como árbol aislado en potreros y zonas de cultivo, donde es respetado por su valor. En Costa Rica parece que regenera abundantemente en asocio con café o en sistemas bajo pastoreo extensivo si hay una fuente de semilla cercana y en lugares como Puntarenas lo encontramos en ocasiones en linderos. En Nicaragua y Costa Rica le encuentra a menudo como parte del huerto familiar.

Para laurel se han reportado espaciamientos de plantación de 2,5 m x 2,5 m; 3 m x 3 m; 4,0 m x 4,0 m (CATIE 1994), aunque asociado con cultivos (café, cacao) pueden presentarse en espaciamientos más amplios. Según OFI\_CATIE (2003), en plantaciones puras los espaciamientos varían de 3 x 3 m a 4 x 4 m, aunque a las densidades menores rápidamente ocurre competencia y se precisan raleos oportunos para que la plantación no se estanque y falle. En linderos lo normal es 2,5 m entre árboles, aunque necesitan raleos para dejar un espaciamiento final de 5 m. Donde el agricultor maneja la regeneración natural entre cultivos (perennes o anuales) puede ser beneficioso ralear/trasplantar a una edad joven, para ajustar el espaciamiento.

En México, en sistemas agroforestales, el espaciamiento recomendable es de 7 a 8 m entre hileras y plantas, de tal modo de dejar el espacio para establecer el cultivo agrícola sembrado a espeque (método tradicional regional) y en forma intercalada la especie forestal de rápido crecimiento, necesitándose 205 árboles de cada especie para una hectárea. Se recomienda utilizar el sistema de plantación marco real o tresbolillo. Esta distancia es debido a que el cedro es muy susceptible al daño del barrenador del cogollo, por el cual no debe establecerse en plantaciones puras, sino intercalado con otras especies de crecimiento rápido como la melina, cedro rosado, teca o paulownia, y le sirvan de barrera contra el insecto hasta que alcanza los 3 m de altura, además sirven de sombra en la primera etapa de su crecimiento

## 5.2 Control de malezas

Las tres especies son poco tolerantes a la competencia de malezas, por lo que se requiere controlarlas en las primeras etapas, especialmente en el caso de las meliáceas permitiendo el crecimiento vigoroso, para prevenir el ataque de *Hypsiphylia*, lo que exige un control riguroso durante los primeros tres años.

Krisnawati *et al.* (2011) indican que todas las malezas deben ser eliminadas de los sitios de plantación para caoba. El uso de espaciamientos pequeños elimina el crecimiento de ramas vigorosas, haciendo susceptible a la especie a plagas como el barrenador de los brotes.

Laurel también exige un control riguroso durante los primeros tres años debido a que las yemas terminales pueden desviarse fácilmente por la competencia con las malezas, lo cual produce deformación del fuste; los pastos, sobre todo los de porte alto, representan una competencia difícil de superar para el laurel. Un buen plan de limpiezas ayuda a contrarrestar este problema.

## 5.3 Fertilización

### 5.3.1 Requerimientos nutricionales para caoba

Alvarado y Leyva (2012), indican que en la revisión hecha por Drechsel y Zech (1991), se citan niveles foliares para caoba de forma incompleta, los cuales permiten realizar una interpretación parcial de los análisis foliares. Para el elemento N se mencionan síntomas de deficiencia a una concentración de 1,00% y niveles intermedios en 1,48%. En el caso del P, se mencionan niveles foliares de deficiencia y bajo de 0,06% y 0,08%, respectivamente. Niveles intermedios de nutrientes como K, Ca y Mg, corresponden a valores de 0,97, 1,61-2,12 y 0,13%, respectivamente. En el caso de los micronutrientes (datos en mg kg<sup>-1</sup>), los autores mencionan niveles intermedios en Mn (37), Fe (53-68), Al (25-51), Zn (10-13), Cu (13) y B (25-30).

Krisnawati *et al.* (2011) indican que la fertilización de las plántulas recién establecidas de *S. macrophylla* puede reducir la susceptibilidad a los daños producidos por la *Hypsiphylia*, al alterar la composición química de los brotes terminales o mejorar la tolerancia al presentar mayor vigor (Mayhew and Newton 1998). En Indonesia, los fertilizantes son aplicados después de la plantación, a razón de 75–100 g NPK por planta en un anillo alrededor de la misma.

Como especie de sucesión intermedia *S. macrophylla* se adapta a condiciones de poca luminosidad, variando su forma de acumular nutrientes en el tejido foliar (Gonçalves *et al.* 2005).

Webb *et al.* (2001) a nivel de invernadero y utilizando la técnica del elemento faltante, hizo la caracterización de los síntomas de deficiencia foliar para caoba (cuadro 2).

**Cuadro 2. Síntomas de deficiencias foliares en caoba (tomado de Webb et. al. 2001)**

Nutriente	Síntomas
N	El crecimiento se reduce y los tallos se tornan delgados y débiles. En la caoba los síntomas ocurren primero en las hojas jóvenes, en las cuales se desarrolla una clorosis verde pálida a amarillenta mientras que las hojas viejas permanecen de color verde brillante. Cuando la deficiencia es moderada, las hojas viejas se mantienen de color verde oscuro brillante y solo las hojas jóvenes desarrollan los colores descritos de la deficiencia. Al tornarse la deficiencia más severa hasta las

Nutrimento	Síntomas
	hojas viejas se vuelven de color verde pálido y si el avance de la deficiencia es muy rápido, puede ocurrir un enrojecimiento de la vena central de las hojas viejas, las cuales pueden tornarse de color broncea
P	En contraste a lo que sucede con otras muchas especies forestales, la deficiencia de P no presenta síntomas característicos en la hoja. Las plántulas sometidas a poco P disponible crecen más lento que las que tienen buena suplencia del elemento, sin que se note ninguna otra diferencia entre las plantas sanas y las deficientes. Cuando la deficiencia es severa y prolongada (4 a 5 meses de duración), las plántulas se notan muy afectadas en crecimiento y puede desarrollarse una clorosis ligera.
K	El primer síntoma visible de la deficiencia de K es el ondulado de los borde de las hojas jóvenes maduras. Cuando la carencia se hace más severa aparecen manchas cloróticas bronceadas entre las venas de la lámina y cerca de los bordes de las hojas jóvenes más maduras. Cuando estas hojas acaban de madurar, la necrosis se expande hacia los bordes formando un margen completamente necrosado. Al principio, la necrosis es más pronunciada hacia los ápices de la hoja y avanza hacia su base conforme la deficiencia se hace más severa. Si la deficiencia de K es muy severa, las hojas jóvenes también desarrollan una clorosis intervenal de color amarillo fuerte, principalmente entre la vena principal y los márgenes de la hoja, los cuales permanecen de color verde oscuro.
Ca	Los primeros síntomas son una clorosis intervenal de color amarillo pálido que luego se convierte en manchas necróticas asociadas a la clorosis amarillenta de las hojas nuevas. Luego se forma una necrosis marginal de color pardo en las hojas nuevas, la cual se extiende hacia las áreas intervenales para producir márgenes necróticos pardos con áreas cloróticas amarillo pálidas que separan la necrosis marginal de los tejidos verde oscuro alrededor de la vena central. Cuando la deficiencia de Ca es muy severa, las hojas emergentes son flácidas, marchitas y mueren. Eventualmente el meristemo deja de crecer y de producir hojas nuevas y las hojas jóvenes maduras (que mantenían su color verde oscuro), desarrollan la clorosis marginal amarillenta y la necrosis parda.
Mg	Aun cuando las plántulas aparentan ser normales, en las hojas nuevas maduras aparecen pequeñas áreas de tejido color pardo, principalmente entre las venas y hacia la vena central. Luego se forma un amarillamiento alrededor del área parda y la clorosis se expande para ocupar todo el tejido intervenal, mientras que las áreas pardas crecen y necrosan; las hojas jóvenes aún presentan una apariencia saludable. Cuando la deficiencia se hace más severa, las hojas jóvenes adquieren la clorosis amarillenta pálida intervenal, pero esta es mucho menos severa que la que ocurre en las hojas jóvenes maduras. Cuando la carencia es muy severa, hasta las hojas viejas muestran los síntomas de las hojas jóvenes maduras, apareciendo manchas pardas con halos amarillentos que se expanden generalmente en el área intervenal de toda la hoja.
S	Al principio, los síntomas más característicos son el color amarillo pálido de las hojas jóvenes mientras que las hojas viejas permanecen de color verde, lo que hace difícil diferenciar esta deficiencia de la de N, aunque en el caso de la deficiencia de S las venas son un poco más verdosas. Cuando la deficiencia se hace más severa, aparecen pequeñas áreas necrosadas en las hojas viejas, especialmente cerca de las venas. Eventualmente, las hojas viejas forman parches cloróticos entre las venas principales, los cuales después de algún tiempo, se esparcen sobre todas las hojas viejas lo que les da una apariencia de moteos en comparación con las hojas jóvenes.
Fe	El primer síntoma en aparecer es una clorosis amarillenta pálida en las hojas jóvenes recientemente maduras; en este estado, las hojas jóvenes presentan un color verde pálido saludable y las hojas viejas su color verde oscuro característico. Con el desarrollo de la carencia, las venas permanecen verdes como sucede en las hojas saludables, mientras que las áreas entre las venas de toda la hoja adquieren una coloración amarillenta pálida. Cuando la deficiencia es muy severa, las áreas entre las venas se tornan casi blancas y solamente las venas principales se mantienen de color verde pálido. Ahora, la clorosis aparece tanto en las hojas jóvenes maduras como en las nuevas en proceso de expansión, y algunas hojas viejas pueden mostrar algún grado de clorosis intervenal.
Zn	El primer síntoma que aparece en las hojas es una clorosis marginal ondulada que avanza

Nutrimento	Síntomas
	rápidamente por la lámina hasta que esta se torna casi blanca y con las venas principales verdes. En los márgenes de las hojas que recién emergen se inicia una clorosis amarillenta la cual crece hacia la lámina entre las venas secundarias; conforme la hoja madura, la clorosis es rodeada por un bronceamiento necrosado. Al hacerse los síntomas más severos, aparecen otros síntomas en las hojas; se desarrolla un tejido de apariencia acuosa entre las venas, principalmente hacia el pedúnculo, las cuales mueren y se vuelven necróticas y de color pardo oscuro rápidamente. Posteriormente, las hojas se hacen anchas y mueren, dejando los pecíolos en el área cercana a las puntas del tallo; esto permite observar los internudos cortos y la apariencia de enanismo de los tallos.
Cu	El primer síntoma visual que se nota en el follaje es el amarillamiento de las hojas jóvenes. Con el tiempo, las puntas de las hojuelas se retuercen y mal forman, similar a lo que ocurre con la deficiencia de B. Cuando la deficiencia es muy severa, las hojas maduras toman una coloración verde oscuro mientras que las hojas jóvenes desarrollan hojuelas malformadas; al inicio las puntas de las hojuelas se retuercen o rizan y desarrollan una necrosis parda antes de morir. Eventualmente las hojuelas mueren y caen dejando su pecíolo unido al tallo si la hoja es simple, o al raquis si la hoja es compuesta.
B	El primer síntoma de follaje es la aparición de una necrosis parda oscura intervenal en la base de las hojas jóvenes. Cuando la deficiencia se hace más severa, los bordes de las hojas en formación se ondulan y las puntas de las hojas se mal forman desarrollando una necrosis parda. Las hojas jóvenes son flácidas, marchitas y desarrollan una tonalidad rojiza en la parte inferior de la lámina. Cuando la deficiencia es muy severa, las venas terciarias de las hojas viejas desarrollan un clorosis amarillenta, por lo que las hojas aparentan estar moteadas; las puntas y los márgenes de estas hojas se necrosan y mueren. El sistema radical de las plantas deficientes en B se detienen y las raíces laterales reducen su tamaño dándole al sistema radical una apariencia comprimida. Si la severidad de la deficiencia aumenta, las raíces se decoloran y las más viejas toman un color pardo.
Mn	La deficiencia de Mn se manifiesta de varias maneras. En algunas hojas se nota una clorosis intervenal entre las venas de menor tamaño y en otros se desarrolla una necrosis marginal que se expande hacia adentro entre las venas secundarias.
Toxicidad Mn	Los primeros síntomas se notan en las hojas viejas maduras cerca de las venas principales y secundarias como manchas color pardo-claro pequeñas, rodeadas de una clorosis amarillo clara. Este síntoma es rápidamente seguido por el desarrollo de una clorosis amarillenta generalizada en la lámina de las hojas maduras recientes y hojas nuevas en vías de expansión, similar a lo que ocurre en plantas deficientes en N. Cuando la toxicidad es muy severa, las hojas viejas muestran una clorosis amarillenta muy marcada entre la venas que permanecen verdes; las manchas pardas se distinguen fácilmente en las hojas viejas en particular cerca de las venas y en los pecíolos.

### 5.3.2 Requerimientos nutricionales para cedro

De acuerdo con Guevara (1988), citado por Alvarado (2012), la mayoría de los estudios realizados con *C. odorata* coinciden en cuanto a los requerimientos edáficos de la especie y se señalan las siguientes características: fértiles ( pH 5,0-6,1, MO 2-6 %, P > 4 ppm, Al < 1 ppm, Ca > 5, Mg > 2, K 0,12-0,65, Na < 0,2, CIC > 15 cmol 100g-1 suelo), profundos, bien drenados, aireados, con buena disponibilidad de elementos mayores y bases intercambiables, características que promueven su crecimiento rápido y por ende mayor resistencia al ataque de insectos (barrenador).

Castaing (1982) menciona que debido a lo superficial del sistema radical, el crecimiento de *C. odorata* se afecta de manera negativa principalmente por condiciones físicas del suelo limitantes, entre ellas: no tolera condiciones de anegamiento, se desarrolla bien en regiones con una estación seca definida o en terrenos elevados con buen drenaje natural en regiones de alta precipitación pluvial, coloniza más

abundantemente suelos arcillosos que arenosos, es abundante en suelos profundos y porosos derivados de materiales calcáreos y se ve favorecida en su crecimiento por los cuidados que se le dan a los cultivos cuando se siembra en sistemas agroforestales.

Castaing (1982) encontró que aumentos en la densidad aparente del suelo afectaron negativamente la altura total, el diámetro de altura de pecho, el área basal y el volumen de *C. odorata*. Al efectuar los análisis de regresión, la densidad aparente y la porosidad total permitieron explicar el 68 y el 76% de la variación del DAP y la altura total, respectivamente, debido al efecto que tienen sobre la aireación y el movimiento del aire y el agua en el suelo, producto del efecto de la compactación. El mismo autor menciona que la especie es decidua, por lo que una vez al año deposita grandes cantidades de hojas sobre el suelo (Castaing 1982).

Alvarado (2012), citando a Webb et al. (2001) describe los síntomas de la deficiencia foliar desarrollados a nivel de invernadero para *C. odorata* utilizando la técnica del elemento faltante (cuadro 3).

**Cuadro 3. Síntomas de deficiencias foliares en cedro (tomado de Webb et. al. 2001)**

Nutrimento	Síntoma
N	Los síntomas se notan como una reducción rápida del crecimiento y un desarrollo de tallos delgados y débiles. Ocurren primero en las hojas jóvenes, en las cuales se desarrolla una clorosis verde pálida a amarillenta, mientras que las hojas viejas permanecen de color verde brillante. Cuando la deficiencia es más severa las hojas viejas se tornan color verde pálido. Las hojas nuevas pueden mostrar menos clorosis que las viejas, sin que esta sea pareja entre todas las hojuelas ya que generalmente las hojas terminales son más cloróticas que las que están cerca del tallo.
P	Aparte de la merma en crecimiento en plántulas deficientes en P, no se pueden distinguir otros efectos que diagnostiquen la deficiencia del elemento a menos que esta sea muy severa. Cuando la carencia es prolongada, el tallo de las plántulas pierde verdor y si la deficiencia es extrema, pueden desarrollar algún grado de necrosis, caída y enrollamiento de las hojas. Si se conoce el historial del vivero y se presenta un retardo en el crecimiento no atribuible a otras posibles causas, podría sospecharse de la deficiencia de P.
K	Las plántulas de <i>C. odorata</i> crecen menos y los tallos son delgados y débiles. La carencia de K afecta las hojas viejas más que a las jóvenes y el primer síntoma visible de la deficiencia es una clorosis ligera en la parte media de la lámina de las hojas viejas, seguida de una clorosis marginal en las hojas jóvenes recientemente maduradas, la cual rápidamente se convierte en una clorosis intervenal fuerte. A pesar de que las hojuelas desarrollan una clorosis severa, su base se mantiene verde y cuando se hace más severa sus puntas se necrosan. En estos casos, las hojas jóvenes comienzan a mostrar clorosis y algunas hojas viejas presentan pequeños y distintivos puntos necróticos en la parte media de las hojuelas.
Ca	Las raíces son pequeñas y delgadas y se detiene el crecimiento de las raíces laterales lo que le da al sistema radical una apariencia reducida en tamaño. La carencia de Ca se nota primero en las hojuelas, las cuales se retuercen o toman una forma de cuchara. En las hojas viejas se desarrolla una clorosis amarillenta en las puntas, la cual rápidamente muere y adquiere un color pardo desteñido, por lo que el área clorótica es normalmente muy angosta (similar a la que ocurre con la deficiencia de K). En algunas hojas, las hojuelas terminales se blanquean y mueren rápidamente dando la apariencia de que están flácidas.
Mg	Los primeros síntomas se notan como una clorosis amarillenta que comienza como intervenal en las hojas jóvenes y que se hace más severa conforme estas envejecen. En las hojas viejas, aparecen puntos pequeños y de color pardo los cuales tienden a crecer en forma difusa y a formar áreas necrosadas; posteriormente estos parches necróticos se blanquean y se juntan para formar áreas de mayor tamaño y de color blanco en el área

Nutrimento	Síntoma
	intervalo de las hojas.
S	Al principio, los síntomas más característicos son el color amarillo pálido de las hojas jóvenes mientras que las hojas viejas permanecen de color verde. La clorosis amarillenta es uniforme en la hoja y sus venas aunque puede variar a lo largo de la hoja o de las hojuelas, lo que hace difícil diferenciar esta deficiencia de la de N y S, aunque en el caso de N la deficiencia suele presentar primero en las hojas viejas. Cuando la deficiencia se hace más severa, las hojas viejas se hacen más cloróticas y se desarrolla una necrosis en las puntas de las hojuelas.
Fe	Los síntomas de la deficiencia de Fe se observan rápidamente sin que inicialmente se note una disminución de su crecimiento. Cuando la carencia se hace más severa, el crecimiento de los tallos se reduce y estos se tornan delgados y débiles. La carencia de Fe se nota más en las hojas viejas las cuales adquieren una clorosis amarillenta desteñida uniforme en toda la hoja, incluyendo las venas, diferente a lo que se describe como deficiencia de Fe en otras especies.
B	La deficiencia de B tiene varias formas de expresarse; al inicio las plántulas detienen su crecimiento y presentan un enanismo y entrenudos cortos. Luego ocurre la muerte de las hojuelas terminales y la abscisión de las hojas emergentes. En pocos casos, pueden presentarse hojas viejas lobuladas, cloróticas y con pequeñas áreas necróticas blanquecinas. En algunas hojas se puede presentar un acorchado pardo cerca de la nervadura central de las hojuelas.
Mn	Los síntomas de la deficiencia de Mn son más severos en las hojas jóvenes que en las viejas, de manera que toda la planta adquiere una coloración amarillenta pálida, más visible en las hojas jóvenes. En las hojuelas, la clorosis es más localizada que generalizada y en las hojas jóvenes las hojuelas pueden adquirir una forma anormal, hasta que la clorosis forma parches necróticos de color pardo.
Toxicidad Mn	El género <i>Cedrela</i> parece ser extremadamente susceptible a la toxicidad de Mn. Las plántulas en solución nutritiva alta en Mn detienen su crecimiento y a menudo mueren rápidamente. Las plántulas menos susceptibles desarrollan una clorosis amarillo fuerte en todas sus hojas, la cual a menudo se presenta entre las venas pero eventualmente cubre toda la hoja. También se presentan manchas pardas en el tejido clorótico de toda la hoja, las cuales se notan hasta la muerte de la misma.
Mo	La deficiencia causa una reducción en su crecimiento y una clorosis de coloración verde pálido a amarillo pálido más evidente en el crecimiento nuevo aunque la plántula como un todo se muestra como ligeramente clorótica. Conforme la deficiencia progresa, se desarrolla una clorosis amarillo pálida en la sección basal de las hojuelas jóvenes y también se notan pequeños puntos pardos en la lámina. Cuando la deficiencia es muy severa las venas tienen una coloración ligeramente más verdosa que la de los tejidos circundantes.
Toxicidad Al	Cuando se presenta la toxicidad de Al, las plántulas crecen menos y los tallos se hacen delgados. Toda la plántula adquiere una coloración amarillo pálido en particular entre las venas de las hojas jóvenes.

### 5.3.3 Requerimientos nutricionales para laurel

De acuerdo con Peck (1980), el laurel primero desarrolla una raíz principal fusiforme con numerosas raíces laterales superficiales, que a los dos años se extienden en un radio de 4-5 m y a una profundidad de 5-10 cm, por lo que su fertilización debe efectuarse a la base del tronco. Al cabo de dos años y medio, este sistema cambia a otro de raíces axonomorfas o raíces de anclaje (en inglés sinker roots). No se encontró información relacionada con la cantidad de nutrimentos absorbidos por la especie ni sobre curvas de absorción de nutrimentos.

Según Alvarado y Raigosa (2012) *Cordia alliodora* presenta un grado de autopoda variable en función de que se encuentre en el bosque o bajo condiciones abiertas; los árboles adultos son deciduos, incluso en climas no estacionales, perdiendo sus hojas durante un período de uno a dos meses después de la producción de semilla (Boshier y Lamb 1997). La mayoría de los árboles de *C. alliodora* pierden parte de su follaje durante la época más seca del año, generando la formación de un mantillo sobre el suelo. La descomposición lenta del follaje puede ser ventajosa al disminuir el riesgo de pérdida de los nutrientes liberados que, caso contrario, podrían perderse por lavado. Sin embargo, la tendencia de las hojas de *C. alliodora* a descomponerse lentamente, debido a ser un material con alto contenido de lignina y a la tendencia al enrollarse cuando se secan, puede crear un compartimiento en el suelo en el que se acumula temporalmente N, Ca y Mg, elementos con alta concentración en el tejido foliar (Babbar y Ewel 1989). Cuando *C. alliodora* se asocia con café y poró, se han encontrado grandes diferencias en la adición de K, Ca y Mg entre las diferentes asociaciones pero no en las adiciones de N y P, alcanzándose con el reciclaje de nutrientes los niveles de fertilización requeridos para la producción de café; la inclusión de *C. alliodora* con *C. arabica-E. poeppigiana* resulta en una adición de nutrientes a través de año muy bien distribuida (Glover y Beer 1986). Bermúdez (1980) menciona que cuando el cultivo del café se realiza en asocio con árboles (incluyendo *C. alliodora*) la pérdida de suelo por erosión en suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas de la serie Colorado, Turrialba, Costa Rica se reduce entre 70-85% en relación al suelo perdido con café sembrado sin sombra; de esta manera, el laurel también contribuye a un mayor reciclaje de nutrientes al reducir su pérdida por erosión.

Para disminuir el efecto de la translocación de nutrientes de las hojas hacia las flores y frutos, el muestreo foliar de *C. alliodora* debe realizarse al menos un mes antes o después de iniciada o terminada su floración, la cual en México, Centro América y el Caribe generalmente se inicia cerca de diciembre, pudiéndose extender hasta abril, mientras que en el extremo sur de su rango geográfico se inicia en enero. Pareciera que la floración es más prolongada en climas no estacionales, como ocurre en Colombia donde la especie florece durante todo el año (Dossier y Lamb 1997).

A nivel de vivero, Cadena (1989) menciona los siguientes niveles críticos en el tejido de las plántulas de *C. alliodora*: N 2,46-2,98%, P 0,26-0,36%, K 0,91-1,12%, Ca 1,42-1,65%, Mg 1,17-1,33%, S 0,26-0,30%, Fe 125-142 mg kg<sup>-1</sup>, B 64-69 mg kg<sup>-1</sup>, Mn 64-77 mg kg<sup>-1</sup>, Zn 55-64 mg kg<sup>-1</sup>, Cu 32-41 mg kg<sup>-1</sup> y Mo 16-20 mg kg<sup>-1</sup>.

Cadena (1989) citado por Alvarado y Raigosa (2012), presenta los síntomas de deficiencias presentadas en las hojas de laurel.

**Cuadro 3. Síntomas de deficiencias foliares en cedro (tomado de Cadena 1989)**

Nutriente	Síntoma
N	Plantas con clorosis total y evolución necrótica en la hoja, del ápice a la base. La clorosis se presenta en sus primeros estados con una tonalidad 5Y 8/8 a 8/10 de forma inter reticular de la periferia hacia el centro, acompañada de manchas color rojizo 5YR 6/6 en toda la lámina. En su periodo final se registra una defoliación total.
S	Hojas con nervios centrales y laterales cloróticos. El síntoma comienza con un desvanecimiento de 2,5 GY 5/8 hacia el ápice, continuando con 2,5 GY 7/8 en moteado, para finalizar con una clorosis venal 2,5 GY 8/10. Sobre el final se aprecia una defoliación marcada en el tercio superior de la planta.

Nutrimento	Síntoma
K	Hojas con clorosis intervenal. La planta presenta inicialmente una tonalidad 2,5 GY 7/8 a 7/10 acrópeta que avanza hasta cubrir toda la planta con una tonalidad en la lámina foliar de 7,5 YR 7/10. En un estado avanzado se sucede epinastía foliar generalizada, con retardo en las yemas apicales.
Mn	Clorosis distal en manchas 5 Y 8/5. Se puede apreciar un color 2,5 GY 8/6 en los primeros estadios en forma de manchas del borde hacia el centro, con doblamiento ventral apical persistente que atrofia la parte acuminada.
P	Tono rojizo 2,5 YR 4/8 hacia el borde del limbo con persistencia del tono verde intervenal. Venas de color verde-rojizo 7,5 YR 7/10 en hojas adultas. En hojas jóvenes la tonalidad rojiza se presenta más definida, 10 YR 4/8, en los bordes con clorosis incipiente intervenal.
Zn	Nervadura central y lateral con tonalidad rojiza 7,5 YR 8/6, con ampliación en sus bordes. Color verde-azuloso 5 G 8/4 intervenal. Las hojas presentan en sus primeros estados un viraje hacia un verde claro, 2,5 GY 7/5, acompañado de un crecimiento sobre la superficie del limbo. El color evoluciona a 5 Y 8/8 para finalizar en 5 G 8/4.
Ca	Clorosis inter reticular en la zona central de la hoja, 2,5 Y 8/6, con nervación de color verde. En los márgenes se aprecia un tono amarillo-rojizo 5 YR 7/10, a manera de cordón que rodea toda la periferia. En un estado intermedio se define una acentuada clorosis 5 Y 8/10 en los folíolos terminales que se incrementa a 5 Y 7/10 en toda la planta hasta alcanzar un alto grado de defoliación.
Mg	Se advierte una clara disposición de la clorosis 5 GY 6/8 de la mitad de la hoja hacia el ápice con la otra mitad en tono rojizo 5 YR 6/10. La mitad clorótica se destaca por la nervación de color amarillo y por el tono verde-amarillo intervenal. Al iniciarse el síntoma se observa una leve clorosis 2,5 GY 6/10 a 6/8 continuando como 2,5 GY 7/9 en moteados. Así mismo, se aprecia por breve tiempo en las hojas terminales puntuaciones 5 R 3/2 que dan paso a perforaciones de la lámina (perdigones).
Fe	Típico moteado clorótico inter reticular 5 Y 8/12 en toda la superficie foliar con evolución a una tonalidad rojiza 10 R 6/8. Se parte de una clorosis incipiente 2,5 GY 7/8, que continúa en 5 Y 8/10 para finalizar en 5 Y 8/12. En el desarrollo del síntoma se observa un rizado en los márgenes de las hojas con rosetamiento ventral en el ápice.
Mo	Moteado clorótico difuso inter reticular 5 Y 8/6 que cubre toda la lámina foliar. Se inicia con una leve clorosis inter reticular 2,5 Moteado clorótico difuso interreticular 5 Y 8/6 que cubre toda la lámina foliar. Se inicia con una leve clorosis interreticular 2,5 YR 8/10 que culmina en 5 Y 8/6.
B	Se aprecia abundantes plegamientos centrales con doblez transversal en la parte media de las hojas que conforman las yemas terminales (aspecto de mariposa). Así mismo, se observa anisotropismo en el desprendimiento verticilado-plagiotrópico. Circunmutaciones terminales en el eje caular que acompaña las yemas terminales. Se presenta inicialmente una tonalidad amarillo-rojiza 5 YR 5/6 en las hojas del tercio inferior a manera de manchas que degenera al final en una clorosis 5 Y 8/10 hacia los márgenes de las hojas.
Cu	Se suceden pequeñas comisuras laterales que van creciendo en aspecto de rasgado de la lámina foliar, que a la postre constituyen lobulamientos. Igualmente se dan pliegues centrales longitudinales sobre la nervadura central hacia la base de la hoja acompañadas de quemazón sobre el dorso del quiebre.

Nutrimento	Síntoma
<b>NOTA:</b> Esta se diseñó empleando el sistema de nomenclatura de la “Munsell Color Chart for Plant Tissue”, donde: GY = verde-amarillento, Y = amarillo, YR = amarillo-rojizo, G = verde y R = rojo.	

#### 5.4 Podas

El efecto más importante de los ataques de *Hypsiphylia* es la bifurcación de los fustes de los árboles atacados, lo que reduce su valor comercial. La efectividad de la poda para mitigar los daños y mejorar la forma de los fustes ha sido ampliamente investigada (Gripma 1973, Lamb 1996, Cornelius 2001).

Se pueden distinguir dos tipos de poda en caoba y cedro: la poda sanitaria, en la cual se corta el brote atacado en un punto debajo de donde termina el daño, eliminando la infestación y dejando un corte impecable que cicatriza rápidamente; aparentemente los árboles podados parecen reiniciar su crecimiento más rápidamente que los árboles atacados.

Cuando el árbol rebrota después del ataque, o después de la poda sanitaria, se debe realizar la poda de formación para dejar solamente el mejor brote una vez haya lignificado lo suficiente para disminuir los riesgos de reincidencia del ataque en los mismos; los dos tipos de poda son fáciles de realizar hasta alturas de 2,5 m con tijeras; a partir de esta altura se deberá utilizar escaleras o tijeras de extensión. Las podas de formación deben realizarse al menos una vez al año, durante los primeros años de crecimiento de los árboles tanto de cedro como de caoba, ya se trate de plantaciones puras o de árboles mezclados con otros cultivos, teniendo el cuidado de realizarlo a ras del fuste, para evitar la formación de muñones y nudos muertos en la madera (Cornelius *et al.* 2001).

Las plantaciones de *Switenia spp.* y cedro (*Cedrela odorata*), (incluyendo el establecimiento de la especie junto a otros cultivos) deben recibir oportunamente, los cuidados culturales que sean necesarios, tales como reposición de fallas, limpieza de malas hierbas –durante los 4 o 5 primeros años- poda de las ramas, etc. Es recomendable podar, lo antes que sea posible y sin esperar a que engruesen, las ramas de los árboles de caoba, a fin de que formen fustes limpios y rectos hasta la altura necesaria para obtener 2-3 trozas de buena calidad. También es necesario efectuar podas de las ramas de las plantas asociadas que puedan perjudicar el normal desarrollo de las caobas. La poda temprana reduce la incidencia de plagas como el barrenador y mejora la calidad de la madera (Lamb 1996, Krisnawati 2011).

*Cordia alliodora* se conoce como una especie con fuerte autopoda, sin embargo Méndez *et al.* (2001) llaman la atención sobre la necesidad de podar las ramas bajas de los árboles. El espaciamiento recomendable es de 7 a 8 m entre hileras y plantas, de tal modo de dejar el espacio para establecer el cultivo agrícola sembrado a espeque (método tradicional regional) y en forma intercalada la especie forestal de rápido crecimiento, necesitándose 205 árboles de cada especie para una hectárea. Se recomienda utilizar el sistema de plantación marco real o tresbolillo. Esta distancia es debido a que el cedro es muy susceptible al daño del barrenador del cogollo, por el cual no debe establecerse en plantaciones puras, sino intercalado con otras especies de crecimiento rápido como la melina, cedro rosado, teca o paulownia, y le sirvan de barrera contra el insecto hasta que alcanza los 3 m de altura, además sirven de sombra en la primera etapa de su crecimiento de la especie, ya que pueden dar lugar

a nudos muertos que disminuyen la calidad de la madera, así como punto de ingreso de enfermedades (hongos de la pudrición) y termitas en árboles adultos.

Los árboles en líneas, linderos o en espaciamientos grandes tienden a ramificar más que los árboles en bloques compactos debido a la menor competencia lateral. No debe podarse más del 30% de la copa en un momento dado; CATIE (1994) recomienda podas hasta 7,0 metros cuando se desea obtener al menos dos trozas limpias.

### 5.5 Raleos

El objetivo principal de los raleos es mejorar el crecimiento de los árboles remanentes, que presentan una forma aceptable para la cosecha final. Los árboles seleccionados para el raleo, generalmente son los de mala forma, suprimidos o aquellos que están enfermos o presentan infestaciones de hongos o insectos o ambos; el raleo selectivo de los árboles dañados asegura que las semillas cosechadas después de los raleos son genéticamente menos susceptibles o tolerantes a los ataques (Krisnawati et al. 2011)

En condiciones favorables *S. macrophylla* alcanza la madurez (cortabilidad natural), entre los 45 años y los 50 años. Si esta especie no se planta con espaciamiento muy amplio, los primeros aclareos habrá que realizarlos entre los 6 y los 10 años y continuarlos, progresivamente. A los 20 años se recomienda mantener unos 400 árboles ha<sup>-1</sup>, teniendo cada árbol 25 m<sup>2</sup> de espacio vital: a los 35 años o 40 años deben quedar en pie unos 200 árboles ha<sup>-1</sup>, con un área de incidencia de 50 m<sup>2</sup> para cada árbol. Huguet (1951) y Chapuis (1955), citados por Lamb, B. (1966), informan que las plantaciones hechas en Antillas Francesas en 1906, indican que al final del turno de 45 años pueden quedar para la corta final 200 árboles ha<sup>-1</sup>.

En plantaciones de cedro establecidas a espaciamientos de 3,0 m x 3,0 m o mayores, se hace necesario realizar raleos (de 50% o más) a los 6 y 12 años, para seleccionar los mejores árboles y llegar a una cosecha final de 150 – 200 árboles ha<sup>-1</sup>.

En sistemas agroforestales, con densidades inferiores a 200 árboles ha<sup>-1</sup>, no se hace necesario raleos de caoba, cedro o laurel hasta llegar a la cosecha final, excepto que de requiera un raleo de tipo sanitario.

En plantaciones de laurel, CATIE (1994) recomienda, para plantaciones con un espaciamiento inicial de 3,0 m x 3,0 m, un raleo de 50% a los 3-4 años, un segundo raleo de aproximadamente 50% entre los 8-11 años con cosecha fina a los 30 o más años y una población de 200 árboles ha<sup>-1</sup>.

### 5.6 Crecimiento

La caoba es un árbol de copa dominante, puede llegar a alcanzar una altura de 70m (promedio 30-40m) y de diámetro altura al pecho (dap) de 350 cm (promedio 70-130cm); es una especie deciduo, con considerable variación del tamaño de las hojas y textura, de acuerdo con el sitio y una característica notable es que puede evitar y tolerar al mismo tiempo el estrés hídrico (Lamb, 1966). Snook (2003) encontró que la mayor tasa de crecimiento del diámetro de la caoba se produce entre los 15 y los 30 años de edad. En bosques naturales, plantíos de enriquecimiento en bosques secundarios y plantaciones, el incremento del diámetro y la altura varían en función del sitio y de las diferencias genéticas de las semillas. En todos los casos, la caoba presenta una gran capacidad de crecer

rápido. Las tasas de crecimiento en bosques tiende a ser menores que en las plantaciones: 0,14 a 0,36 cm año<sup>-1</sup> (Lamb, 1966).

Comúnmente, en América Central y el norte de América del Sur, café y cacao se asocian con árboles de sombra para la producción; los resultados positivos del asocio dependen mucho de las especies que se utilicen, del manejo que se le dé a los árboles, de la forma del asocio y de las condiciones del clima en cada lugar. En general, la utilización de árboles es más ventajosa en zonas marginales con suelos pobres y con pendientes acentuadas, sujetos a afecciones micro climáticas como una baja disponibilidad hídrica y vientos fuertes (DaMatta et al. 2008). En Honduras el IHCAFE (Instituto Hondureño del Café) realiza esfuerzos para que los cafetaleros planten árboles maderables de alto valor comercial en sus fincas, logrando diversificar con especies como cedro (*C. odorata*), caoba (*S. macrophylla*) y laurel (*C. alliodora*). En un estudio realizado en Guatemala por Martínez (2005), se concluyó que la mejor rentabilidad de colocar especies maderables en los cafetales fue para cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia humilis*), tomando en consideración los precios del mercado y cadenas de valor regionales por metro cúbico de madera neta aprovechable.

Según Jimenez (2012), en un estudio realizado en Costa Rica, el crecimiento en diámetro, altura y volumen del laurel fue 4,36 veces mayor en sistemas agroforestales que en plantaciones puras (Somarriba et al. 2001). En Honduras Viera y Pineda (2004) revelaron que en plantaciones de *C. odorata* en linderos de cafetales se puede lograr un incremento medio anual (IMA) de 1,09 m en altura y 3,77 cm en diámetro, lo que representa en 20 años una producción de 0,88 a 7,18 m<sup>3</sup> de madera en rollo por árbol. En Ecuador Suatunze et al. (2009) reportaron un mayor IMA en volumen ha<sup>-1</sup> en asociaciones con café y plátano que en plantaciones puras de laurel (*Cordia alliodora*), teca (*Tectona grandis*) y guayacán (*Tabebuia neochrysantha*).

Lujan et al. (1996) encontraron en cercos vivos de *C. alliodora* de seis años de edad en Talamanca, Costa Rica, un diámetro promedio de 24,8 cm y 16,7 m de altura y un volumen de 75 m<sup>3</sup> km<sup>-1</sup>. Mediciones del crecimiento de *C. alliodora* en sistemas silvopastoriles (SSP) en la provincia de Limón, Costa Rica (CATIE 1994), indican que para densidades de 175 árboles ha<sup>-1</sup> en asocio con *Brachiaria humidicola* el incremento medio anual (IMA) para árboles de 36 cm de dap en promedio (15 cm mínimo y 54 cm máximo) fue de 0.7 cm año<sup>-1</sup> (0.1 cm mínimo año<sup>-1</sup> y 1.7 cm año<sup>-1</sup> máximo).

Hernández et al. (1997) encontraron en Costa Rica que los incrementos en diámetro y altura para *C. alliodora* fueron mayores en los primeros siete años y se produjo una reducción a partir del séptimo año, debido probablemente a la competencia entre copas. Los mejores IMA por árbol fueron reportados en densidades menores de 64 a 100 árboles ha<sup>-1</sup>, además la producción por planta de café en densidades de 100 árboles maderables ha<sup>-1</sup> fue similar a la producción por planta a pleno sol.

Villareal et al. (2006) Evaluaron SAF con papaya en Venezuela y encontraron que el comportamiento del crecimiento medio anual en dap fue de 1,84 cm y 2,08 cm, dependiendo del distanciamiento de siembra para caoba (*S. macrophylla*), y de 2,84 cm y 3,44 cm para cedro (*C. odorata*), siendo *C. odorata* la especie más exitosa en crecimiento medio anual en los dos primeros periodos evaluados. En términos económicos el ingreso total descontado al año cero, es mayor en un 65% para el componente agrícola aportando el 35% el componente forestal en el caso de caoba y en el caso de cedro, el componente forestal aporta el 55% mientras que el componente agrícola aporta el 45%, considerando una

mortalidad inicial de 84% para caoba y 54% para cedro, debido al mal manejo de la plantación, entre otros factores.

Según Dzib (2003) los árboles maderables son una fuente de ingresos para los caficultores, pero para la venta de los árboles hay que esperar a que estos alcancen una altura y diámetro comercial. La venta de madera representa un alto porcentaje respecto a los ingresos de café durante el mismo tiempo de cultivo; estos pueden ser desde 6 hasta 83%, dependiendo de los precios de mercado de la especie plantada (Jimenez 2012). En Ecuador, la extracción de madera en SAF representó ingresos por finca del 2.5% de los ingresos totales, en comparación a los ingresos de café y cacao, considerando que en promedio por finca se extrae 6,6 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>.

En un estudio realizado en 0,7 ha de café Santa Bárbara, Honduras (Viera y Pineda 2004), los árboles de cedro (*C. odorata*) a un distanciamiento de plantación de 17 m, representaron un ingreso de 25,7% con respecto a la producción de café anual. Este cálculo no considera los costos de plantación ni mantenimiento, ya que no existieron intervenciones de manejo a los árboles. Probablemente el manejo y desarrollo de podas fitosanitarias a los árboles hubiese significado mayores ingresos por la venta de la madera.

Sin embargo, a pesar de los ingresos que se pueden obtener por la venta de madera existe el inconveniente del daño causado por el árbol al momento del aprovechamiento. Somarriba (1992); Somarriba (1997) y Mushler (1999) sugieren algunos mecanismos para atenuar el impacto que la cosecha del árbol de sombra puede ocasionar al café: i) la madera se aprovecha en años de bajos precios o baja producción de café; ii) es recomendable cortar y extraer los árboles después de la cosecha y antes de la poda del café o renovación del mismo; iii) los árboles dispuestos entre las calles se pueden cosechar a través de una corta direccional entre calles; iv) en laderas, los árboles se tumban hacia arriba para menguar el impacto de ellos sobre el cultivo y para reducir el riesgo de rajaduras del fuste; y v) si es posible se poda la copa antes de cortar el árbol.

El 72% de los productores que plantan cedro y caoba en Honduras prefieren maderables de alto valor comercial (Jiménez 2012). Sin embargo, también usan frutales, granos básicos y bovinos como estrategia de diversificación de sus fincas. El 16% de los productores expresó motivación para la diversificación con frutales, pero en campo se observó que el 95% de las parcelas muestreadas poseen *Musa spp.*, esto quizá se deba a que los productores no consideran una fruta el banano.

En un estudio realizado en Honduras (Jimenez 2012) entre productores de café registrados en IHCAFE que han establecido plantaciones maderables (puras, asociadas con el café o en linderos en sus cafetales). La muestra incluyó las fincas donde: i) habían plantaciones de cedro y caoba en asocio con café; y ii) existía un mínimo de 30 árboles por parcela de una sola especie. Un total de 287 parcelas reunieron estos criterios de selección. Al excluirse todas las parcelas que tenían 1 año de edad, se obtuvo una muestra de 244 parcelas: 65 de caoba y 179 parcelas de cedro. En total se midieron 4,306 árboles, incluyendo 3,200 árboles de cedro y 1,106 árboles de caoba.

Ninguno de los productores había realizado raleos a sus plantaciones y solamente el 11% realizó podas de formación a la plantación. El 100% de los productores afirmó nunca haber fertilizado la plantación maderable y solamente el 1% de los productores fertilizan el cafetal. El productor de café en general

planta los maderables dispersos en el cafetal. Sin embargo el 18% los establece a distanciamientos de siembra a 3x3 y 6x6 m en la etapa inicial de la plantación. El 99% de los productores de café entrevistados afirmaron que su mayor problema con cedro y caoba se presentó en la etapa inicial de crecimiento, donde fueron fuertemente atacados por *Hypsipyla grandella*. El conocimiento local para el manejo y disminución de daños por *H. grandella* fue básicamente a través de podas de control y algunas excepciones con el uso de fertilización química. En general el 78% de los productores observaron que el ataque es principalmente en época lluviosa.

Los resultados encontrados con *C. odorata* mostraron una alta variabilidad en las edades (20 edades diferentes) desde 2 hasta los 32 años, con dap mínimos de 0,11 cm en las edades más jóvenes y máximos de hasta 94,54 cm a los 32 años de edad (cuadro 4). Las alturas totales mínimas fueron de 1,8 m, alcanzándose alturas máximas de hasta 27,43 m. Existe mucha variabilidad de los datos obtenidos en campo, obteniéndose una desviación estándar de 12,64 cm en dap y hasta 4,79 m en altura total a los 30 años de edad.

Cuadro 4. Diámetro (1,3 m) y altura total de árboles de cedro como sombra en cafetales de Honduras.

Edad (años)	Árboles	Diámetro a 1,3 m (cm)				Altura total (m)			
		mínimo	medio	máximo	D. Est.	mínimo	media	máximo	D Est
2	19	0,41	4,25	14,96	2,61	0,5	2,28	8,7	1,26
3	34	4,77	7,35	10,5	1,41	1,5	2,04	3,9	0,49
4	19	0,12	5,14	17,51	3,14	0,6	3,05	14,3	1,83
5	14	0,11	6,88	18,46	2,7	0,5	3,84	16	2,26
6	16	0,14	10,27	30,24	5,15	1,05	5,06	19	2,58
7	11	2,55	11,88	30,56	4,46	1,2	5,17	15,3	2,17
8	12	2,04	17,19	35,01	7,35	1,7	6,4	17,3	3,03
9	8	1,27	17,60	47,00	7,56	1,2	6,86	14,1	2,98
10	11	5,09	21,64	39,47	7,26	2,6	7,17	15	3,11
11	2	1,91	21,33	41,38	8,28	1,8	8,23	22,5	4,47
12	6	8,59	17,06	32,47	8,64	2,4	7,02	13,75	4,04
13	5	8,91	22,06	34,70	5,75	2,6	9,23	23,3	4,26
15	1	6,68	18,83	31,51	6,74	3,8	8,32	20,3	3,07
16	5	7,96	24,40	54,11	10,49	4	9,82	21	3,51
18	1	24,4	38,13	60,48	9,04	9,4	14,72	23,8	4,78
20	6	20,37	35,15	63,66	10,46	7	14,14	19,8	2,97
24	3	29,92	32,36	36,61	3,69	11,4	12,47	13,8	1,22
25	3	25,15	38,14	65,25	8,88	8	14,45	24	2,91
30	2	42,34	70,98	94,54	12,64	18,3	27,43	36,3	4,79
32	1	59,79	63,96	69,07	4,71	12	14,13	16	2,01

Fuente: Jiménez (2012).

En el caso de *Swietenia macrophylla* se midieron 1.106 árboles con edades de un año hasta los 25 años. Se alcanzaron diámetros mínimos de 0,13 cm y máximos de 39,8 cm. Las alturas totales fueron medidas en 0,72 hasta 16 m de altura (Cuadro 5). A diferencia de cedro, caoba aparentemente crece mejor inicialmente pero no mantiene ese ritmo de crecimiento acelerado. Se encontró bastante varianza en los datos de una misma edad, la máxima desviación estándar se obtiene a los quince años de edad con 11,16 cm en diámetro.

Cuadro 5. Diámetro (1,3 m) y altura total de árboles de caoba como sombra en cafetales de Honduras.

Edad	Árboles	Diámetro a 1,3 m (cm)				Altura total (m)			
		mínimo	media	máximo	D. Est.	mínima	media	máxima	D. Est.
2	7	0,13	2,19	8,9	1,75	0,72	1,75	3,2	0,66
3	15	0,40	4,14	13,7	2,34	0,83	2,3	5,7	1,04
4	11	1,30	5,00	16,2	2,81	1,20	2,94	9,00	1,50
5	6	0,40	6,33	13,7	3,36	1,80	3,64	8,7	1,43
6	6	3,20	7,97	13,1	2,50	1,20	3,92	8,10	1,40
7	2	6,00	8,705	13,2	2,47	3,35	4,64	6,5	0,84
8	6	2,90	11,87	28,6	4,93	0,90	4,97	11,50	2,26
10	3	5,40	8,77	15,6	2,84	2,20	5,03	9,5	1,83
12	1	11,00	14,37	18,8	2,47	4,00	6,83	9,50	1,53
15	1	11,80	22,63	34,1	11,16	7,80	9,27	10	1,27
20	1	8,30	16,54	25,8	5,01	5,00	8,52	11,70	1,86
22	1	27,10	32,66	39,8	5,10	12,00	13,94	16,00	1,57
25	2	18,80	29,23	38,2	5,81	7,20	10,87	15,00	1,77

Fuente: Jiménez 2012.

El laurel es una especie forestal muy apropiada para SAF, por poseer una copa que proyecta poca sombra, buena forma del fuste que además se autopoda, buena madera y rápido crecimiento en sistemas silvo-agrícolas, pero menor en sistemas silvopastoriles, debido a que la compactación del suelo, competencia de los pastos y baja fertilidad le afectan el crecimiento, razones por las cuales a veces se cuestiona el sistema laurel- pastos-ganado (CATIE, 1994).

No obstante, cuando se trata de regeneración natural, este tipo de sistemas silvopastoriles no es tan cuestionado, pues no se tiene que hacer la inversión de reproducción de la especie en viveros ni los de establecerla en campo definitivo. Mediciones del crecimiento de *C. alliodora* en SSP en la provincia de Limón, Costa Rica (CATIE 1994), indican que para densidades de 175 árboles ha<sup>-1</sup> en asocio con *Brachiaria humidicola* el incremento medio anual (IMA) para árboles de 36 cm de dap en promedio (15 cm mínimo y 54 cm máximo) fue de 0,7 cm año<sup>-1</sup> (0,1 cm mínimo año<sup>-1</sup> y 1,7 cm año<sup>-1</sup> máximo). En el cuadro 6 se presentan estimaciones reportadas por CATIE (1994) para incrementos medios anuales de árboles provenientes de regeneración natural de laurel en SAF de Turrialba y Limón, donde se incluyen sistemas silvopastoriles de regeneración natural en pastizales.

Cuadro 6. Estimaciones de incrementos medios anuales en diámetro a la altura del pecho (dap) y altura (h) en regeneración natural de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales de Turrialba y Limón, Costa Rica.

rangos de edad (años)	IMA	
	dap	altura
1-5	3,0	2,0
6-13	2,0	1,5
14-19	1,5	1,0
20-36		0,3-0,6

Fuente: tomado de CATIE (2006)

El sistema Taungya es un sistema en el cual se produce temporalmente cultivos de subsistencia en las plantaciones forestales Vega (1978), citado por CONIF (1988), en Mapane (Surinam), describe un sistema con laurel (plantado a 7 x 2 m) en asociación con banano, arroz y yuca; estimando un turno de 20 años para los árboles. Muñoz (1975) en Turrialba, describe un sistema con laurel (plantado a 2,5 x 2,5m) y maíz; Vanegas (1985), en Bajo Calima (Valle, Colombia), laurel (5 x 5 m) con yuca. En ambos casos se concluye que el sistema es viable y baja los costos de la plantación de laurel.

En Colombia, CONIF (1988) ha investigado varios sistemas taungya. En el cuadro 7 se presentan los resultados de los ensayos. Los ensayos 1-4 están ubicados en San José del Guaviare (Comisaría del Guaviare); el ensayo 5 en Bojayá (Depto. del Chocó) y los ensayos 6 y 7 se encuentran en Bajo Calima (Depto. del Valle).

Cuadro 7. Resultados de ensayos agroforestales (taungya) con laurel en Colombia.

Ensayo	Asociación	Espaciamiento (m x m)	Edad (meses)	Altura (m)			Diámetro (cm)		Rendimiento cultivos t ha <sup>-1</sup>		
				Altura (m)	IMA	ICA	dap	IMA	yuca	maíz	plátano
1	Laurel	3 x 3	64	5,18	0,97	0,15	6,17	1,16			
2	Laurel/maíz/yuca	3 x 3	64	5,88	1,1	0,5	4,7	0,88	5,9	0,18	
3	Laurel/yuca/plátano	6 x 3	64	5,59	1,05	0,6	6,98	1,51	8,3	0,21	1,43
4	Laurel/yuca/plátano	12 x 6	64	6,98	1,31	0,5	10,18	1,91	5,2	0,27	0,65
5	Laurel/plátano	6 x 6	48	12,93	3,23	3,15	18,52	4,63			
6	Laurel/yuca	3 x 3	60	4,51	0,9	0	4,41	0,88	8,0		
7	Laurel/banano	3 x 3		6,81	1,36	0	6,85	1,37			
Ensayo 5: plátano desapareció después de 2 años por la sombra del laurel y enfermedades											
Ensayo 7: banano fracasó por enfermedad											
Fuente: CONIF 1988											

## 5.7 Plagas y enfermedades

La plaga que hace más daños en *S. macrophylla* y *Cedrela* en América, es la larva del lepidóptero *Hypsipyra grandella* (Zeller), taladrador de los brotes de las meliáceas; pero se han reportado otras, aunque de menor importancia.

Esta plaga puede atacar varias estructuras de los árboles (follaje, fuste y frutos), pero su mayor daño consiste en la perforación de los brotes nuevos, y especialmente del brote principal, lo cual provoca ramificación. Comúnmente esto sucede en árboles jóvenes, afectando el valor de la madera de los árboles adultos. Además, el crecimiento se detiene. La mortalidad de árboles es poco frecuente, y se presenta solo en aquellos casos en que los árboles ven agotadas sus reservas. Los factores que hacen que los ataques de esta plaga sean tan fuertes son (Hilje y Cornelius 2001): *a*) bajo umbral de tolerancia, ya que una sola larva por árbol produce daños severos; *b*) especificidad sobre miembros de la subfamilia Swietenioideae de las Meliaceae (13 especies neotropicales), entre las que figuran especies de alto valor económico como caoba y cedro y otras especies importantes en los países tropicales; *c*) amplia distribución geográfica, desde Florida (EUA) hasta Argentina, incluyendo las islas del Caribe.

Para convertirse en plaga forestal, un insecto debe aumentar su densidad hasta un nivel *suficiente* para afectar las semillas, plántulas o árboles, pero un nivel suficiente puede ser alto o bajo dependiendo del insecto de que se trate y del valor económico de estos bienes. La densidad poblacional depende de la interacción entre el potencial reproductivo del insecto (fecundidad, longitud del ciclo de vida y

proporción de sexos) y la *resistencia ambiental* (clima, cantidad y calidad del hospedante, enemigos naturales, etc.).

*H. grandella* tiene cuatro etapas o estadios durante su ciclo de vida: huevo, larva, pupa y adulto. La longitud de dicho ciclo puede variar entre 30 y 141 días, dependiendo de la temperatura (entre 30 y 15°C) y otros factores; la fecundidad (cantidad de huevos que la hembra deposita) es de 200-300 huevos; y la proporción de sexos es de una hembra por cada macho.

En realidad, su potencial reproductivo no es tan alto como el de muchas otras plagas. Sin embargo, los insectos que atacan meristematos no requieren altas poblaciones para causar daños serios, debido a la baja abundancia o proporción del recurso alimenticio (ápices y yemas) en las plantaciones forestales.

El uso de insecticidas para el combate de *H. grandella* ha tenido poca aceptación, tanto por su alto costo como por factores operativos, entre los que destacan la rápida penetración de la larva en el brote tras emerger del huevo, el lavado causado por las lluvias, y los métodos de aplicación *per se*. Por tanto, es necesario desarrollar un enfoque y prácticas de *manejo integrado de plagas* (MIP), el cual consiste en la combinación de varios métodos para mantener dicha plaga en niveles que no causen pérdidas de importancia económica, sin provocar serios perjuicios ambientales ni humanos. El MIP enfatiza los aspectos de *prevención*, *coexistencia* con la plaga (permitiéndole convivir, pero sin que su daño sea fuerte) y *sostenibilidad* económica y ecológica (uso de métodos eficaces, que dejen ganancias económicas, y que no perjudiquen al ambiente ni a la gente).

Un buen programa de MIP debe fundamentarse en el conocimiento de aspectos bioecológicos claves de la plaga y de los árboles hospedantes, para establecer criterios confiables para la toma de decisiones. Así mismo, idealmente debe enfatizar las prácticas de tipo preventivo, priorizando el mejoramiento genético, las prácticas silviculturales, el control biológico y el control etológico (Gripma 1974).

En cuanto a la *toma de decisiones* para el manejo de *H. grandella*, un primer criterio es el *período crítico*, es decir, el intervalo cuando el impacto del ataque es más perjudicial económicamente. Se considera que los primeros tres años de una plantación constituyen el período crítico, por las siguientes razones: *a)* la troza basal es la más valiosa; *b)* es frecuente que un árbol con una bifurcación baja no produzca madera de valor comercial; *c)* el ataque de *H. grandella* retarda el crecimiento, aumentando los costos de mantenimiento, los cuales son muy altos en los primeros años; y *d)* las evidencias indican que cuando los árboles superan unos 6 m de altura el riesgo de su daño es menor.

Otro criterio es el *umbral económico* o *umbral de acción*, que es la densidad mínima de la plaga a la cual habría que intervenir para evitar que el daño resulte en pérdidas económicas. Para *H. grandella* dicho nivel es de apenas una larva por árbol, lo cual se complica con el hecho de que una hembra normalmente deposita sus huevos en grupos de 1-3 por árbol. Por tanto, bastan pocas hembras para infestar toda una plantación. En este caso, este criterio es poco útil para tomar decisiones de manejo debido a este bajísimo umbral de tolerancia, pero remarca la importancia de utilizar métodos de manejo preventivo, como algunos de los descritos a continuación.

Las prácticas más promisorias se refieren a la *calidad del sitio* seleccionado para plantar las meliáceas, el *uso de sombra lateral* y las *podas*. Aunque las caobas y cedros pueden crecer, sobrevivir y reproducirse en sitios de baja calidad, esto no significa que tales sitios sean adecuados para su producción comercial.

Por el contrario, debido al gran valor de estas maderas, los árboles plantarse en **sitios de alta calidad**. Así mismo, esta es una consideración crítica para el manejo de *H. grandella*, dado que hay evidencias de que los árboles de mayor crecimiento compensan mejor el ataque, rebrotando más rápido y con menos rebrotes. Además, puesto que los ataques del insecto se presentan como episodios, los árboles de mayor rapidez de crecimiento tendrán mayor oportunidad de mantener secciones intactas del tallo relativamente largas.

Hay evidencias de que la presencia de **sombra lateral** reduce el daño de la plaga, debido a que estimula el crecimiento vertical y la auto-poda. Así los árboles crecen más rápidamente en altura y, de ser atacados, tienden a responder con un solo rebrote. Para lograr la sombra lateral deseada se puede recurrir a tres opciones: *a)* la mezcla con otras especies arbóreas, las cuales deben crecer muy rápido y poseer copas densas y más o menos perennes (p. ej. *Cassia siamea* y *Eucalyptus spp.*), para generar suficiente sombra durante el periodo crítico o; *b)* la siembra de caoba o cedro en hileras, pero dentro de áreas de crecimiento secundario joven (tacotales); y *c)* la eliminación de las malezas en las plantaciones en carriles a lo largo de la línea de plantación, dejando una hilera con malezas en el centro, para permitir el desarrollo rápido de barreras naturales entre las hileras de árboles.

El **Control biológico**. Consiste en la utilización de los enemigos naturales de *H. grandella* (parasitoides, depredadores y entomopatógenos), para que regulen sus poblaciones. Hasta 2001, de acuerdo con Hilje (2011) se habían identificado al menos 11 especies de parasitoides, incluyendo avispias (familias Braconidae, Ichneumonidae y Trichogrammatidae) y moscas (Tachinidae), así como de depredadores (avispa grande, chinches, etc.), los cuales atacan los huevos o larvas de dicha plaga. Por su parte, los entomopatógenos (virus, bacterias, hongos y nematodos) le causan enfermedades y la matan.

A pesar de su presencia en el campo, estos enemigos naturales no controlan de manera eficiente las poblaciones de *H. grandella* cuando se establecen plantaciones de caobas y cedros con fines comerciales. Una posible explicación es que las hembras de algunas especies de parasitoides necesitan refugio y alimentos (néctar) presentes en plantas silvestres, pero en las plantaciones forestales comúnmente predominan las gramíneas, que no ofrecen estos recursos.

**Control etológico:** Se refiere a los efectos de factores que alteran el comportamiento de *H. grandella*, incluyendo sustancias atrayentes así como repelentes y disuasivos. En el primer caso, actualmente se trabaja en el aislamiento y síntesis de la feromona sexual de la hembra, la cual atrae a los machos. De lograrse esto, podría colocarse en trampas y usarse como herramienta de monitoreo para aplicar medidas de combate en momentos críticos, o como método de combate directo.

A su vez, estos momentos críticos podrán predecirse utilizando los requerimientos térmicos de *H. grandella*. Se ha determinado preliminarmente que se presenta un pico poblacional cada 1881 grados-día (cantidad de temperatura acumulada, necesaria para que la población exprese ciertos fenómenos, a partir de una fecha predefinida), por lo que se podría concentrar el combate en períodos oportunos, antes de cada pico.

La otra opción son las sustancias que repelan a las hembras para que no se acerquen a los árboles, o que inhiban la ovoposición una vez que las hembras se posen en el árbol. Así mismo, hay sustancias que

inhiben la alimentación o el desarrollo de las larvas. Hasta ahora no se ha hallado sustancias repelentes de *H. grandella*, aunque algunas sí disuaden a las larvas.

Por ejemplo, los extractos alcohólicos de hombre grande (*Quassia amara*, Simaroubaceae) y de ruda (*Ruta chalepensis*, Rutaceae), cuando se aplican sobre los brotes de la caoba y cedro evitan que las larvas se alimenten de estos y mueren de inanición. Por su parte, el Nim 80, que es un aceite proveniente de la semilla del árbol de nim (*Azadirachta indica*, Meliaceae), actúa diferente, pues impide que las larvas pequeñas muden su piel y mueran casi de inmediato, sin poder penetrar en el brote.

Aunque los extractos crudos de hombre grande y ruda, así como los productos comerciales a base del nim, podrían aplicarse directamente a la parte aérea del árbol, será mejor incorporarlos al suelo en el momento de la siembra. Puesto que ellos se pueden transportar de manera sistémica dentro de los árboles, quizás podr.án formularse como productos de liberación controlada, para aumentar su duración y efecto.

Esto se ha documentado para algunos insecticidas sistémicos convencionales, los cuales dieron protección total contra *H. grandella*, en árboles de cedro, por varios meses.

Lamb, B. (1966) informa que en sureste asiático atacan a la caoba hondureña: *Hypsipyla robusta* Moore, que le produce considerables daños en Java y otros lugares de Asia; *Egchirites nominus* Dyar, defoliador que le afecta en Belice; un escolítido (*Scolytidae*) que daña los árboles en Trinidad; *Platypus* sp., bórer de la madera que ataca los árboles en pie, y hace profundas galerías, tanto en Panamá como en la región del Amazonas, y los taladradores de la madera *Xileborus morgerus* Blat., *Xileborus morstutti* Hag. y el termito *Coptotermes niger* Snyder. En Cuba, se han reportado afectaciones a esta especie, producidas por: *Hypsipyla grandella* (Zell.), que daña los brotes, frutos y semillas; *Macalla thyrissalis* (Walk.), lepidóptero cuyas larvas unen las hojas y viven entre ellas alimentándose de las mismas; *Phyllocnistis* sp., cuyas orugas hacen galerías en las hojas nuevas; *Atta insularis* Guer., que ataca las posturas en los viveros; *Apate monachus* (F.), que hace perforaciones en los tallos de los árboles en pie (Hochmut y Manso, 1971; Rodríguez Pérez, 1975; Hernández y Mellado, 1977). Finol (1964) dice que en Venezuela los frutos son dañados por loros y pericos, antes de madurar; y que en el suelo también sufren daños causados por roedores.

Arguedas (2007) además de *Hypsipyla*, menciona a *Cylindrocladium* sp. como plaga de la caoba en Costa Rica; adicionalmente menciona a *Anacrusis* sp. (Tortricidae LEP), *Antaeotricha ribbei* (Stenomidae LEP), *Apatelodes* sp. (Apatelodidae LEP), *Mastigimas* sp. (Psyllidae HOM), *Natada* sp. (Limacodidae LEP), *Phyllocnistis meliacella* (Gracilariidae LEP), *Sematoneura atrovenosella* (Pyralidae LEP), *Taeniopoda* sp. (Romaleidae SALT) y *Atta* sp. Formicidae HYM como plagas del follaje, además de *Sematoneura grijpmani* (Pyralidae LEP) que ataca las semillas de cedro.

En Cuba, fitopatólogos del Centro de Investigación Forestal han detectado afectando a caoba hondureña a los hongos: *Pestalotia* sp., que produce necrosis en las hojas y, a veces, se traslada al hipocótilo de las plántulas donde se asocia a *Botryodiplodia* sp.; *Rhizopus* sp. que descomponen los cotiledones de las semillas y afecta la viabilidad de éstas; *Alternaria* sp., que daña las hojas; *Fusarium* sp., quien causa

podrición en el cuello de las plántulas en los viveros y también afecta las hojas; *Phyllachora sp.*, que daña el follaje.

En laurel se ha reportado *Dictyla monotropidia* (Hemiptera) conocida como chinche de encaje es considerada una plaga de importancia. Arguedas (2007) informa sobre *Agrotis sp.* (Noctuidae LEP) como plaga de las plántulas, *Amblycerus biolleyi* (Bruchidae COL), *Amblycerus scutellaris* (Bruchidae COL), *Amblycerus vegai* (Bruchidae COL) que atacan las semillas; *Antodice cretata* (Cerambycidae COL) afectando los fustes, *Automeris rubrescens* (Saturniidae LEP) *Automeris tridens* (Saturniidae LEP) *Automeris sp.* (Saturniidae LEP) y *Coptocyclus dorsoplagiata* (Chrysomelidae COL) que afectan el follaje de la especie, entre otras.

En sistemas agroforestales con café, en Turrialba, se han observado árboles atacados por el cancro *Puccinia cordiae* (Somarriba y Beer 1986).

Una “plaga” notable que ataca al laurel es el matapalo o muérdago *Phoradendrum robustissimum* Eichl. presenta una distribución amplia en Costa Rica (CATIE, 1994), formando grandes abultamientos en los fustes y ramas; las raíces de penetración producen deformaciones en la madera, reduciendo su valor.

## 5.8 Cosecha

Beer (1998) caracterizó los requerimientos de los árboles de sombra o asociados en plantaciones de café, cacao y te (condiciones que presentan caoba, cedro y laurel):

- Compatibilidad con el cultivo, es decir competencia mínima por agua, nutrientes y espacio; por ejemplo que no produzca rebrotes, desarrollo de la copa sobre el cultivo (la misma debe dejar pasar suficiente cantidad de luz al cultivo), sistema de raíces profundo, mínimo traslape de las zonas de raíces entre el cultivo y los árboles;
- Sistema radical fuerte (resistente a los vientos). Los árboles de sombra están más expuestos a condiciones climáticas adversas que los de una plantación o un bosque natural, deben ser capaces de adaptarse al crecimiento a pleno sol.
- Habilidad de propagación vegetativa por medio del enraizamiento de estacas para proporcionar rápidamente una sombra adecuada,
- Capacidad para extraer nutrientes del suelo que el cultivo no puede tomar.
- Habilidad para fijar nitrógeno.
- Posesión de una copa rala que proporcione sombra en parches y no sombra continua que produzca luz de baja calidad fotosintética.
- Las especies productoras de madera debería tener una copa pequeña que: a) reduzca la resistencia del follaje al viento y, por lo tanto, el riesgo de caída; b) permitan densidades relativamente altas de los árboles de sombra sin reducir los niveles de luz por debajo de valores críticos, c) minimicen los daños al cultivo, al cosecharlos.
- Ramas y tallos no quebradizos, fustes libres de espinas para facilitar el manejo.
- Rápido crecimiento apical, con autopoda, buena forma y tolerancia de podas frecuentes y fuertes.
- Producción alta de biomasa y reciclamiento de nutrientes por caída de hojas y las podas. Hojas y madera de fácil descomposición.

- Para especies deciduas, rápida recuperación del follaje, para disminuir los riesgos de daño a los cultivos asociados.
- Poca susceptibilidad a plagas y enfermedades que afecten las condiciones de sombreado.
- Hojas pequeñas, para evitar la acumulación de la lluvia y producir gotas grandes y fuertes que afecten al cultivo por golpeteo.
- Ausencia de efectos alelopáticos.
- Producción de madera de calidad y valor económico para complementar los ingresos del cultivo.
- La especie foresta no debe tener capacidad de colonización como maleza (como en el caso de *Leucaena*, *Ricinus* y otras especies).

El aprovechamiento de árboles de sombra asociados con cultivos agrícolas requiere cuidados especiales; Somarriba (1992) citado por Muschler (1999) indica los siguientes cuidados para la extracción de madera de árboles asociados a cultivos:

- La madera se aprovecha en años de bajos precios o baja producción de café, o cuando se procede a renovar el cultivo;
- Los árboles se podan antes de la poda de los cultivos, para corregir problemas durante la poda;
- Los árboles se establecen en hileras entre el cultivo, para aprovecharlos utilizando tumba (corta) dirigida
- En laderas los árboles se tumban hacia arriba para reducir el impacto de la copa sobre el cultivo y reducir los riesgos de rajaduras de la madera de los árboles; si es posible, los árboles deben podarse antes de su aprovechamiento.

### **5.9 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión**

No fue factible obtener costos y rendimientos de prácticas de sistemas agroforestales relacionados con la mezcla de caoba, cedro y/o laurel (como especies individuales o en grupo asociadas a cultivos permanentes como café, cacao u otros) en Costa Rica, disponibles en la literatura y actualizados.

## Literatura citada

- ALVARADO A. 2012. Nutrición y fertilización de *Cedrela odorata*. I.). In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 213-219
- ALVARADO, A.; LEIVA, J.A. 2012. Nutrición y fertilización de *Swietenia macrophylla*. In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 307-315
- ALVARADO, A.; RAIGOSA, J. 2012. Nutrición y fertilización de *Cordia alliodora*. In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 249-259
- ARGUEDAS, M. 2007. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. 1ª ed. – San José, Costa Rica, Corporación Garro y Moya, 2008. 69 p.
- ARNAEZ, E.; MOREIRA, I.; ROJAS, F.; TORRES, G. 1992. Especies forestales tropicales: CEDRO. Depto. Ingeniería Forestal y Depto. Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 8 p. Subserie de Cuadernos Científicos y Tecnológicos, N° 3.
- ARRIAGA, V.; CERVANTES, V.; VARGAS-MENA A. 1994. Manual de Reforestación con Especies Nativas: Colecta y Preservación de Semillas, Propagación y Manejo de Plantas. SEDESOL / INE – Facultad de Ciencias UNAM. México, D.F.
- BABBAR, L.; EWELL, J.J. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotropica* 21(1):20-29.
- BASCOPE, R.; BERNARDI, L.; LAMPRECHT H.; MARTINEZ, P. 1957. El género *Cedrela* en América. Descripciones de Arboles Forestales 2. p. 1-22. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, Mérida, Venezuela.
- BEARD, J. S. 1942. Summary of silvicultural experience with cedar, *Cedrela mexicana* Roem. in Trinidad and Tobago. *Caribbean Forester* 3(3):91-102.
- BELANGER, R. P.; BRISCOE, C. B. 1963. Effects of irrigating tree seedlings with a nutrient solution. *Caribbean Forester* 24(2):87-90.
- BERGMANN, C.; STUHRMAN, M.; ZECH, W. 1994. Site factors, foliar nutrient level and growth of *Cordia alliodora* plantations in the humid lowlands of Northern Costa Rica. *Plant and Soil* 166(2):193-202.
- BERMÚDEZ, HM. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. Flook) y laurel (*Cordia alliodora* R.& P.) Cham) en Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 74 p.
- BOSHIER, D.H.; LAMB, A.T (eds.). 1997. *Cordia alliodora* genética y mejoramiento de árboles. Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford. Oxford, UK. Oxford Univ. Press. 100 p. Tropical Forestry Research Papers, N° 36.
- CADENA, M.E. 1989. Análisis nutricional de la especie *Cordia alliodora* asociado a hidroponía. *Colombia Forestal* 3(5):6-16.

- CATIE (CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA). 1994. Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico No. 239. 52 p.
- CATIE (CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA). 2006. Establecimiento de Lineamientos Técnicos, Sociales y Económicos para el Desarrollo de Actividades de Agricultura Ecológica, Agroforestería y la Reforestación en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Fundación Natura Fondo FIDECO. Informe de consultoría.
- CANTILLO, E.E. 1992. Efecto de la fertilización en vivero en el crecimiento de *Alnus jorullensis*, *Cedrela montana* y *Laphoensia speciosa* a diferentes dosis de N.P.K. Revista Colombiana Forestal 3(5):6-16.
- COMBE, J.; GEWALD, N.J. 1979. Guía de campo de los ensayos forestales del CATIE en Turrialba, Costa Rica. p. 308-324. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa de Recursos Naturales Renovables. Turrialba, Costa Rica.
- CASTAING, A. 1982. Algunos factores edáficos y dasométricos relacionados con el crecimiento y comportamiento de *Cedrela odorata* L. Tesis de Maestría. Programa Recursos Naturales UCR/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 123 p.
- CORPORACION NACIONAL DE INVESTIGACION y FOMENTO FORESTAL - CONIF. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón) Oken: Experiencias en Colombia. Compilado por: Pau} van der Poel. Convenio CONIF-HOLANDA. Bogotá, Diciembre 1988. 42 p. (SERIE DOCUMENTACION No. 15).
- CORNELIUS, J.; HERNÁNDEZ, G.; RODRÍGUEZ, B.; WIGHTMAN, K. eds. Avances recientes en la domesticación de caoba y cedro: Taller celebrado en el campo experimental (INIFAP) "San Felipe Bacalar" 6-8 noviembre 2001. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 62 p.
- CORMADERA (Corporación de Desarrollo Forestal y Maderero del Ecuador) (eds.). 2001. Guías técnicas para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales productivas en el litoral ecuatoriano. CORMADERA/OIMT. Proyecto Piloto para la Reforestación y Rehabilitación de Tierras Forestales Degradadas en el Ecuador (PD 17/97 Rev.3F). Quito, Ecuador. 179 p.
- CHAPLIN, G. E. 1980. Progress with provenance exploration and seed collection of *Cedrela spp.* In Proceedings, Commonwealth Forestry Conference, Port-of-Spain, Trinidad, September 1980. 17 p.
- DaMATTA, F; RONCHI, P; MAESTRI, M; BARROS, R. 2008. Ecophysiology of coffee growth and production. Plant Physiol., 19(4):485-510.
- DRESCHSEL, P.; ZECH, W. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. Plant and Soil 131(1):29-46.
- DZIB, B. 2003. Manejo, secuestro de carbono e ingresos de tres especies forestales de sombra en cafetales de tres regiones contrastantes de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 114 p.
- GLOVER, N.; BEER, J. 1986. Nutrient cycling in two tradicional Central American agroforestry systems. Agroforestry Systems 4:77-87.
- GRIPMA, P. 1974. Contribution to an integrated control programme of *Hypsipyla grandella* (Zeller) in Costa Rica. Ph.D. Dissertation. The Netherlands, University of Wageningen. 147 p.

- GROGAN, J.; ASHTON, MS.; GALVÃO J. Big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedling survival and growth across a topographic gradient in southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 186(1-3):311- 326.
- GUEVARA, G. 1988. Experiencias colombianas con cedro (*Cedrela odorata* L.). Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. Bogotá, Colombia. 86 p. Serie de Documentación, N° 12.
- GULLISON, E.; PANFIL, N.; STROUSE, J.; HUBBELL, S. 1996. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes forest, Beni, Bolivia. *Botanical Journal of the Linnean Society* 122(1): 9-34.
- HAUXWELL, C. 2001. Silvicultural management of *Hypsipyla* species. In: RB Floyd, C Hauxwell (eds.). *Hypsipyla* shoot borers in Meliaceae. Proceedings of an International Workshop at Kandy, Sri Lanka 20-23 August 1996. pp. 151-163. ACIAR Proceedings, N° 97.
- HERNANDEZ, O; BEER, J; Von PLATEN, H. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* cv *Caturra*), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. 4:8-13.
- HERRERA, B.; FINEGAN, B. 1997. Substrate conditions, foliar nutrients and the distribution of two canopy tree species in a Costa Rican secondary rain forest. *Plant and Soil* 191(2):259-267.
- HILJE, L.; CORNELIUS, J. 2001. ¿Es inmanejable *Hypsipyla grandella* como plaga forestal? CATIE, Turrialba, Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* No. 61 p . i - i v, 2001
- HOLDRIDGE, L. R. 1943. Comments on the silviculture of *Cedrela*. *Caribbean Forester* 4(2):77-80.
- HOLDRIDGE, L. R. 1976. Ecología de las Meliáceas Latinoamericanas. Studies on the shootborer *Hypsipyla grandella* Zeller. vol. 3. J. L. Whitmore, ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Miscellaneous Publication 1. Turrialba, Costa Rica. p. 7.
- HOLDRIDGE, L. R.; GRENKE, W. C.; HATHEWAY, W. H.; LIANG, T.; TOSI, J. 1971. Forest environments in tropical life zones, a pilot study. p. 284-295, 334-344. Pergamon Press, Oxford.
- HUMMEL, S.S. 2000. Height, diameter and crown dimensions of *Cordia alliodora* associated with tree density. *Forest Ecology and Management* 127(1/3):31-40.
- INOUE, M. T. 1977. A auto-ecología do genero *Cedrela*; efeitos na fisiología do crescimento no estagio juvenil em funcao da intensidade luminosa. *Floresta* 8(2):58-61.
- INOUE, M. T. 1980. Photosynthesis and transpiration in *Cedrela fissilis* Vell. seedlings in relation to light intensity and temperature. *Turrialba* 30(3):280-283.
- INOUE, Mario Takao. 1977. Wachstumverhalten von *Cedrela odorata* L. und *C. fissilis* Vell. (Meliaceae) im Jugendstadium in Abhängigkeit von Umweltfaktore. p. 1-100. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft*. Weltforstwirtschaft 115. Reinback, Germany.
- JIMÉNEZ N., N.G. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 122 p.

- JIMENEZ, H. 1999. Revisión bibliográfica: Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica. Centro Científico Tropical PROARCA/CAPAS. 62 p.
- JOHNSON, P.; MORALES, R. 1972. A review of *Cordia alliodora* (Ruiz and Pav.) Oken. Turrialba 22:210-220.
- JOHNSTON, I. M. 1949. Studies in the Boraginaceae. 18. Boraginaceae of the southern West Indies. Journal of Arnold Arboretum 30:85-138.
- KARANI, P. K. 1973. International provenance trials in Uganda. Progress report on *Cedrela*. In Tropical provenance and progeny research and international cooperation. p. 241-249. Commonwealth Forestry Institute, Oxford.
- KRISNAWATI, H.; MAARIT, K.; KANNINEN, M. 2011. *Swietenia macrophylla* King Ecology, silviculture and productivity. CIFOR, Bogor, Indonesia. 24 p.
- KAUMI, S. Y. S. 1978. *Cedrela* international provenance trials. In Progress and problems of genetic improvement of tropical forest trees. p. 905-909. Commonwealth Forestry Institute, Oxford.
- LAMB, B. 1966. Mahogany of Tropical America: its Ecology and Management. University of Michigan. 220 p.
- LAMB, A. F. A. 1968. *Cedrela odorata*. Fast growing timber trees of the lowland tropics No. 2. Commonwealth Forestry Institute, Oxford. 46 p.
- LAMPRECHT, H. 1989. Silviculture in the Tropics. Tropical Forest Ecosystems and their Tree Species – Possibilities and Methods for Their Long - Term Utilization. Institute for silviculture of the University of Göttingen. Eschborn, República Federal de Alemania.
- LEMMENS. R.H.M.J. 2006. *Swietenia macrophylla* King. PROTA Network Office Europe, Wageningen University. [http://database.prota.org/PROTAhtml/Swietenia%20macrophylla\\_En.htm](http://database.prota.org/PROTAhtml/Swietenia%20macrophylla_En.htm)
- LITTLE, E.; WADSWORTH, F.H. 1964. Common trees of Puerto Rico and the Virgin Islands. p. 468-469. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 249. Washington, DC.
- MALIMBWI, R. E. 1978. *Cedrela* species international provenance trial (CFI at Kwamsambia, Tanzania). In Progress and problems of genetic improvement of tropical forest trees. p. 910. Commonwealth Forestry Institute, Oxford.
- MARRERO, J. 1948. A seed storage study of some tropical hardwoods. Caribbean Forester 4(3):99-105.
- MARRERO, J. 1949. Tree seed data from Puerto Rico. Caribbean Forester 10(1): 11-30.
- MARSHALL, R. C. 1930. Notes on the silviculture of the more important timber trees of Trinidad and Tobago. Trinidad Forestry Department and Government Printing Office, Trinidad. p. 23-25.
- MARTINEZ A, M.H. 2005. Contribución económica del componente forestal en diferentes tipos de fincas cafetaleras en la boca costa pacífica de Guatemala. Tesis *Mag. Sc.* Turrialba, Costa Rica, CATIE. 130 p.

- MÁS P, J.; BORJA, G. 1974. ¿Es posible mediante el sistema taungya aumentar la productividad de los bosques tropicales? Forestales Boletín Técnico No. 39. Ministry of Agriculture and Animal Husbandry, National Forest Research Institute, Mexico, D.F. 47 p. 41.
- MAYHEW, J.E.; NEWTON, A.C. 1998. The silviculture of mahogany. CABI Publishing, New York. Robbins, C.S. (2000) Mahogany matters: the US market for big-leafed mahogany and its implications for the Conservation of the species. TRAFFIC North America. Washington, D.C., USA.
- MELCHIOR, G. H. 1977. Programa preliminar de un ensayo de procedencia de *Cordia alliodora*, *Cupressus lusitanica*, y otras especies nativas y exóticas. INDIRENA/PNUD/FAO/CONIF. Proyecto Investigaciones y Desarrollo Industrial Forestal. COL/74/005. PIF 7. Bogotá, Colombia. 15 p.
- MENA, G.; CASTILLO, A.; COB, J.M. 2000. Informe final proyecto disminución de la contaminación de las aguas del río Virilla. Compañía Nacional de Fuerza y Luz. Convenio Bilateral de Desarrollo Sostenible Costa Rica / Holanda. San José, Costa Rica. s.p.
- MENDEZ, E.; BEER, J.; FAUSTINO, J.; OTÁROLA, A. 2001. Plantación de árboles en línea. 2ª Ed. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Proyecto Agroforestal CATE/GTZ. Colección Módulos de Enseñanza agroforestal. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ No. 1. 130 p.
- MÉNDEZ, J.; SOIHET, C. 1997. Notas Técnicas sobre Manejo de Semillas Forestales. No. 21. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- MEXAL, J.G.; CUEVAS, R.A.; NEGREROS-CASTILLO, P.; PARAGUIRRE, C. 2002. Nursery production practices affect survival and growth of tropical hardwoods in Quintana Roo, Mexico. Forest Ecology and Management 168(1):125–133.
- MILLER, J. J.; PERRY Jr., J. P.; BORLAUG, N. E. 1957. Control of sunscald and subsequent Buprestid damage in Spanish cedar plantations in Yucatan. Journal of Forestry 55:185-188.
- MINDAWATI, N. 1990. The effect of N and P fertilization on growth of young mahogany (*Swietenia macrophylla*). Buletin Penelitian Hutan 528:13-21.
- MIRANDA, F. 1999. Fichas Técnicas de Especies Forestales Estratégicas. No. 24 Gaceta de la Red Mexicana de Germoplasma Forestal. SEMARNAP - PRONARE. México, D.F.
- MUSHLER, R. 1999. Árboles en el cafetal. Turrialba, Costa Rica, CATIE 56 p. (Módulo de Enseñanza Agroforestal no. 5).
- NEGREROS-CASTILLO, P. 1991. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) regeneration in Quintana Roo, Mexico. Ph. D. Dissertation. Iowa State University, Ames Iowa, USA. 125 p.
- NEGREROS-CASTILLO, P.; SNOOK, L.; MIZE, C. 2003. Regeneration mahogany (*Swietenia macrophylla* King) from seed in Quintana Roo, Mexico: the effects of sowing method and clearing treatment. Forest Ecology and management 183: 351- 362.
- OEA (Organization de Estados Americanos). 1967. Reconocimiento y evaluación de los recursos naturales de la República Dominicana. Secretaría. General, Organization of American States, Washington, DC. 193 p.

- OLIPHANT, N. 1928. Mahogany in British Honduras. *Empire Forestry Review* 7:9-10.
- OFI-CATIE (Oxford Forestry Institute-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) 2003. Árboles de Centroamérica; Manual para Extensionistas. Editado por CORDERO, J.; BOSCHER, D. Oxford Forestry Institute. 1091 p.
- OMOYIOLA, B. O. 1972. Initial observations on a *Cedrela* provenance trial in Nigeria. Federal Department of Forest Research, Research Paper 2 (Forest Series). Ibadan, Nigeria. 10 P
- OPLER, P.I. A.; BAKER, H. G.; GORDON, W. F. 1975. Reproductive biology of some Costa Rican *Cordia* species (Boraginaceae). *Biotropica* 7:234-247.
- OTSAMO, A.; ÅDJERS, G.; HADI, T.S.; KUUSIPALO, J.; TUOMELA, K, VUOKKO, R. 1995. Effect of site Preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. Dominated grasslands. *Forest Ecology and Management* 73(1):271-277.
- PANIAGUA, A. 2005. Respuesta de *Cedrela odorata* a dosis crecientes de carbonato de calcio y P2O5 en un Fluventic Dystrocept en invernadero. *In: Memorias Primer Congreso sobre Suelos Forestales realizado los días 25 a 27 octubre del 2004.* Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica. 11 p.
- PANIAGUA, A.; TORUÑO, H. 2004. Determinación de necesidades nutrimentales para las especies *Swietenia macrophylla* y *Cupressus lusitanica* en pruebas de invernadero. *Revista Chapingo* 10 (1):37-41.
- PECK, R.B. 1976. Selección preliminar de especies aptas para el establecimiento de bosques artificiales en tierra firme del litoral pacífico de Colombia. *Boletín del Instituto Forestal Latino-Americano de Investigación y Capacitación* 50:29-39.
- PENNINGTON, T. D.; SURUKHAN. 1968. Árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Secretaría de Agricultura y Ganadería, México, D.F. p. 238-239.
- RAMÍREZ S, J. 1964. Investigación preliminar sobre biología, ecología y control de *Hypsipyla grandella* Zeller. Instituto Forestal Latino Americano de Investigación y Capacitación, Boletín 16. Mérida, Venezuela. p. 54-77.
- REYES, C.E. 1997. Estimación del incremento diamétrico en *Cordia alliodora* y *Vochysia ferruginea* a partir de variables del árbol y factores del sitio en un bosque secundario en Costa Rica. Tesis de maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 119 p.
- SNOOK, L. 2000. Regeneración y crecimiento de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en selvas naturales de Quintana Roo, México. *Ciencia Forestal en México* 25(87):59-76.
- SNOOK, L. 2003. Regeneration, growth, and sustainability of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in Mexico's Yucatan Forests. *in* Lugo, A.; Figueroa, J.; Alayón, M. Big – Leaf Mahogany ecology, genetics and management. Springer Berlin Heidelberg. New York, USA. v. 159, p. 169-192. (Serie Ecological Studies).
- SOIHET, C.; MÉNDEZ, J. M. 1997. Nota Técnica sobre Manejo de Semillas Forestales. No. 24. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

- SOMARRIBA, E.; BEER, J. 1986. Dimensiones, volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica. Boletín Técnico No. 16. 23 p.
- SOMARRIBA, E. 1992. Timber harvest, damage to crop plants and yield reduction in two Costa Rican coffee plantations with *Cordia alliodora* shade trees. *Agroforestry Systems* 18: 69-82.
- SOMARRIBA, E. 1997. ¿Se puede aprovechar árboles maderables de sombra si dañar el cafetal? *Agroforestería en las Américas* 4 (13): 28-29.
- SOMARRIBA, E; VALDIVIESO, R; VÁSQUEZ, W; GALLOWAY, G. 2001. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 51:111-118.
- STEAD, J. W. 1980. Commonwealth Forestry Institute international provenance trials of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. Paper given at Eleventh Commonwealth Forestry Conference, September 7-27, 1980, Port-of-Spain, Trinidad. Commonwealth Forestry Institute, Oxford. 17 p.
- STEVENSON, D. 1928. Types of forest growth in British Honduras. *Tropical Woods* 14:20-25.
- STYLES, B. T. 1972. The flower biology of the Meliaceae and its bearing on tree breeding. *Silvae Genetica* 21:175-183.
- SUATUNCE, P; DÍAZ, G; GARCÍA, L. 2009. Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*Coffea arabica* L.) y en monocultivo en el litoral Ecuatoriano. *Ciencia y tecnología* 2(2): 29-34.
- TSCHINKEL, H. 1967. La madurez y el almacenamiento de semillas de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Cham. Turrialba 17:89-90.
- VIERA, CJ; PINEDA, A. 2004. Productividad de un lindero maderable de *Cedrela odorata*. *Agronomía Mesoamericana* 15(1): 85-92
- VEGA, L. 1977. La silvicultura de *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. como especie exótica en Surinam. *Boletín del Instituto Forestal Latino-Americano de Investigación y Capacitación* 52:3-26.
- VENEGAS T., I. 1978. Distribución de once especies forestales en Colombia. INDIRENA/PNUD/FAO/CONIF. Proyecto Investigaciones y Desarrollo Industrial Forestales. COL/74/005. PIF 11. Bogotá, Colombia. 74 p.
- VILLARREAL, A; CARRERO, G; ARENDS, E; SÁNCHEZ, D; ESCALANTE, E. 2006. Evaluación de rendimientos y rentabilidad de los componentes asociados *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Cedrela odorata* (Cedro) y *Carica papaya* (Lechosa), establecidos en ensayos agroforestales en la Finca ULA, Estación Experimental Caparo, Edo. Barinas, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana* 39:85-104.
- WADSWORTH, F. H., comp. 1960. Datos de crecimiento de plantaciones forestales en México, Indias Occidentales y Centro y Sur América. Segundo Informe Anual de la Sección de Forestación, Comité Regional sobre Investigación Forestal, Comisión Forestal Latinoamericana, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. *Caribbean Forester* 21 (supplement). 273 p.
- WEBB M.J.; REDDELL, P.; GRUNDON, N. J. 2001. A visual guide to nutritional disorders of tropical timber species: *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*. Camberra, Australia. 178 p. ACIAR Monograph, N° 61.

WEBB, M.; REDDELL, P, HAMBLETON, A.; ROBSON, K. 2000. Growth response of four tropical plantation Timber species to increasing phosphorus supply and assessment of phosphorus requirements using Foliar analysis. *New Forests*. 20(2):193-211.

WILLIAMS, L. 1932. Peruvian mahogany. *Tropical Woods* 31:30-37

WHITMORE, J. L. 1971. *Cedrela* provenance trial in Puerto Rico and St. Croix; nursery phase assessment. *Turrialba* 21(3):343-349.

WHITMORE, J. L. 1976. Myths regarding *Hypsipyla* and its host plants. *In* Studies on the shootborer *Hypsipyla grandella* Zeller Lep. Pyralidae. vol. 3. p. 54-55. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Miscellaneous Publication 1. Turrialba, Costa Rica.

WHITMORE, J. L. 1978. *Cedrela* provenance trial in Puerto Rico and St. Croix; establishment phase. USDA Forest Service, Research Note ITF-16. Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, PR. 11 p.

WHITMORE, J. L. 1979. *Cedrela* provenance trials in Puerto Rico. Unpublished report. USDA Forest Service, Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, PR. 5 p.

WHITMORE, J. L.; HARTSHORN, S.; RIVERA, Z. E. *Cedrela*. *In* Literature review of 28 tropical tree species. Unpublished report. No page numbers. USDA Forest Service, Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, PR

## Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas

### 1. Antecedentes

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), es el responsable legal del financiamiento del sector forestal costarricense. Esta labor la realiza a través de dos modalidades a saber: pago por servicios ambientales y el crédito dirigido a pequeños y medianos productores. De acuerdo con los Términos de Referencia (TdR)<sup>2</sup> el FONAFIFO es el punto focal del REDD + y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP); se ha definido como una de las acciones estratégicas para REDD+, el aumento de la producción y consumo sostenible de madera, como una forma, entre varias, de aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

Por su lado, la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal Nº 7575 para promover el desarrollo forestal del país, está constituida por 40 organizaciones de pequeños y medianos productores, industriales y comerciantes de la madera, grupos ecologistas, artesanos y productores de muebles.

Las dos instituciones han aunado sus esfuerzos para la ejecución de las tareas del RP y dentro de éste, la consultoría orientada a identificar los aspectos relevantes para estimular la reforestación comercial, ya sea mediante el empleo de prácticas tradicionales o el uso de sistemas agroforestales (SAF), incluyendo los sistemas silvopastoriles (SSP) para aumentar la producción de madera y por tanto la captura de carbono, necesario para la formación y acumulación de madera. Como resultado de la consultoría indicada, la estrategia REDD+ financiaría la ejecución de un proyecto coordinado por FONAFIFO y dirigido por la Oficina Nacional Forestal, (ONF) para el **“Fomento de la Reforestación comercial para la mejora y conservación de las Reservas de carbono”**, como parte de la estrategia para aumentar los acervos de carbono, una acción estratégica de REDD+.

### Objetivos

De acuerdo con los TdR, la consultoría tiene como objetivo general “Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono”, lo cual implica conocer las motivaciones de los productores actuales y potenciales para el establecimiento y manejo de plantaciones, utilizando diferentes métodos de plantación, incluyendo los sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Los objetivos específicos son:

- Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.

---

<sup>2</sup> FONAFIFO/FCPF/Donación TF012692. 2014. Términos de referencia para la contratación de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, San José, Costa Rica, FONAFIFO. 7 p.

- Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

Dentro del objetivo dirigido al desarrollo de paquetes tecnológicos, una de las tareas de la consultoría es la elaboración de un mapa de áreas potenciales para el cultivo de madera, para lo que se han planteado las siguientes tareas:

- a. Recopilar información cartográfica: suelos y fertilidad, lluvias y duración de sequía, uso actual y potencial, infraestructura, desarrollo social y desarrollo humano, PEA y disponibilidad de PEA;
- b. Elaborar diferentes capas con información cartográfica a escala 1:200.000 para obtener zonificación para las especies seleccionadas;
- c. Elaborar los mapas escala 1:200.000 con la zonificación para especies priorizadas

Una tarea previa a la elaboración del mapa fue el análisis de las especies utilizadas para proyectos de reforestación en Costa Rica. Se elaboró el documento “Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, que hizo el análisis de las principales especies utilizadas en el país para los diferentes proyectos de reforestación, desde los de carácter industrial (de tamaño grande y especies con mercado relativamente establecido) hasta pequeños proyectos familiares; el análisis incluyó los proyectos financiados tanto por la iniciativa privada, como aquellos que han contado con el pago por servicios ambientales por parte del FONAFIFO, o con financiamiento mixto.

Paralelo a la preselección de las especies se inició un estudio para evaluar la disponibilidad de madera en las plantaciones forestales establecidas hasta la fecha, mediante un muestreo de campo.

Un segundo análisis previo a la elaboración del mapa fue la determinación de las barreras para el establecimiento de plantaciones y reforestación a nivel nacional, dando como resultado el documento “Barreras que desalientan el cultivo de madera”.

Un tercer nivel de análisis fue una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre las especies seleccionadas por el Comité Evaluador del Proyecto, tanto en el ámbito nacional como a nivel externo.

Con la información aportada por estas etapas previas, se seleccionaron los principales indicadores para las especies, que permitieran priorizar áreas para el establecimiento de plantaciones (comerciales, sistemas agroforestales y silvopastoriles). Los indicadores seleccionados fueron: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas protegidas y otras áreas con bosque; no fue posible obtener información cartográfica de la tenencia (catastro); con la información se espera disponer de un mapa preliminar del área potencia para cada una de las especies seleccionadas (5 mapas a escala 1:200.000), los cuales, complementados con la información en paquetes tecnológicos diseñados para cada una de las especies, permitirían tomar decisiones respecto a la factibilidad de una especie en un sitio determinado. El trabajo de análisis cartográfico fue realizado con el apoyo del Ingeniero Freddy Argotty, consultor privado.

## **Metodología**

Para alcanzar los objetivos propuestos en la consultoría, fue necesario diseñar un modelo de pesos ponderados el cual permite desarrollar un análisis multicriterio entre varios rasters. Análisis de este tipo generan resultados más robustos puesto que permiten darle mayor importancia a variables de significativa importancia que definen el establecimiento de las especies.

Se trabajó con ocho variables (altitud, pendiente, capacidad de uso, temperatura, precipitación, pH, suborden de suelos y meses secos). Todas las capas vectoriales se convirtieron en rasters manteniendo un marco de trabajo similar en todas las capas<sup>3</sup>. La resolución espacial fue seleccionada de acuerdo al raster con resolución más fina (altitud: 30 m).

#### 1. Capa de información: Altitud

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM V2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model).

Descripción: La información fue obtenida a partir del modelo de elevación digital (DEM), de 30 metros de resolución espacial actualizado a 2011. Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y se proyectó a coordenadas CRTM05. Datos de elevación faltantes fueron calculados a partir de interpolación espacial zonal.

#### 2. Capa de información: Pendiente

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model)

Descripción: A partir del DEM y bajo la herramienta “*slope*” del analista espacial de ArcGis fue generada esta capa para Costa Rica. Se determinó como unidad de medida de salida el porcentaje de pendiente.

#### 3. Capa de información: Capacidad de Uso del Suelo 2004

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Se hizo una revisión de las categorías de capacidad de uso de suelo para Costa Rica. Las categorías VII y VIII se consideraron como limitante para el establecimiento de plantaciones puesto que se caracterizan por ser tierras que no reúnen las condiciones mínimas requeridas para cultivo o pastoreo, y solo se pueden utilizar en protección total. En esta capa existe el parámetro de áreas protegidas el cual fue restringido en el modelo. Esta información ha cambiado respecto a su distribución en el país, por lo que análisis posteriores permitirán extraer información más actualizada.

#### 4. Capa de información: Temperatura

Formato: shape

---

<sup>3</sup> Un marco de trabajo en común es jerárquicamente significativo cuando se trabaja con rasters provenientes de diferentes fuentes y escalas, siendo a menudo prerrequisito para mejorar tareas de geo-procesamiento

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 5. Capa de información: Precipitación

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 6. Capa de información: pH

Formato: shape

Fuente: Harmonized World Soil Database V1.0

Descripción: el HWSD es un raster (30 arc-segundo) con cerca de 15000 diferentes unidades de mapeo de suelo que combina información actualizada a nivel regional y nacional y a escala 1:5000000. Las fuentes de esta capa son SOTER, ESD, Soil Map of China, ISRIC-WISE, FAO/UNESCO Soil Map of the World (FAO, 1971-1981). Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y proyectados a coordenadas CRTM05.

#### 7. Capa de información: Mapa digital de suelos de Costa Rica 2013

Formato: shape

Fuente: CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas)

Descripción: en 2009 empieza el cambio de información de suelos de formato analógico al digital y en 2013 se lanza el mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a escala 1:200000, el cual cuenta con una base de dato de 450 perfiles de suelo.

#### 8. Capa de información: Meses secos

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo, pero bajo el proyecto TERRA el número de meses secos para Costa Rica se separa y transforma a formato shape.

Fue necesario reclasificar todas las variables convirtiendo la información en datos “enteros”.

Para determinar el número de clases, se optó por conservar la información fuente, esto debido principalmente a que se quiso mantener las características de las capas originales bajo la resolución más fina (30 m).

Bajo parámetros técnicos, se asignó a cada variable y para cada especie diferentes pesos de acuerdo a su importancia relativa usando una escala común<sup>4</sup> (cuadro 1).

Para mejorar la distribución de la condición bajo la cual se establecen las especies, además de incluir las ocho variables y sus pesos de acuerdo a su importancia relativa, se determinó tres escenarios bajo los cuales se desarrollarían las especies (óptimo, medio y deficitario) (Anexo 1). Cabe aclarar que los pesos para los tres escenarios se mantienen.

Cuadro 1. Pesos de acuerdo a la importancia relativa de las variables para teca.

Especie	Variable	Peso
Tectona grandis	Altitud	20
	Meses secos	15
	pH	13
	Sub orden de suelos	12
	Pendiente	11
	Capacidad de uso	11
	Precipitación media anual	10
	Temperatura media anual	8
Total		100

La selección de la mejor condición para Teca (*Tectona grandis*) se visualiza para cada variable de acuerdo a la figura 1 (se realizó el mismo procedimiento para cinco especies diferentes, incluyendo *Pinus caribaea* var. *hondurensis*). Cabe aclarar que las áreas seleccionadas para reforestación con teca, no pueden sustituir áreas cubiertas con bosques (primarios o secundarios), así como tampoco estarán en áreas protegidas, razón por la cual este informe preliminar es una orientación de las áreas potenciales y a partir de un análisis posterior se permitirá conocer y seleccionar las áreas efectivas que representen la condición respectiva para cada especie.

---

<sup>4</sup> Según las características ecológicas y rangos de ocupación de cada especie

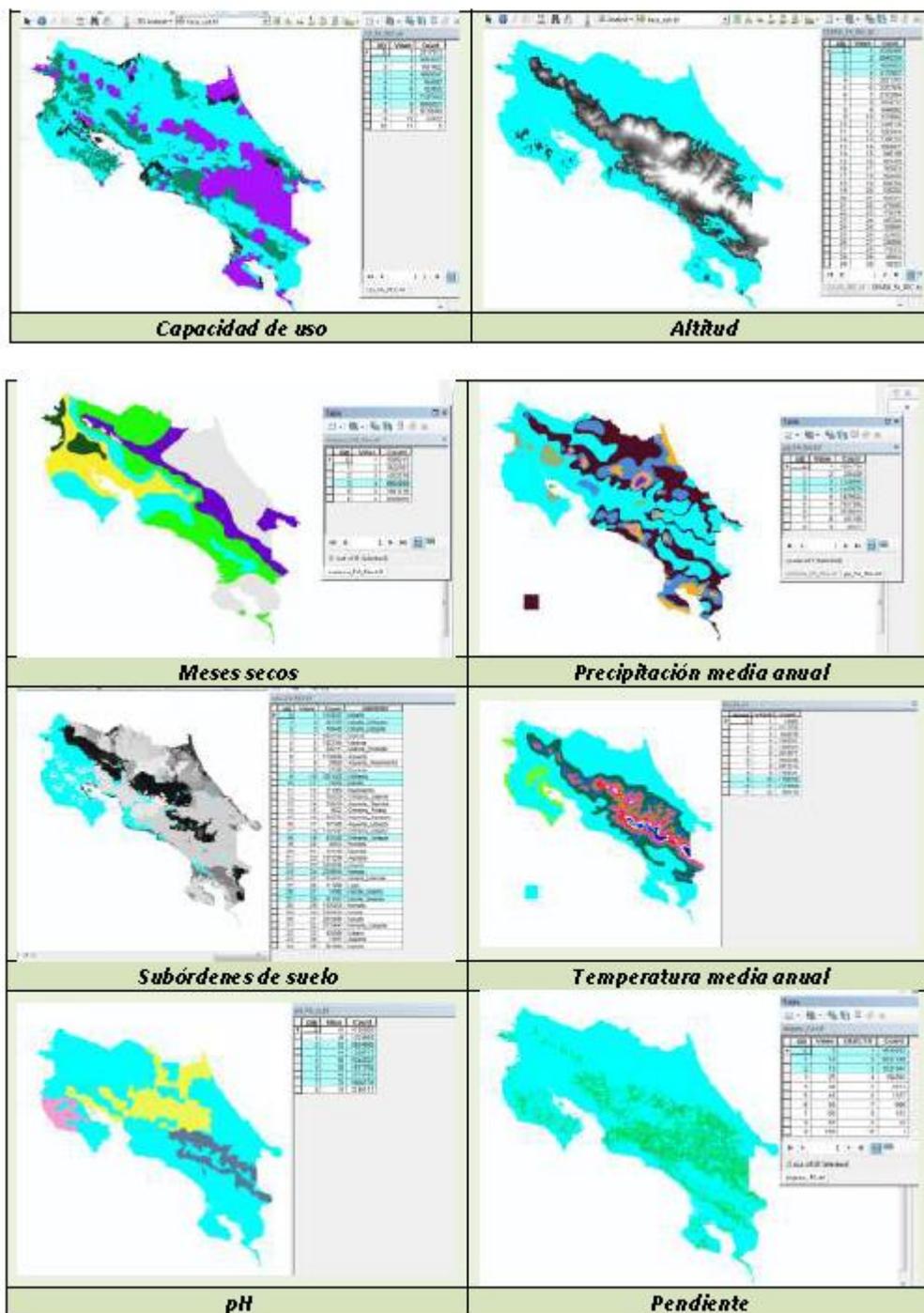


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Óptima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica																					
Condición		Optimista						Medio						Deficitario							
Especie	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Teca	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24
Melina	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs, Humulfs	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23
Pino	sin restricción	5,0-6,5	<30%	<500	1000-2000	4	24-30	sin restricción	4,0-6,5	<35%	<800	1000-3200	2-6	22-30	sin restricción	<4,0	>35%	>800 hasta 1000	<1000 o >3200	>6	<22
Eucalipto	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,0-6,5	<25%	<600	1000-2500	1-3	22-30	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,8-6,5	25%-30%	500-800	1500-3000	1-3	22-32	sin restricción	<4,8	30-35	<1000	<1500 o >3000	>4	<22
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs, Humulfs	>5,2	<25	<600	1200-1800	2-4	22-28	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs,	5,0-6,2	25%-30%	400-800	1800-2500	3-4	20-30	sin restricción	<5,0	30%-35%	<1000	<1200 o >2500	>4	<20

**Fondo Nacional de Financiamiento Forestal  
Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica**

**Eucalipto (*Eucalyptus spp.*): condiciones para su cultivo  
“Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las  
reservas de carbono”**

**Héctor A Martínez H  
Consultor**

**Moravia, Mayo de 2015**

## **Acrónimos**

ACT:	Área de Conservación Tempisque
AFE:	Administración Forestal del Estado
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BM:	Banco Mundial
CACH:	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha
CAF:	Certificado de Abono Forestal
CAFA:	Certificado de Abono Forestal por Adelantado
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CODEFORSA:	Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos
COOPEAGRI:	Cooperativa Agrícola Industrial y de Servicios Múltiples El General
CRUSA:	Fundación Costa Rica - USA
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FSC:	Forest Stewardship Council
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
IMA:	Incremento Medio Anual
ISO:	International Standard Organization
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
OET:	Organización para Estudios Tropicales
ONF:	Oficina Nacional Forestal de Costa Rica
PIB:	Producto Interno Bruto
PNUF:	Plan Nacional de Desarrollo Forestal
PSA:	Pago por Servicios Ambientales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TIR:	Tasa Interna de Retorno

# Contenido

<b>Acrónimos</b> .....	ii
<b>Resumen ejecutivo</b> .....	5
<b>1. Antecedentes</b> .....	6
<b>1.1 Marco de referencia</b> .....	6
1.2 ¿Por qué eucaliptos? .....	7
2.1 Precipitación anual .....	7
2.2 Temperatura.....	8
2.3 Altitud.....	8
2.4 Suelos .....	8
2.4.1 <i>Textura</i> .....	8
2.4.2 <i>Drenaje</i> .....	9
2.5.3 <i>Reacción del suelo</i> .....	9
2.5.4 <i>Profundidad</i> .....	9
<b>3. Formas de reproducción y producción en vivero</b> .....	11
3.1 Reproducción por semillas y otras formas.....	11
3.2 Fertilización y controles químicos .....	12
3.3 Preparación y envío .....	13
<b>4. Establecimiento</b> .....	13
<b>4.1 Época de plantación</b> .....	13
4.2 Protección de las plantaciones .....	13
4.3 Selección del sitio y preparación del suelo .....	14
4.3.1 <i>Fertilización al trasplante</i> .....	17
<b>5. Manejo</b> .....	19
5.1 Densidad de plantación .....	19
5.2 Control de malezas .....	20
5.3 Fertilización .....	20
5.3.1 <i>Deficiencias nutricionales</i> .....	25
5.3.2 <i>Efecto de la fertilización al trasplante</i> .....	26
5.4 Respuesta a la fertilización .....	27
5.4.1 <i>Respuesta del Eucalyptus grandis</i> .....	27

5.4.2 Respuesta de <i>Eucalyptus deglupta</i> .....	30
5.4.3 Respuesta de <i>Eucalyptus saligna</i> .....	30
5.4.4 Respuesta de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .....	30
5.5 Podas .....	31
5.6 Raleos .....	31
5.7 Crecimiento .....	31
5.7.1 <i>Eucalyptus camaldulensis</i> .....	33
5.7.2 <i>Eucalyptus deglupta</i> .....	33
5.7.4 Respuesta del eucalipto a la acidez del suelo .....	35
5.7.5 Respuesta al encalado .....	35
5.7.6 Efectos sobre las propiedades del suelo .....	36
5.8 Plagas y enfermedades .....	37
5.9 Cosecha .....	39
5.10 Costos .....	41
Literatura citada .....	42
<b>Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas</b> ...	<b>46</b>

## Resumen ejecutivo

*Eucalyptus spp.* es el género de especies comerciales más ampliamente plantado en el mundo, con especies ampliamente conocidas como *Eucalyptus grandis*, y sus híbridos, ampliamente plantado en América del Sur y África; *E. globulus*, plantado extensamente en Chile, Argentina y otros países, *E. deglupta* plantado en diferentes países, entre ellos Uruguay y Costa Rica. Todas las especies son plantadas tanto para la producción de madera para aserrío, tableros (compensados y aglomerados), astillas para la producción de pulpa para papel. El género *Eucalyptus spp* (y dentro de él *E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna* y *E. camaldulensis*) ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

Las especies del género se caracterizan por ser:

- Rápido crecimiento y turnos relativamente cortos que, dependiendo de la especie y el objetivo de la plantación y la calidad del sitio seleccionado, puede variar entre 6 – 15 años ;
- *Eucalytus deglupta* es la especie más conocida en Costa Rica, utilizada para la producción de madera para aserrío, construcción y en el pasado para la manufactura de tableros compensados; también se ha plantado *E. saligna* y *E. grandis* caracterizadas por su crecimiento rápido;
- Con silvicultura conocida, experiencia nacional y disponibilidad de técnicos capacitados e información disponible, producto de investigación realizada en el pasado;
- Existencia de incentivos (pago por servicios ambientales) y la posibilidad de acceder a créditos para el establecimiento y manejo.

*E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. citriodora* y otras especies del género se desarrollan bien en ambientes con altitudes sobre el nivel del mar inferiores a 600 m, sobre terrenos con hasta 25% de pendiente y suelos de los órdenes Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents y Oxisoles, preferiblemente con pH entre 5,0 y 6,5, precipitaciones entre 1000 y 2500 mm anuales y estación seca de 1-3 meses y 22º C – 30º C. estas condiciones se encuentran tanto en Guanacaste y la Península de Nicoya, como en zona norte y atlántica y en la provincia de Puntarenas, parte de la península de Osa y la región limítrofe con Panamá.

# **Eucalipto (*Eucalyptus spp.* — MYRTACEA —): condiciones para su cultivo**

Héctor A Martínez H  
Consultor

## **1. Antecedentes**

### **1.1 Marco de referencia**

Los “Términos de Referencia para la contratación de la consultoría Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (TdR) establecen que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) es el responsable, según asignación legal, del financiamiento del sector forestal costarricense, mediante el financiamiento a través de dos modalidades: pago por servicios ambientales y crédito dirigido a pequeños y medianos productores. FONAFIFO es, además, el punto focal de REDD+ y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP), el cual ha definido como una de las acciones estratégicas para Redd+ el aumento de la producción y el consumo sostenible de madera, como una de las formas para aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

La consultoría indicada ha sido contratada por el FONAFIFO y responde ante un Comité Evaluador, nombrado por el Director Ejecutivo de FONAFIFO, del que forma parte la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país.

El objetivo general de la consultoría es: Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono.

El logro de este fin requiere el alcance de los siguientes objetivos específicos:

- a) Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- b) Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.
- c) Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

La promoción del establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera requiere, como paso previo, la identificación de las principales barreras a la actividad. Los términos de referencia para el presente trabajo de consultoría solicitan la elaboración de paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades, para cinco especies prioritarias. Previamente se elaboró un documento para la priorización de las especies<sup>1</sup> y entre ellas se seleccionó *Eucalyptus spp.* (incluyendo *Eucalyptus deglupta*) (eucalipto).

---

<sup>1</sup> Martínez H., H.A. 2014. Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Moravia, Costa Rica, FONAFIFO (Fondo Nacional de Fomento Forestal). 39 p.

## 1.2 ¿Por qué eucaliptos?

*Eucalyptus spp.* es el género de especies comerciales más ampliamente plantado en el mundo, con especies ampliamente conocidas como *Eucalyptus grandis*, y sus híbridos, ampliamente plantado en América del Sur y África; *E. globulus*, plantado extensamente en Chile, Argentina y otros países, *E. deglupta* plantado en diferentes países, entre ellos Uruguay y Costa Rica. Todas las especies son plantadas tanto para la producción de madera para aserrío, tableros (compensados y aglomerados), astillas para la producción de pulpa para papel. El género *Eucalyptus spp* (y dentro de él *E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna* y *E. camaldulensis*) ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

Rápido crecimiento y turnos relativamente cortos que, dependiendo de la especie y el objetivo de la plantación y la calidad del sitio seleccionado, puede variar entre 6 – 15 años ; *Eucalytus deglupta* es la especie más conocida en Costa Rica, utilizada para la producción de madera para aserrío, construcción y en el pasado para la manufactura de tableros compensados; también se ha plantado *E. saligna* y *E. grandis* caracterizadas por su crecimiento rápido.

Normalmente se utilizan semillas para su reproducción, las cuales deben ser adquiridas en bancos de semillas especializados, o importarlas directamente de Australia o Papua, Nueva Guinea; Con silvicultura conocida, experiencia nacional y disponibilidad de técnicos capacitados e información disponible, producto de investigación realizada en el pasado;

Disponibilidad de áreas con condiciones adecuadas para el establecimiento de plantaciones, aunque el precio de la tierra puede constituir un factor limitante: cartografía reciente (anexo 1) indica que en el país se cuenta con aproximadamente 1.143.140 ha aptas para cultivo de las diferentes especies.

Existencia de incentivos (pago por servicios ambientales) y la posibilidad de acceder a créditos para el establecimiento y manejo.

*E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. citriodora* y otras especies del género se desarrollan bien en ambientes con altitudes sobre el nivel del mar inferiores a 600 m, sobre terrenos con hasta 25% se pendiente y suelos de los órdenes Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents y Oxisoles, preferiblemente con pH entre 5,0 y 6,5, precipitaciones entre 1000 y 2500 mm anuales y estación seca de 1-3 meses y 22° C – 30° C. estas condiciones se encuentran tanto en Guanacaste y la Península de Nicoya, como en zona norte y atlántica y en la provincia de Puntarenas, parte de la península de Osa y la región limítrofe con Panamá.

## 2. Requerimientos biofísicos

### 2.1 Precipitación anual

Dependiendo de la especie, el rango de precipitación va desde 200 – 3.500 mm en el área de distribución natural, mientras que en América Central las principales especies cultivadas en la zona se

han establecido en zonas con precipitación que varía entre 620 y 4600 m, con hasta siete meses secos (FAO 1981; Boland *et al.* 1984 (cuadro 1).

*Eucalyptus* es el género más importante de los árboles australianos, aunque algunas especies no se restringen exclusivamente al territorio de Australia; sus especies dominan tanto en las áreas húmedas como en la zona seca del continente (Boland *et al.* 1984).

Existen más de 700 especies y variedades, la mayoría oriundas de Australia<sup>2</sup>. Dos especies: *E. urophylla* y *E. deglupta*, son endémicas fuera de Australia. La primera es originaria de Timor y otras islas de la parte oriental del archipiélago de Indonesia, mientras que la segunda lo es del norte de Nueva Guinea, Sulawesi y Mindanao. Debido a la gran diversidad de especies que crecen en Australia, se asume que el género ha tenido allí su centro de desarrollo y evolución y que en el pasado, los progenitores de los eucaliptos estuvieron allí para crear una gran cantidad de especies adaptadas a cada nicho de su variada geografía (FAO 1981; Boland *et al.* 1984; Hillis y Brown 1984).

En la actualidad se encuentran distribuidos por gran parte del mundo y debido a su rápido crecimiento frecuentemente se emplean en plantaciones forestales para las industrias papelera, maderera, energética o para la obtención de productos químicos, además de su valor ornamental. Las especies más plantadas con propósitos industriales son *E. grandis*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. urophylla*, *E. robusta*, *E. maculata*, *E. paniculata*, y *E. viminalis* ((Hillis y Brown 1984); en América Central Costa Rica en particular debe *E. deglupta* y *E. citriodora*.

## 2.2 Temperatura

En las áreas de distribución natural del género, las temperaturas medias oscilan entre -8° C y 40° C. Donde se han cultivado especies del género en América Central las temperaturas generalmente varían entre 22° C y hasta 30° C (CATIE 1986).

La temperatura anual es muy variable en el área de distribución natural por la amplitud geográfica de la misma, que se extiende desde aproximadamente 10° N hasta 38° S y desde 120° E a 150° E y las diferencias de altitud presentes.

Debido a la extensión del área de distribución natural, las temperaturas extremas son bastante amplias, desde -8° C hasta 40° C (Boland *et al.* 1984, CATIE 1986).

## 2.3 Altitud

Las especies crecen hasta los 1200 msnm, aunque se ha recomendado plantarlas abajo de los 600 m.

## 2.4 Suelos

### 2.4.1 Textura

Los suelos son bastante variados; las especies del género se han plantado en suelos desde franco arenosos hasta franco arcillosos y arcillosos; los órdenes de suelo comprenden alfisoles, entisoles, inceptisoles, molisoles hasta vertisoles.

---

<sup>2</sup> Hay quienes afirman que existen 2800 especies de eucaliptos (<http://www.australia.com/es-cl/facts/plants.html>; revisado 30.04.2015)

En las áreas naturales las especies del género se desarrollan sobre suelos desde arenosos, arenosos francos, hasta arcillosos (FAO 1981).

#### 2.4.2 Drenaje

Las especies muestran su mejor crecimiento en suelos profundos, húmedos, bien drenados y con buen suministro de nutrimentos, aunque algunas de las especies se desarrollan bien en suelos húmedos, pero bien drenados.

#### 2.5.3 Reacción del suelo

Debido a la plasticidad de las especies, se presentan buenos crecimientos en suelos con pH arriba de 5,0 y hasta 6,5. En las áreas de distribución natural los suelos muestran diversidad de reacción, desde muy ácidos (pH4,5) hasta suelos básicos (FAO 1981; Boland et al. 1984).

#### 2.5.4 Profundidad

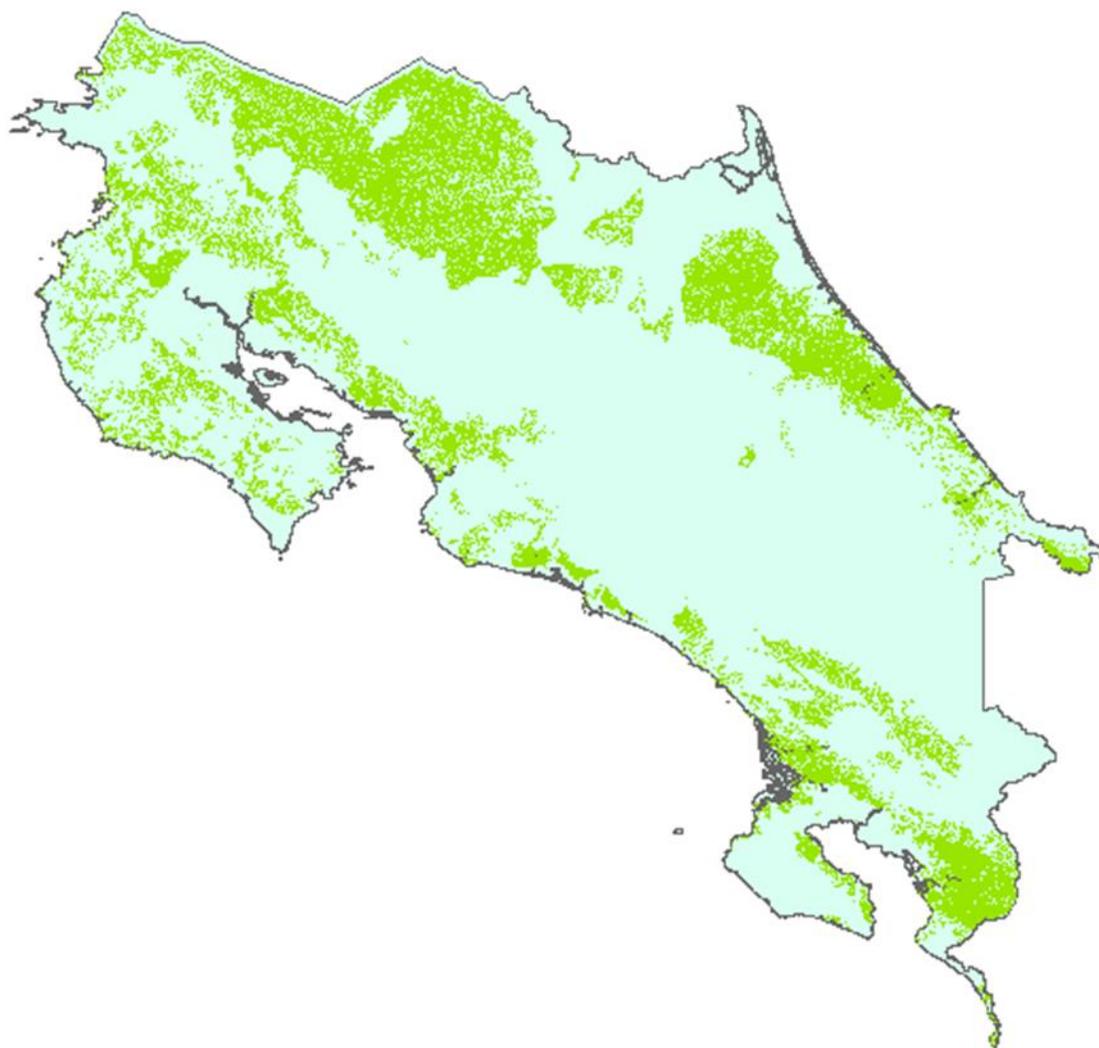
Aunque se ha plantado en suelos poco profundos, el crecimiento no ha sido adecuado; en general se requieren suelos profundos, sueltos, bien drenados, sin capas endurecidas.

Especie	pH	Pendiente	altitud (msnm)		precipitación (mm)		seca (meses)	Temperatura °C	
			Origen	A. Central	Origen	A. Central		Origen	A. Central
Eucalyptus sp.			0 - 1800	0 - 2000	200 - 3500	620 - 4000	4 - 8	3 - 40	18 - 28
Eucalyptus (Óptimo)	5,0-6,5	<25%		<600		1000-2500	1 - 3		22-30
E. camaldulensis			0 - 1200	0 - 1000	200 - 1250	620 - 2500	4 - 8	3 - 38	20 - 29
E. citriodora			80 - 800	0 - 2000	650 - 1300	850 - 2800	4 - 8	18-35	20 - 26
E. deglupta			0 - 1800	0 - 1100	2500 - 3500	2400 - 4600	0 - 2	24 - 32	20 - 35
E. grandis			0 - 900	0 - 1200	1000 - 3100	1100 - 2500	5 - 6	3 - 40	20 - 32
E. saligna			50 - 1100	50 - 1200	800 - 1800	> 1600	4 - 5	-8 - 33	18 - 26
E. tereticomis			0 - 1800	0 - 1200	500 - 1500	700 - 1400	< 7	2 - 32	21 - 28

Fuente: FAO 1981; Boland et al. 1984; CATIE 1986

De acuerdo con los requerimientos biofísicos indicados para las especies del género, se construyó un mapa que muestra las áreas potenciales para el cultivo de las especies del género. El mismo permitió identificar en forma preliminar un área potencial de 18.187 ha sin limitaciones y un total de 1.143.140 hectáreas donde alguno de los indicadores biofísico no se alcanza completamente.

Estas áreas se distribuyen en la zona Huetar norte, la provincia de Guanacaste, parte de Puntarenas y Limón; la selección de áreas en forma puntual debe incluir además las condiciones del suelo, para determinar el potencial de crecimiento de las especies seleccionadas.



---

Áreas con potencial para el establecimiento de plantaciones del género *Eucalyptus* (áreas consideradas óptimas).

Fuente: elaboración propia a partir de capas de información geográfica.

### 3. Formas de reproducción y producción en vivero

#### 3.1 Reproducción por semillas y otras formas

Por el tamaño pequeño de las semillas de la mayoría de las especies, la manipulación se hace difícil y deben colectarse directamente de los árboles, antes de la apertura de las cápsulas seminales. Dado que en América Central no se dispone de rodales semilleros, es más recomendable la obtención de las semillas de Banco de Semillas especializados, o directamente desde Australia.

En general, para todos los eucaliptos en América Central se utiliza la producción de plántulas a partir de semillas, usando, para la germinación, sustratos esterilizados como mezclas de suelos fértiles con arena en proporción 1:1, o solo arena fina, esterilizada para prevenir la aparición de hongos o la germinación de malezas. Los germinadores deben estar protegidos de la lluvia (que puede levantar la semilla o destruir las plantitas), aunque deben permanecer húmedos para favorecer la germinación.

Los porcentajes de germinación son generalmente superiores al 90%, con semillas de calidad y fresca, por lo que no se requieren tratamientos pre-germinativos. El tiempo de germinación fluctúa entre 5 y 12 días en la mayoría de las especies, aunque en el caso de *E. deglupta* se menciona un tiempo de germinación de 15 a 20 días (Salazar, 1987).

En el caso de *E. deglupta* se debe vigilar en forma constante las plántulas recién germinadas y asegurar un trasplante adecuado, tomando en cuenta el tamaño pequeño de las plántulas, lo que las hace susceptibles a daños físicos y el ataque de hongos (Castro et al. 1994). Se requiere buena aireación del área de siembra; asegurar la circulación del aire para evitar el exceso de humedad en el ambiente; utilizar agua limpia para el riego oportuno y adecuado y utilizar iluminación adecuada, no excesiva para evitar el desecamiento de los germinadores.

Las plántulas están listas para el repique cuando tienen una altura de cinco centímetros y han producido las primeras dos hojas verdaderas, generalmente dos a tres semanas después de la germinación. Durante este periodo se debe dosificar el riego y administrar fungicidas cúpricos en dosis adecuadas para evitar la aparición de “damping off” causado por hongos de especies de los géneros *Phytium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Penicillium* y *Phytophthora*.

Debe tenerse especial cuidado en la aplicación de fungicidas, ya que en algunas especies se presentan ectomicorrizas; por ejemplo, en *E. camaldulensis* se asocia con *Pisolithus tinctorius*, *Scleroderma paradoxum*, *Hydnangium carneum* y *Laccaria laccata*.

Las plántulas se repican a recipientes individuales, generalmente bolsas de polietileno negro de 10 cm x 20 cm (4” x 8”) agujereadas llenas de aproximadamente 800 gm de sustrato (suelo fértil y arena en proporción 2:1 a 3:1); también pueden utilizarse tubetes plásticos o de papel kraft, o pellets de turba (conocidos comercialmente como “jiffys”). Cuando se utilizan recipientes como bolsas o tubetes debe asegurarse que el sustrato queda libre de bolsas de aire (bien compactados), para disminuir los riesgos de ataques fúngicos y desecamiento.

### 3.2 Fertilización y controles químicos

Las semillas de eucalipto son pequeñas, por lo que se germinan en un sustrato esterilizado de arena o una mezcla 1:1 de arena con suelo fértil, sin la aplicación de fertilizante. Las plantas se mantienen en los germinadores hasta que alcancen el tamaño de repique; en el caso de *E. saligna* las plantas tardan de 10 a 20 días para germinar y el tamaño de trasplante a bolsa se realiza cuando tienen 4 hojas verdaderas mientras que en el caso de *E. camaldulensis* las plantas tardan de 5 a 12 días para germinar y el trasplante se realiza con 2 hojas verdaderas (Martínez 1990; CATIE 1991).

Adjoud y Halli (2000) mencionan que el género Eucalipto es uno de los pocos árboles maderables que forma ectomicorrizas, por lo que se acostumbra hacer inoculaciones a nivel de vivero para mejorar la sobrevivencia y el desarrollo de las plántulas en sus fases de crecimiento temprano (Trappe 1997). La inoculación se realiza a partir de micelio vegetativo y por medio de esporas colectadas en el campo (Xianheng et al. 1998), de manera que los árboles lleven la micorriza al campo.

Las plantitas se trasladan a bolsas de 10x20 cm con agujeros y llenas de una mezcla de arena, suelo fértil y un componente orgánico como compost, aserrín de madera o granza de arroz, en una proporción 1:1:1 (Martínez 1990; CATIE 1991). Si se desea un manejo preciso de la nutrición, al preparar el sustrato se pueden adicionar algunos nutrimentos necesarios en ésta fase de crecimiento. Según sea la limitante del sustrato se puede utilizar en g m<sup>-3</sup> 300 a 500 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 3 a 6 de B; 1 a 2 de Cu; 15 a 40 de Mn y Fe; y 15 a 25 de Zn y enmiendas como calcita o dolomita (Silveira et al. 2001). Martínez (1990) y CATIE (1991) mencionan que cuando se utiliza en los sustratos suelo pobre, es aconsejable mezclarlo con un fertilizante como 15-15-15 (NPK) a razón de 25 kg m<sup>-3</sup>; sin embargo, debido a los altos riesgos de daño químico a las plántulas, no se recomienda aplicar fertilizante bajo el sistema radical, sino aplicar de 8 g m<sup>-2</sup> de era o bancal de la fórmula 15-38-10 disuelto en agua, después de la sexta semana (Cannon 1983). Un mes antes del trasplante se recomienda eliminar la fertilización con el propósito de lograr endurecimiento y lignificación, de tal forma que las plantas no sufran mucho estrés en las primeras semanas posteriores al trasplante (Cannon 1983).

Para mejorar el crecimiento de las plántulas en Andisoles en Colombia, Vélez (1981) realizó una serie de ensayos de fertilización en viveros de *E. grandis*, encontrando que la adición conjunta de 40 g m<sup>-2</sup> de urea con 400 g m<sup>-2</sup> de calfos causó la mejor respuesta, sin que la adición de K tuviera ningún efecto positivo adicional. En esta fase (Silveira et al. 2001), las deficiencias nutricionales son poco comunes y los principales problemas se deben a toxicidades y desequilibrios nutricionales, principalmente de boro y manganeso, causadas por malas dosificaciones y manejo del sustrato. En el caso de deficiencias, estas pueden corregirse con aplicaciones de fertilizante foliar, basándose en valores establecidos de concentración foliar.

Barros y Novais (1990), recomiendan aplicar, en la fase de vivero, cantidades de nitrógeno en dosis de entre 50 y 150 g m<sup>-3</sup> de sustrato, iniciando por la menor dosis, y de ser necesario, aplicar el resto de modo fraccionado, pudiendo observarse respuestas positivas y generalizadas. Para el fósforo, recomiendan aplicar 200 a 300 g P m<sup>-3</sup> de sustrato, utilizando una fuente soluble preferentemente, ya que su disponibilidad natural es muy baja, y puede observarse respuestas generalizadas y de gran magnitud. Para el caso del K, recomiendan elevar la concentración en el sustrato hasta 30 ppm, para el S

recomiendan la aplicación de 20 a 40 g m<sup>-3</sup> de sustrato. En cuanto al uso de enmiendas, recomiendan su uso con el objetivo tanto de corregir la acidez como de adicionar Ca y/o Mg. Así, recomiendan aplicarlas para elevar el contenido de Ca<sup>+2</sup> hasta 0,20 a 0,40 cmol (+) 100 g<sup>-1</sup>, y de Mg<sup>+2</sup>, hasta 0,05 a 0,10 cmol (+) 100 g<sup>-1</sup>. En el caso de los micronutrientes, anotan que generalmente, el B y el Zn son los que más frecuentemente pueden ser limitantes para las plántulas, y que la sintomatología visual de deficiencias en las plántulas, es un aspecto importante para direccionar la necesidad de fertilización con micronutrientes.

El mayor problema en vivero es la aparición de hongos que producen damping off por excesos de húmedas, o la presencia de hormigas del género *Atta*, por lo que deben tomarse las medidas correctivas adecuadas, como regulación del riego, aplicación de fungicidas cúpricos y control de hormigas con productos autorizados.

### **3.3 Preparación y envío**

Una vez las plántulas están listas, se les empaca en bandejas de hasta 30 plántulas (en bolsas de polietileno de 4" x 6" o 4" x 8") o de 96 a 150 plántulas en "jiffys"; cada vivero define la cantidad y arreglos necesarios para garantizar la cantidad adecuada, de acuerdo al método de plantación seleccionado.

Las plántulas criadas en bolsa generalmente salen con una altura de 20 cm -30 cm, mientras que plántulas en jiffys pueden tener entre 10 cm y 30 cm. A menor altura de las plántulas, mayor exigencia con el control de malezas en el campo.

## **4. Establecimiento**

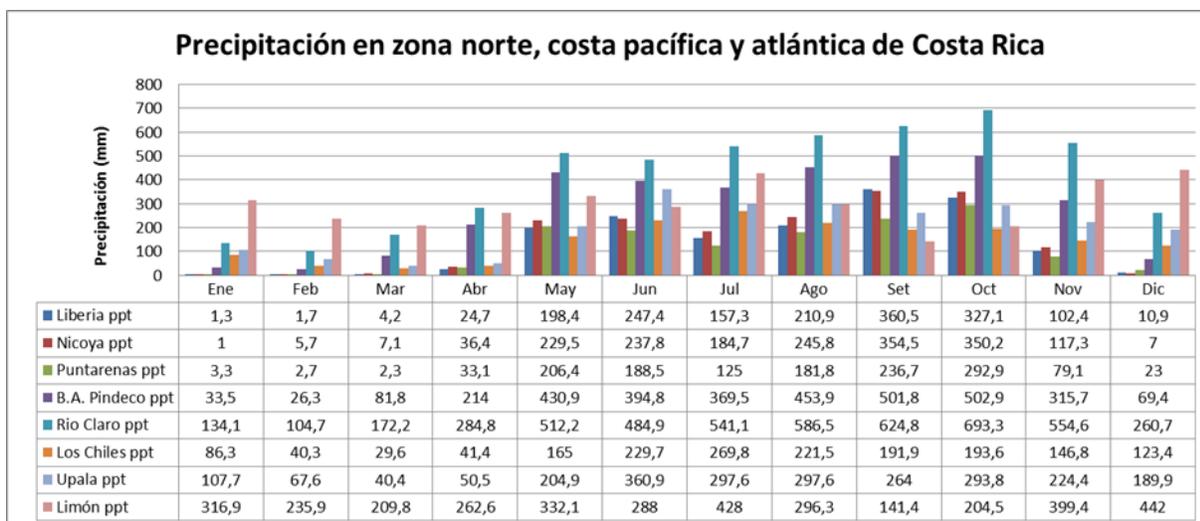
### **4.1 Época de plantación**

Las especies de eucalipto, al igual que otras especies, el establecimiento debe hacerse tan pronto se establecen las lluvias, para aprovechar toda la estación de crecimiento y asegurar el establecimiento de la plantación. En Costa Rica, normalmente, esta época inicia en mayo y se extiende hasta octubre, noviembre en algunas áreas (figura 1).

De manera general las áreas bajas del territorio nacional se prestan para el establecimiento de diferentes especies de eucaliptos, incluyendo las más conocidas en el país, *deglupta*, *saligna*, *camaldulensis* y *citriodora*.

### **4.2 Protección de las plantaciones**

Las plantaciones de eucalipto, al igual que otras especies, son susceptibles a daños por el fuego (incendios forestales), el pisoteo y ramoneo de ganado y otros animales, así como ataques de insectos y enfermedades. Los sitios plantados deben protegerse mediante rondas cortafuegos y cercos que impidan el ingreso de animales; es necesario implementar labores de vigilancia permanente para evaluar posibles riesgos y daños. Es común, adicionalmente, el establecimiento de cercos, incluyendo la presencia de otras especies para proteger a las plantaciones recién establecidas.



**Figura 1. Distribución de la precipitación en zonas seleccionadas de Costa Rica (Fuente: IMN)**

### 4.3 Selección del sitio y preparación del suelo

Las especies de eucaliptos, junto con las de pino, son ampliamente utilizadas en programas de plantación en América del Sur (Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Uruguay, Paraguay, Venezuela) para la producción de madera para tableros (contrachapados, de partículas, MDF, etc.), astillas, madera, energía, postes y otros.

Las principales especies (*E. grandis*, *E. globulus*, *E. saligna* y otros) plantadas en América del Sur se establecen en bloques grandes de más de 100 ha, mientras en América Central las áreas de plantación generalmente son pequeñas, menores a 300 h en un solo bloque. Las diferentes especies de eucalipto, tiene requerimientos de suelo diferente, según su procedencia y adaptación a condiciones de crecimiento diferentes, aunque este disminuye para la mayoría de las especies cuando los valores de resistencia a la penetración son superiores a 20 kg cm<sup>-2</sup> (Dedecek *et al.* 2001).

Costa (1990), citado por Alvarado y Thiele (2012), informa de un trabajo en el que se muestra el efecto de la densidad aparente del suelo sobre el peso seco de plántulas de cuatro especies de eucalipto; aumentos en la densidad aparente causan una disminución del crecimiento de las cuatro especies; sin embargo, no siempre los mayores pesos correspondieron con los valores menores de densidad del suelo, ya que a veces un ligero aumento en esta variable puede reducir la pérdida de agua y con ellas nutrimentos en solución. Lo anterior significa que densidades altas del suelo donde se establezca una plantación pueden afectar negativamente su crecimiento.

En Brasil, Gonçalves *et al.* (1990) encontraron una alta correlación entre el contenido de limo, materia orgánica y arcilla sobre la productividad de *E. saligna*. Otros autores (CATIE 1997a; CATIE 1997b; CATIE 1997c; CATIE 1997d; CATIE 1997e) encontraron que la topografía es importante para el eucalipto en cuanto a su efecto sobre la profundidad del suelo y el drenaje. Su crecimiento es pobre en suelos compactados por sobrepastoreo, calcáreos, suelos mal drenados y con poca humedad disponible en todo el año. Los mejores crecimientos se presentan en suelos franco-arenosos, con buen drenaje y con pH de neutro a ácido.

**Cuadro 2. Peso seco (g) de la parte aérea de plántulas de especies de eucalipto a los 85 días de edad, en diferentes desidades aparentes del suelo.**

Densidad aparente	Especies			
g ml <sup>-1</sup>	E. citriodora	E. grandis	E. paniculata	E. cloeziana
0,85	7,42	4,96	5,76	1,36
1,00	6,31	3,42	4,11	1,05
1,07	6,68	3,71	6,21	1,03
1,14	7,25	3,19	4,35	100
1,21	2,25	2,28	2,57	156
1,28	3,37	2,51	2,94	0,46

Fuente: Costa 1990, citado por Alvarado y Thiele 2012

*E. deglupta* se adapta de manera natural y presenta tasas de excelente crecimiento en áreas a orillas de ríos libres de malezas, con excesivo suplemento de agua y bien drenadas. Sin embargo, al ser plantado tiene que competir con malezas, lo que disminuye la productividad y requiere realizar un buen control de malezas (Mackensen 1999). Durante las fases tempranas de crecimiento, *E. deglupta* no es capaz de competir exitosamente con la vegetación accesoria, y la tasa de mortalidad es consecuentemente alta, especialmente si no se realiza un adecuado mantenimiento de las plantaciones (Mackensen y Fölster 1999).

En Argentina se ha relacionado la disponibilidad de P en el suelo con la productividad de *E. grandis* en estos sitios (Aparicio y Lopez, 1995), en Ultisoles, Entisoles y Vertisoles arenosos; adicionalmente Mollisoles, Inceptisoles y Alfisoles en América Central (cuadro 3).

**Cuadro 3. Condiciones generales para el crecimiento de eucaliptos en Costa Rica.**

Crecimiento	Suelos	pH	Pendiente	Altitud	Precipitación	Meses secos	Temperatura
Adecuado	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,0 - 6,5	< 25	< 600	1500 - 2500	1 - 3	22 - 30
Mediano	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,8 - 6,5	25 - 30	500 - 800	1500 - 3000	1 - 3	22 - 32
Deficitario	sin restricciones	< 4,8	30 - 35	< 1500 o > 3000	< 1500	> 4	< 22

Fuente: elaboración personal con base en la literatura

Eucalipto se planta en una gran variedad de sitios, muchos relativamente secos, como crestas y partes altas de lomas, que son sitios no deseables (Spangenberg y Fölster 2002). Por otro lado, un exceso de agua en el suelo implica un menor contenido de oxígeno, tornando el ambiente poco adecuado para el crecimiento de las raíces de eucalipto. A pesar de que algunas especies presentan tolerancia a la deficiencia de agua, las observaciones de campo evidencian un crecimiento insatisfactorio de la mayoría de las especies plantadas (Barros y Novais 1990). Según Francis (1989) en Puerto Rico *deglupta* crece

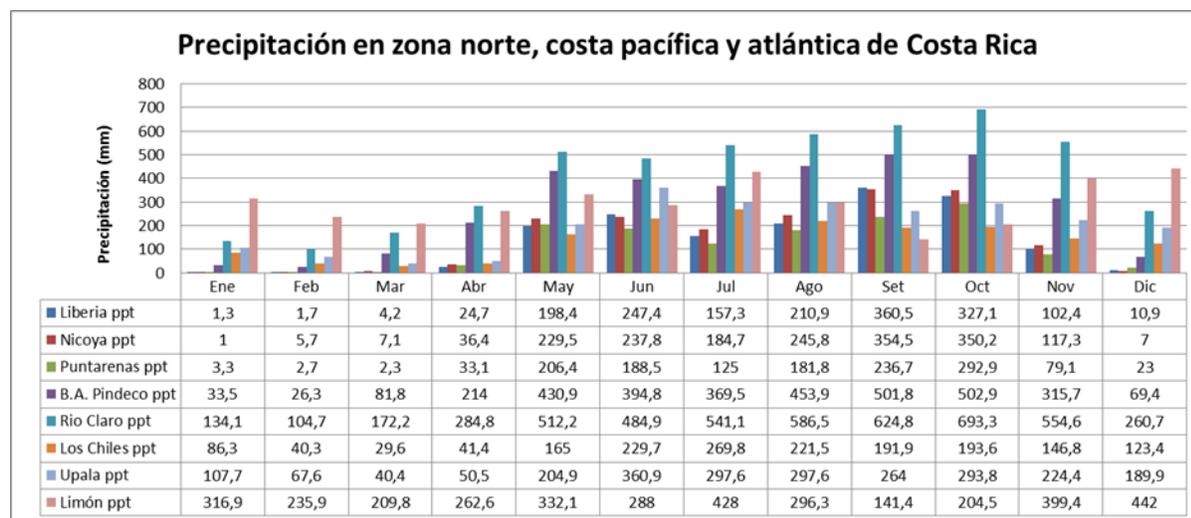
bien en margas arenosas profundas y moderadamente fértiles, pero también crece en ceniza volcánica y suelos areniscos.

El cuadro 4 presenta los promedios de temperaturas máximas y mínimas en zonas seleccionadas de Costa Rica y la figura 2 la precipitación mensual y los días de lluvia en las mismas zonas.

Estas condiciones permiten estimar la existencia de 1.143.150 ha de zonas aptas para el cultivo de las diferentes especies de eucaliptos, a lo que se adicionarían 227.700 ha de áreas con condiciones medianas y 230.530 ha de zonas con limitaciones para el desarrollo de *E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. tereticornis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana* y otras especies propias de zonas bajas.

**Cuadro 4. Promedios de temperaturas máximas y mínimas mensuales en sitios de Costa Rica**

	Liberia		Nicoya		Puntarenas		B.A. Pindeco		Río Claro		Los Chiles		Upala		Limón	
	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max
<b>Ene</b>	20,7	33,4	22,5	33,8	23,7	30,2	19,3	31,9	21,1	32,3	20,8	29,9	21	29,2	20,7	28,9
<b>Feb</b>	21,2	34,4	22,7	35,3	24,2	30,9	19,1	33,1	21,4	33,2	20,5	30,9	20,7	30,5	20,7	29,1
<b>Mar</b>	21,6	35,4	23,4	36,1	25	31,5	19,9	33,5	21,9	33,6	20,6	32,6	20,9	31,8	21,3	29,7
<b>Abr</b>	22,7	35,9	24,1	36,6	25,3	30,8	21,1	32,4	22,5	32,8	22	33,8	21,7	33,2	22,0	30,1
<b>May</b>	23,4	33,9	24	34,5	24,7	29,9	21,3	31	22,4	31,8	22,8	32,9	22,6	32,6	22,8	30,4
<b>Jun</b>	23,2	32	23,5	33	23,9	29,2	21,2	30,5	22,2	31,4	23,1	31,7	22,9	31,5	22,9	30,3
<b>Jul</b>	22,8	32,1	23,3	32,9	23,6	29,1	20,9	30,3	22	31,2	22,9	30,8	22,8	30,7	22,6	29,6
<b>Ago</b>	22,6	32,1	23,3	32,8	23,7	29,2	20,9	30,5	21,9	31,3	23,1	31,5	22,7	31,2	22,5	30,1
<b>Set</b>	22,4	31,3	23,1	32,3	23,4	28,8	20,7	30,5	21,9	31,3	22,7	32,3	22,5	32,1	22,5	30,6
<b>Oct</b>	22,3	30,9	23	31,4	23,3	28	20,8	29,7	22	30,6	22,6	31,8	22,4	31,4	22,3	30,4
<b>Nov</b>	21,5	31,6	22,9	31,7	23,5	28,5	20,9	29,8	22,1	30,6	22	30,5	22,1	29,7	22,0	29,4
<b>Dic</b>	21	32,5	22,6	32,8	23,6	29,4	20,3	30,8	21,6	31,4	21,9	29,9	21,5	29	21,2	28,9



**Figura 2. Precipitación y días de lluvia en sitios seleccionados de Costa Rica**

Fuente: IMN [http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?\\_\\_EVENTTARGET=LinksInfoClimatica](http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=LinksInfoClimatica)

En la provincia de Entreríos y Corrientes, en Argentina, una porción importante de la productividad de *E. grandis* se define en la etapa de establecimiento de la plantación. Las técnicas de mayor impacto son la preparación del terreno, el control de malezas y la fertilización. La aplicación adecuada de cada una de ellas incrementa la productividad, mejora la homogeneidad y beneficia la sustentabilidad. Las plantaciones de *E. grandis* se distribuyen en una gama muy variable de suelos y unidades fisiográficas,

desde las lomas de suelos rojos arcillosos lateríticos del noreste de Corrientes (Alfisolos y Ultisolos), los cordones arenosos del centro y sudoeste de Corrientes (Ordenes Alfisolos y Entisolos), suelos arenosos de la costa del río Uruguay hasta franco arcillosos y arcillosos de las provincias de Entre Ríos y Corrientes (Entisolos, Alfisolos, Molisolos, y Vertisolos).

En la mesopotamia argentina, la preparación de suelo para la plantación tiene una gran influencia sobre el crecimiento del eucalipto a lo largo de la rotación. Asimismo, como los costos de estas tareas acumulan intereses a lo largo del ciclo productivo deben ser evaluados detenidamente.

El objetivo de la preparación del terreno es suministrar a las plantas las mejores condiciones para el desarrollo del sistema de raíces, con un buen acceso al agua y a los nutrientes. En los últimos años, ante la necesidad de reducir costos y disminuir la erosión, es cada vez más utilizada la preparación del terreno con rastra de discos sólo en la banda de plantación (Aparicio et. al 2014). La textura muy variable de los suelos destinados a plantaciones de *E. grandis* en la región y la posición en el paisaje marcan diferencias en la intensidad de las labores de preparación del terreno. Las labores de roturación (subsulado) tienen mayor efecto a medida que aumenta el porcentaje de arcilla debido a la mayor resistencia al crecimiento de las raíces y a la menor permeabilidad del agua.

En suelos arcillosos, asumiendo que la labranza profunda benefician el crecimiento, la tendencia es subsolar hasta 40-80 cm profundidad. Esta labor requiere un considerable aumento de potencia para su aplicación en comparación a la preparación superficial con rastras de discos. Sin embargo, estudios en suelos rojos arcillosos de Corrientes y del Sur de Misiones no evidenciaron diferencias en crecimiento al comparar dos profundidades de subsulado respecto a preparación con arado y rastra de discos (Aparicio et al.1995).

En América Central *E. camaldulensis* y *E. saligna* se pueden plantar en una amplia variedad de suelos sin necesidad de preparar el terreno (CATIE 1986; Martínez 1990; Martínez 1991; CATIE 1991). En el caso de suelos compactados por ganadería (principalmente ándicos) es necesario subsolar y sembrar en hoyos profundos y anchos (30x30x30 cm). En Oxisol compactados, el utilizar equipos con un subsolador de una línea no es suficiente para corregir todo el problema y en el caso de utilizarse un aparato de tres líneas bajo condiciones de humedad inadecuadas, puede causarse más compactación después de un tiempo. En esta fase de preparación del suelo se debe realizar un análisis químico, con el propósito de definir el tipo de enmiendas que deben de aplicar de acuerdo a las limitaciones en contenidos de Ca, Mg, P (suelos altamente fijadores como los Andisolos) y acidez.

En América Central, se ha cultivado *E. saligna* en Inceptisolos con características ándicas (al presente Andisolos), Alfisolos y Ultisolos en alturas medias, mientras que el *E. camaldulensis* en suelos poco desarrollados, más pobres y de pisos altitudinales más bajos y secos, entre ellos Entisolos, Inceptisolos, Molisolos y Alfisolos (Martínez 1991; CATIE 1991). En Colombia se menciona su cultivo en Inceptisolos ándicos sobre las cordilleras Central y Occidental (Cannon 1983).

#### 4.3.1 Fertilización al trasplante

Ward et al. (1985), resumiendo lo encontrado por varios autores, mencionan que en esta etapa de crecimiento y hasta el cierre de copa de la plantación, la respuesta del eucalipto a la adición de N

ocurre en muchas partes del mundo, la respuesta a la adición de P es rara y a K limitada. La respuesta a la adición de micronutrientes es aún más limitada, aunque se menciona que ocurre a la adición de Mg y Fe en suelos alcalinos y calcáreos, al B en el este y centro de África y Andisoles y Oxisoles de Suramérica.

Silveira et al. (2001) indican que en Brasil la fertilización al trasplante consiste en la aplicación de P, Cu, Zn, N y K; en América Central (CATIE 1991; Martínez 1990) se utiliza una fuente de fertilizantes con N, P y en Colombia (Cannon 1983) una base de N, P, K y B. Estudios realizados en Australia (Judd et al. 1996) demuestran que la fertilización inicial del eucalipto debe completarse antes de los 9 meses después del trasplante, con adiciones de fertilizante cada 12 meses y no después del tercer año.

Con una fertilización al trasplante se obtienen altas tasas de sobrevivencia y crecimiento rápido en altura, lo que permite un control temprano de malezas y un mayor crecimiento diamétrico y de volumen de madera. La experiencia en América Central indica que las mejores respuestas a la fertilización se obtienen aplicando entre 40 y 60 g por planta de fórmulas completa (12-24-12; 10-30-10) al momento del trasplante, lo que equivale a aplicar entre 6 a 24 g por planta de N y 8 g por planta de P.

Actualmente, las cantidades de fertilizante aplicadas en plantaciones de ciclo corto varían según el tipo de suelo, la especie y la producción objetivo. En Brasil distribuyen de 200 a 400 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato y 100 kg ha<sup>-1</sup> N:P:K 25:0:25 cuando las plantaciones llegan a su cuarto ciclo. Para siembras nuevas, luego de pasturas o vegetación secundaria, se utiliza sólo un NPK al fondo del hueco (Spangenberg y Fölster 2002).

En las Sabanas Orientales de Venezuela, Morales y Ortega (1980) midieron el efecto de aplicar al trasplante fosforita y las fórmulas 12-12-17-2 y 12-12-6 en dosis de 0, 100, 150 y 200 g por planta sobre el crecimiento de *E. grandis*; los autores concluyeron que las mejores respuestas en productividad se obtuvieron con la aplicación de 100 g por planta del fertilizante fosforita y que en esta localidad no es aconsejable intentar producir la especie sin aplicar fertilizante. Similares resultados encontró Cannon (1983) en Andepts en Colombia en cuyo caso los mejores resultados en crecimiento se obtuvieron con la aplicación de 100 g por planta de 10-30-10, con incrementos en 15 veces del volumen con respecto al testigo. Cannon (1983), también menciona que la aplicación de 5 g por árbol de B después de un año presenta mayores alturas que el testigo, aunque recomienda un seguimiento a la aplicación de este elemento ya que fácilmente puede incurrirse en problemas de toxicidad.

Según Barros y Novais 1996 (citados por Silveira *et al.* 2001), las aplicaciones de Ca deben ser en cantidades suficientes para suplir la demanda del cultivo en el ciclo de producción, lo cual se podría lograr con dosis de 1 a 2,5 t ha<sup>-1</sup> de dolomita. Para el caso del P éstos mismos autores recomiendan su aplicación, especialmente cuando los suelos tienen un pH (CaCl<sub>2</sub>) menor a 5,0.

Los mejores crecimientos del *E. grandis* en Australia se registran en suelos francos profundos y húmedos, bien drenados de origen volcánico o aluvial. Crece moderadamente bien en suelos arcillosos si éstos tienen buen drenaje. En su región de origen (Queensland y Nueva Gales del Sur), se lo encuentra principalmente en las partes bajas o de poca pendiente de valles fértiles con suelos profundos y bien drenados. En la Mesopotamia se lo ha plantado en un espectro de variación edáfica muy amplio que se presenta en el cuadro 4.

Los mejores suelos para *Eucalyptus grandis* en la región del Noreste de Entre Ríos son los arenosos pardos profundos (localmente llamados "mestizos"; orden Inceptisol y Molisol) con IMA Profundidad de suelo (cm) que pueden superar los 50 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. Sobre arenas rojizas profundas (orden Entisol) y suelos arcillosos (Vertisol), el incremento medio anual se reduce a valores de 33 y 26 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, es la falta de retención de humedad y la baja respectivamente. Los suelos mestizos tienen mayor fertilidad y mayor retención de humedad que los arenosos profundos, que tienen como limitaciones la baja retención de humedad y poca fertilidad (Aguerre *et al.* 1995).

<b>Cuadro 4. Crecimiento de <i>E. grandis</i> en Argentina</b>	
Tipo de suelo	Crecimiento medio anual esperado
Rojos profundos: Ultisol	45-50 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a los 10 años
Arenoso pardo profundo y arenosos rojizos con profundidad efectiva mayor a 60 cm: Entisol	40 - 45 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a los 10 años
Arenoso pardo con profundidad efectiva alrededor de 30 cm: Inceptisol	30 - 35 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a los 10 años
Arenosos de baja fertilidad, profundidad alrededor de 60 cm o mas: Brunizem arenoso	25 - 30 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a los 10 años
Vertisol arenosos	20 - 25 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> a los 10 años
Fuente: Aguerre et al. 1995	

En América Central *E. camaldulensis* se adapta a una gran cantidad de suelos, desde relativamente pobres hasta periódicamente inundables, pero los suelos sobre-pastoreados y compactados no permiten el desarrollo de la especie, así como suelos con poca humedad disponible; *E. citriodora* prefiere suelos bien drenados, sueltos, de los órdenes inceptisol y alfisol, sin presencia de capas endurecidas; *E. deglupta* es una especie exigente, que requiere suelos húmedos pero bien drenados, franco arenosos profundos y con buena fertilidad, libres de malezas, especialmente gramíneas sin capas endurecidas; *E. grandis* prefiere suelos profundos, bien drenados, con buena fertilidad natural y es sensible a las deficiencias de boro, mientras que *E. saligna* utiliza suelos limosos o arcillosos, moderadamente fértiles, húmedos pero no inundables, de origen volcánico, mientras que *E. tereticornis* puede crecer en suelos ácidos (CATIE 1986; CATIE 1991; Martínez 1991).

## 5. Manejo

### 5.1 Densidad de plantación

Uno de los factores más fácilmente manejables por el productor es la densidad de plantación. La densidad tiene una relación directa con los costos de establecimiento, los costos de mantenimiento y la calidad y cantidad de producto a obtener.

En el sur de América del Sur las densidades más frecuentes varían entre 1000 y 1100 árboles por hectárea (distanciamientos de 4,0 m x 2,5 m y 3,0 m x 3,0 m) hasta menores densidades (816 y 625 árboles ha<sup>-1</sup>, en espaciamentos de 3,5 m x 3,5 y 4,0 m x 4,0 ) en rotaciones de 10-12 años para la producción de madera para aserrío, tableros, enchapados y otros usos con especies de *E. grandis*, *E. salina*, *E. globulos*, *E. citriodora*, *E. camaldulensis*, principalmente.

Densidades altas producen mayor cantidad de biomasa, pero fustes más delgados; aumenta la poda natural, la mortalidad natural y el número de plantas dominadas y se hace una utilización más intensiva del sitio. Si el objetivo es la producción de madera para aserrío, el turno se alarga, para obtener diámetros aserrables. Para compensar las pérdidas de crecimiento individual de los árboles se hace necesario el uso de prácticas de silvicultura intensiva como fertilización, raleos, podas.

En América Central se han utilizado diferentes espaciamentos, desde altas densidades (2500 árboles ha<sup>-1</sup>) para la producción de leña y puntales para bananos con *E. camaldulensis*, espaciamentos más amplios (3,0 x 3,0 m para producción de madera con *E. citriodora*, *E. deglupta* y *E. grandis*, hasta espaciamento de 5,0 m x 4,0 m o 5,0 m x 3,0 m en asocio con café con *E. deglupta*, *E. saligna* o *E. tereticornis*.

La densidad inicial elevada reduce la altura media (no la altura dominante), el diámetro medio, el tamaño de las ramas y la conicidad e incrementa el área basal media ha<sup>-1</sup>, y, como ya se dijo, el volumen total, aunque no necesariamente el volumen aserrable. Si el objetivo de producción es la obtención de madera aserrable, convienen las densidades bajas y la adopción de un programa de podas, para disminuir la presencia de nudos.

## 5.2 Control de malezas

La mayoría de los eucaliptos son altamente susceptibles a la competencia por las malezas, tanto gramíneas como latifoliadas, siendo imprescindible el control durante el primer año de establecimiento para asegurar la supervivencia y el buen desarrollo de la plantación.

El control de malezas, como con otras especies forestales y en silvicultura intensiva, se hace en forma manual o mecánica (uso de moto-guadañas y capeadoras mecánicas, aunque en el pasado se han utilizado diferentes herbicidas (especialmente con base en glifosato o paraquat y otros). El uso de los mismos ha venido en desuso por el daño al ambiente, aunque el control eficiente de malezas puede mejorarse con el uso de los mismos.

Normalmente los herbicidas más utilizados son los hechos a base de glifosato. El uso de agroquímicos debe cumplir con las regulaciones nacionales, y las operaciones certificadas deben atender a las regulaciones de su organismo certificador.

## 5.3 Fertilización

Reis y Barros (1990) indican que la cantidad de nutrimentos que se remueven en plantaciones de eucalipto depende de factores como la especie, la densidad de la plantación, la densidad de corta, la calidad de sitio y el componente del árbol que se exporta.; en general, se exporta más nutrimentos de una plantación de eucalipto cuanto más grande sea la cantidad de producto extraído y, entre los

diferentes factores que afectan la pérdida de nutrientes, lo absorbido causa la mayor remoción de nutrientes del ecosistema (cuadro5). La variación en la cantidad de nutrientes exportado por diferentes especies, puede ser el resultado de la distribución o utilización de nutrientes, la cantidad de biomasa producida y/o su capacidad de absorción (coeficiente de utilización biológica *E. citriodora* 143, *E. urophylla* 152, *E. saligna* 173, *E. grandis* 182, *E. cloeziana* 224).

De acuerdo con Alvarado y Thiele (2012), en sitios, donde el suelo es deficiente en un elemento específico, la exportación de este puede ser más relevante que la del total de nutrientes. En este caso, la especie o genotipo a utilizar en el sitio debe ser aquella con la menor eficiencia para el nutriente en cuestión. *E. citriodora* es más exigente en K que otras especies como *E. saligna*, con un 26% y un 14% de K en las hojas respectivamente, por esta razón, la utilización de *E. citriodora* para extracción de aceites esenciales significa una fuente de pérdidas de reservas de K en el suelo.

Si se considera el Ca, *E. saligna* concentra mucho más este nutriente en la corteza, mientras que *E. citriodora* inmoviliza más cantidades de este nutriente en la madera, los datos incluidos permiten observar la gran cantidad del Ca que se asocia a la corteza del fuste, por lo que la devolución de este componente de la biomasa al ecosistema sería de suma relevancia económica y ecológica (cuadro 6). En sitios con mayor capacidad productiva, la cantidad absoluta de nutrientes exportados de manera general es más elevada, exportación ligada a una mayor productividad de las especies.

Cuadro 5. Biomasa y coeficiente de utilización biológica (CUB) de nutrientes en fuste de eucaliptos en Brasil								
Especie	Edad (años)	Biomasa fuste t ha <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg	CUB
			kg ha <sup>-1</sup>					
<i>Eucalyptus saligna</i>	10	72	115	20	90	130	30	187
<i>E. saligna</i>	9	122	148	36	90	216	75	216
<i>E. saligna</i>	8	111	294	19	157	238	58	145
<i>E. saligna</i>	8	262	660	34	427	402	162	155
<i>E. saligna</i>	8	106	218	28	176	186	42	163
<i>E. citriodora</i>	10	108	195	20	196	380	75	125
<i>E. citriodora</i>	9	117	170	44	169	190	90	176
<i>E. citriodora</i>	8	77	261	13	122	247	71	108
<i>E. citriodora</i>	8	284	635	26	513	400	184	162
<i>E. grandis</i>	9	132	338	15	97	208	78	179
<i>E. grandis</i>	8	163	465	25	235	260	45	158
<i>E. grandis</i>	8	90	211	14	97	172	33	171
<i>E. grandis</i>	8	396	808	30	554	564	228	181
<i>E. grandis</i>	7	161	220	9	180	600	65	150
<i>E. grandis</i>	7	112	90	6	70	340	30	209
<i>E. grandis</i>	6	72	185	15	117	115	26	157
<i>E. grandis</i>	5	28	49	3	20	27	7	264
<i>E. cloeziana</i>	8	102	246	12	76	64	38	234
<i>E. cloeziana</i>	8	215	507	15	158	181	143	214
<i>E. urophylla</i>	9	154	282	45	161	414	108	152

CUB = Unidad de biomasa producida/Σnutrientos absorbidos  
Fuente: Reis y Barros (1990) citados por Alvarado y Thiele (2012)

**Cuadro 6. Contenidos de K y Ca en componentes de biomasa de *E. saligna* y *E. citriodora* en plantaciones de 8 años de edad en Brasil**

Especie	Biomasa	Elemento	Componentes del árbol				
			Madera	Corteza	Ramas	Hojas	Total
	t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>					
<i>E. saligna</i>	291	K	329	99	31	75	534
		Ca	75	327	56	55	513
<i>E. citriodora</i>	325	K	382	131	73	205	791
		Ca	137	263	63	47	510

Fuente: Tomado de Reis y Barros (1990), citados por Alvarado y Thiele (2012)

El aumento en la densidad de plantación implica una mayor producción de biomasa en las primeras etapas de crecimiento, produciendo, por tanto, una exportación mayor de nutrientes (cuadro 7). Sin embargo, la experiencia muestra que cuando las especies forestales tienden a ocupar el sitio, la cantidad de biomasa y nutrientes absorbidos tienden a ser iguales a las más densas.

**Cuadro 7. Biomasa y contenido de nutrientes en la parte aérea de *E. grandis* y *E. saligna* de 3,5 años de edad, en dos densidades de plantación**

Especie	Densidad	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg
	arb ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>				
<i>E. grandis</i>	5000	78	306	11	69	71	23
	1667	43	203	8	51	46	17
<i>E. saligna</i>	5000	66	187	10	97	63	21
	1667	50	258	3	81	60	25

Fuente: Tomado de Reis y Barros (1990), citados por Alvarado y Thiele (2012)

En suelos de baja fertilidad del Brasil (Oxisoles) con el aumento de la demanda de madera y métodos más intensivos de manejo de las plantaciones (mecanización del suelo, aumento de la densidad de plantación, fertilización y reducción de la edad de corte), se nota que a pesar de la aplicación de fertilizantes minerales, las cantidades que se adicionan son muy inferiores a las que salen de la plantación, lo que lleva a una reducción de la productividad forestal en función de un agotamiento gradual del suelo.

Al estudiar la cantidad de nutrientes exportados como madera de *E. grandis* de 7 años de edad en Brasil, Haag (1983), citado por Alvarado y Thiele (2012), menciona que el total exportado del total absorbido es alto, siendo el macro elemento Mg el que más sale del sistema y en orden decreciente P>Ca>K>S>N. En cantidad total exportada, el Ca fue el que más salió del sistema y en orden decreciente N>K>S>Mg>P. Dentro de los micronutrientes, el Mo es el elemento que más se exporta del total absorbido, aunque los más exportados siguen el orden decreciente Mn>Fe>B>Cu>Zn>Mo.

Los factores que conducen a que una especie absorba mayor o menor cantidad de nutrientes son complejos. Se puede decir que una especie que absorbe mayor cantidad de nutrientes por unidad de biomasa producida de otra que absorbe una cantidad menor, así se puede decir que *E. saligna* y *E. citriodora* son más exigentes en N, P y K que *E. grandis* (cuadro 8) y que *E. citriodora* es particularmente exigente en K. También podría decirse que *E. cloeziana* es la especie menos exigente en nutrientes, a excepción del Mg, para el cual no difiere de las demás especies. Si se considera la absorción media

anual, se verifica que para N, los valores varían de 83 kg año<sup>-1</sup> para *E. cloeziana*, hasta 164 kg año<sup>-1</sup> para *E. grandis* y que para P estos valores son de 2,6 y 6,7 kg año<sup>-1</sup> respectivamente.

<b>Cuadro 8. Nutrientes por cantidad de biomasa de la parte aérea de especies de eucalipto de 8 años de edad en Brasil</b>							
Especies	Biomasa t ha <sup>-1</sup>	Nutrientes					Total nutrientes kg ha <sup>-1</sup>
		N	P	K	Ca	Mg	
		kg t <sup>-1</sup> biomasa					
<i>E. grandis</i>	448,3	2,92	0,12	1,68	1,73	0,77	3240
<i>E. saligna</i>	291,3	3,19	0,16	1,82	1,76	0,78	2249
<i>E. cloeziana</i>	231,5	2,87	0,09	0,91	1	0,76	1303
<i>E. citriodora</i>	325,1	3,19	0,14	2,43	1,57	0,75	2627

Fuente: tomado de Reis y Barros (1990) citado por Alvarado y Thiele (2012)

Normalmente, la tasa de absorción es mayor en las edades más jóvenes de la plantación con un máximo que coincide con la mayor tasa de productividad. Para *E. grandis*, la tasa máxima de acúmulo de biomasa y de absorción de algunos nutrientes ocurre a la edad de 48 meses; a partir de esta edad se reduce la tasa de acúmulo (cuadro 9).

<b>Cuadro 9. tasa de acumulación de biomasa total (parte aérea y raíces) y absorción de nutrientes en plantaciones de <i>E. grandis</i> de diferentes edades</b>						
Edad meses	Biomasa t ha <sup>-1</sup>	Nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
		kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>				
12	9,6	85	6	52	36	11
24	17,3	117	8	67	40	14
36	17,7	105	7	65	39	14
48	22,5	81	6	52	38	13
60	18,4	70	5	43	31	11
72	16,1	61	4	35	27	10

Fuente: tomado de Reis y Barros (1990) citado por Alvarado y Thiele (2012)

La distribución de la biomasa y de los nutrientes en los diferentes componentes de la planta es de mucha importancia en la determinación de la edad de corta y del componente del árbol a ser extraído, de manera que se pueda minimizar la exportación de nutrientes; adicionalmente, el conocimiento de la composición de las partes de los árboles permite definir la estrategia de restitución a los suelos sobre los que crecen las plantaciones.

Tanto en Brasil como en los demás países, la explotación forestal consiste en retirar del terreno solamente el fuste (madera y corteza o solamente el fuste, cuando se descortezan los fustes antes de extraer la madera) dejando entonces en el terreno la copa (hojas y ramas) y las raíces. En plantaciones jóvenes la contribución de la biomasa de la copa es elevada y debido a que la concentración de nutrientes en las hojas también es más alta (más del 50% de los nutrientes se encuentran en la parte aérea), la contribución de nutrientes de esta fracción es considerable, por lo que una práctica adecuada es la distribución de hojas, ramillas y cortezas en la superficie, para facilitar la restitución de nutrientes al suelo.

A pesar de lo recomendable que es dejar la corteza de los árboles cortados en el sitio, donde sirve como mulch, cubre el suelo, reduce la erosión y ayuda a mantener la humedad del suelo, esta resulta ser una práctica de alta dificultad técnica en eucalipto (Spangenberg y Fölster 2002).

Según Reis y Barros (1990), los primeros estudios sobre el reciclaje de nutrimentos en plantaciones de eucaliptos se iniciaron en Australia en 1977 y en Brasil en 1976, obteniendo los siguientes resultados:

- i. Antes del cierre de copas, el reciclaje se caracteriza por una demanda elevada de nutrimentos para la formación de la copa sin que haya retorno por caída de hojas; en esta fase se esperan las mejores respuestas a la fertilización dado que las necesidades nutricionales de los árboles dependen de la disponibilidad de nutrimentos;
- ii. Después del cierre de la copa, son más importantes los ciclos biogeoquímicos y bioquímicos, pues en esta etapa domina la descomposición de material orgánico depositado en el suelo y ocurre la redistribución interna de los nutrimentos; en este estadio puede ocurrir algo de inmovilización biológica de P y N, lo cual puede causar una deficiencia de estos nutrimentos en el estadio tres. Este estadio puede no alcanzarse a plenitud en suelos muy pobres, es decir, que solamente una porción muy pequeña de las necesidades nutricionales de la planta sean satisfechas por el reciclaje biogeoquímico, lo que implicaría la necesidad de provisión adicional de nutrimentos (mediante fertilización).
- iii. A menudo, puede observarse una merma del crecimiento de eucalipto a los tres o cuatro años de plantado, proceso que se reinicia al quinto o al sexto año cuando se liberan los nutrimentos anteriormente inmovilizados en los residuos en plantaciones previamente fertilizadas.

Alvarado y Thiele (2012) indican que en Brasil, se encontró que una plantación adulta de eucalipto puede depositar anualmente sobre el suelo cantidades importantes de residuos mientras que sus raíces extraen grandes cantidades de nutrimentos del subsuelo, favoreciendo así su reciclaje. En un estudio con plantaciones de *E. citriodora* de 24 años de edad, Haag (1983) encontró que la cantidad de nutrimentos asociada al mantillo de dicha plantación fue de 212 kg N ha<sup>-1</sup>, 8,91 de P, 31,4 de K, 161,0 de Ca, 33,0 de Mg, 32,7 de S, 0,6 de B, 0,2 de Cu 25,2 de Fe, 14,7 de Mn y 0,9 de Zn, en un total de 2,87 y 17,11 t ha<sup>-1</sup> de mantillo en la capa superior e inferior, respectivamente. Dedecek *et al.* (2001) mencionan que la cantidad de residuos recolectados antes de la cosecha en plantaciones de *E. grandis* de doce años sobre un Oxisol arenoso, fue de 19,8 t ha<sup>-1</sup>, valor que se redujo a 2,64 t ha<sup>-1</sup> una vez efectuada la cosecha y la nueva plantación; en otra plantación de 7 años los valores fueron de 31,3 y 7,6 t ha<sup>-1</sup>, antes y después de la cosecha, en un Oxisol de textura media.

Se ha mencionado en diferentes países que la quema “es un método muy barato y muy utilizado para la primera limpieza del sitio a plantar. El objetivo de la misma es la quema de residuos de cosecha (si se trata de reforestación) o de vegetación competitiva (malezas herbáceas y leñosas). Permite también reducir el stock de semillas de malezas en el suelo y liberar nutrientes no disponibles de la materia orgánica; asimismo, acorta los tiempos necesarios para el logro de un barbecho adecuado. La quema facilita el trabajo de los tractores para la labranza mecánica (subsulado, rotovator, etc.) y uniforma la cobertura de herbáceas anuales y perennes para el cultivo químico posterior” (Dalla Tea y Larocca 1998). Sin embargo, en Brasil se encontró que quema reduce en casi 3 veces la cantidad de residuos

orgánicos en plantaciones de *E. pilularis* de 6 años y elevó la pérdida de Ca y Mg casi en 38 y 15 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, ya que el proceso de convección de los vientos retira la ceniza del lugar de la quema.

En un trabajo de quema controlada en plantaciones mixtas, *E. pauciflora*, *E. dives* y *E. delegantensis* se encontraron los siguientes rangos de pérdida en kg ha<sup>-1</sup> 74 a 109 de N, 1,96 a 3,04 de P, 12,1 a 21,0 de K, 18,7 a 27,7 de Ca y 4,9 a 9,7 de Mg (Reis y Barros 1990). En plantaciones de eucalipto de 7 años de edad en Oxisoles de Brasil, se encontró que cuando los residuos de cosecha se queman o se retiran del ecosistema, ocurren variaciones grandes en la temperatura y contenido de humedad de suelo (2-5 cm de profundidad), en contraposición a lo que ocurre cuando se dejan sobre el suelo. La remoción de los residuos también causó un efecto adverso sobre el crecimiento de las plántulas hasta los 15 meses después del trasplante; en general, la corta y no remoción de los residuos de cosecha tienen un efecto positivo sobre el crecimiento, mientras que la quema de los residuos estimula aún más el crecimiento debido a la liberación rápida de los nutrientes en los tejidos quemados. En este tipo de plantaciones, se depositan 7,7 t ha<sup>-1</sup> (59% hojas y 41% ramas), cantidad que contribuye con 42 kg N ha<sup>-1</sup>, 2,3 de P, 20 de K, 47 de Ca y 14 de Mg, adición que ocurre en un 50% en los primeros 10 meses y llega alcanzar valores del 80% después de 23 meses (Gonçalves *et al.* 1998).

Bellote *et al.* (2001) encontraron que en plantaciones de 7 y 12 años de *E. grandis* creciendo en Oxisoles de Brasil, del total de la biomasa, las hojas representan el 9%, las ramas el 7% y el tronco el 83%, mientras que el 37% del total de nutrientes absorbidos se encuentra en la hojas, el 10% en las ramas y el 53% en el tronco; además, se encontró que la albura en las plantaciones de 7 años es mayor que el duramen, mientras que a la edad de 12 años los contenidos de ambos componentes de la madera son similares y representan el 86% de la biomasa aérea total. Los autores consideran que del total de la biomasa el 92% se encuentra en el fuste y que de un total de 302 t ha<sup>-1</sup> cosechada, se exportan 296 t ha<sup>-1</sup> o su equivalente de 277 t ha<sup>-1</sup> como madera comercial, lo que implica que la remoción de nutrientes del suelo debe ser repuesta con la adición de fertilizantes.

Ante la pregunta de cómo el eucalipto suele lograr grandes crecimientos a pesar de plantarse en suelos de baja fertilidad, de Paula (1996), cita a Attwill (1980) quien menciona que cerca de la mitad del fósforo es suplido por el ciclo interno o bioquímico, a través de un proceso efectivo de removilización de fósforo de las hojas senescentes. Cita igualmente a Baker y Attwill (1985), quienes también observaron ese aspecto. Ellos encontraron que para eucalipto, apenas el 4% de la demanda de N y el 10% de la demanda de P vienen de la reserva del suelo, el resto es suplido por el ciclo bioquímico. En contraste, los valores para pino rondan el 23% y el 34% respectivamente.

### 5.3.1 Deficiencias nutricionales

La falta o exceso de uno o más nutrientes producen anomalías visibles en las plantas (clorosis, muerte de tejidos y reducción del crecimiento). Estos síntomas son específicos para cada nutriente y una vez que se presentan, el crecimiento de las plantas ya está comprometido. Cuando el elemento es móvil (N, K, Mg, P) los síntomas se manifiestan en los tejidos más viejos; mientras que si los elementos son poco móviles (Ca, B, Zn, Fe, Mn) los síntomas se manifiestan primeramente en las hojas y brotes más nuevos. El cuadro 10 presenta la descripción de los síntomas de deficiencias mostrados por las hojas de los eucaliptos.

**Cuadro 10. Síntomas de deficiencias nutricionales mostradas por hojas de árboles del género *Eucalyptus***

N	Inicialmente las hojas viejas presentan una coloración verde clara que se va tornando amarillenta y con pequeños puntos rojizos a lo largo de la lámina. Posteriormente los puntos cubren todo la lámina tornándose la hoja completamente rojiza.
P	Los síntomas de deficiencias de fósforo en <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> se inician con una coloración verde oscura, tornándose rosada en la parte próxima a las nervaduras y con puntuaciones oscuras a lo largo de la lámina. En un estado final las puntuaciones se tornan necróticas
K	En <i>E. pilularis</i> inicialmente las hojas presentan una clorosis, seguida de una necrosis del borde de las hojas, la clorosis (rojiza) progresa de los bordes hacia el centro de la hoja. En la fase final muchas veces ocurre secamiento de la punta de las hojas.
Ca	En <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> las hojas nuevas se deforman seguidas de un enrollamiento de las mismas. Algunas veces puede ocurrir muerte de las yemas apicales y en estados avanzados puede ocurrir secamiento de los brotes.
Mg	Las hojas más viejas presentan manchas amarillas con las nervaduras verdes. Luego las manchas se tornan color marrón de tamaño y contornos variables pudiendo también ocurrir clorosis intervenales.
S	Las hojas nuevas en <i>E. urophylla</i> se tornan amarillas de forma uniforme.
Fe	En <i>E. grandis</i> las hojas nuevas presentan clorosis intervenal con apariencia de un retículo fino.
Zn	En <i>E. grandis</i> las hojas nuevas se tornan lanceoladas, angostas y pequeñas. En la región apical ocurre una alta brotación de yemas con posterior pérdida de dominancia. Con esta condición los árboles crecen menos.
B	En <i>E. grandis</i> ocurre alta brotación y pérdida de dominancia causada por la muerte de yema apical. Las hojas nuevas presentan una intensa clorosis marginal seguida de secamiento de los márgenes. Las nervaduras se tornan extremadamente realzadas con posterior necrosis. En estados avanzados se observa muerte de puntas de ramas con muerte descendente y alta brotación de yemas laterales y bifurcación del tronco.
Mn	Las hojas nuevas presentan clorosis intervenales con apariencia de un retículo grueso, o sea las nervaduras y áreas adyacentes se tornan verde oscuro y el resto de la lámina foliar permanece verde claro.

Fuente: tomado de Silveira *et al* (2001) citado por Alvarado y Thiele (2012).

### 5.3.2 Efecto de la fertilización al trasplante

El efecto de la fertilización al trasplante ocurre casi inmediatamente después de su aplicación y disminuye hasta el cuarto año después de la misma (Martínez 1990); por lo tanto, la duración del efecto benéfico de este tratamiento es corta y depende del nutrimento y del número de aplicaciones que se realicen. Debido a esta situación, en Brasil se recomienda continuar con una fertilización entre los 30 y 90 días y otra a los 6 o 9 meses después, con el propósito de proporcionar nutrimentos de alta movilidad en el suelo como el N, K y B (Silveira *et al.* 2001). La adición de fertilizantes a un suelo pobre con más de un nutrimento, resulta en un incremento del crecimiento y una mayor absorción de todos los nutrimentos por parte de la planta y no solo de los que se aplicaron. Por ejemplo, la aplicación de una tonelada de fosfato en una plantación de *E. grandis*, aumentó la absorción de P en un 131% y la de Ca en un 100%. La absorción de K y Mg aumentó en un 24 y 25% respectivamente, elementos que en otra

región aumentaron en un 122 y un 98% respectivamente con la aplicación del mismo tratamiento (Reis y Barros 1990).

La recomendación de adicionar N al trasplante, depende del contenido de materia orgánica del suelo (0-20 cm de profundidad); Gonçalves *et al.* (1995) sugieren aplicar 60, 40 y 20 kg ha<sup>-1</sup> de N cuando los contenidos de materia orgánica oscilan entre 0-15, 16-40 ó más de 40 g dm<sup>-3</sup>, respectivamente; también recomiendan adicionar entre 30 y 40% en una primera ocasión y entre 60 y 70% en otra segunda oportunidad. En Colombia, Kane *et al.* (1992), después de realizar investigaciones por tres años con fertilizantes NPK en suelos volcánicos, concluyeron que la mejor dosis de N, P y K para fertilizaciones posteriores al trasplante consisten en adicionar 150, 40 y 30 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente.

El eucalipto responde a la aplicación de K en suelos con contenidos de 0,2 a 1,0 mmol K dm<sup>-3</sup> y no existe respuesta en suelos con contenidos mayores. Cuando se presentan respuestas, estas se dan con una estrecha relación Ca:Mg (< 1 unidad) o por los elevados valores de Ca + Mg en el suelo (> 8 mmol K dm<sup>-3</sup>). En el cuadro 11 Silveira y Malavolta (2000) presentan recomendaciones de aplicación de K en función del contenido de este nutriente en el suelo.

<b>Cuadro 11. Recomendaciones de fertilización potásica en Eucalipto según el contenido de potasio en el suelo</b>				
Meses después de la plantación	Forma de aplicación	K intercambiable (m mol dm <sup>-3</sup> )		
		0,0-1	1,0-1,5	>1,5
		K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )		
2 - 3	En corona o banda a 30 cm del árbol	20-30	20-30	20-30
6 - 9	En corona o banda a 30 cm del árbol	30-45	20-30	
12 - 18	En banda entre hileras o toda el área	60-75		
Total aplicado		120-150	40-60	20-30

Fuente: tomado de Silveira y Malavolta 2000, citados por Alvarado y Thiele (2012)

Según Morais (1999) citado por Silveira *et al.* (2001), la dosis de boro a aplicación depende del tipo de suelo y varía entre 6 y 9 kg ha<sup>-1</sup>. La dosis total se debe distribuir de manera que el 30 % se adicione en la primera re-fertilización y 70% en la segunda; también se recomienda elevar la dosis en un 25 a 30% en suelos con déficit hídrico. Finalmente las fertilizaciones de corrección y mantenimiento se hacen posteriores a las llamadas re-fertilizaciones. Esta es una labor que se realiza entre los 12 y 18 meses y consiste en identificar aquellas plantas que tengan un bajo crecimiento para hacer diagnóstico de su condición nutricional (Silveira *et al.* 2001). Para el diagnóstico se debe de reconocer si existen síntomas de deficiencia o toxicidad, hacer análisis de suelos y análisis foliares.

## 5.4 Respuesta a la fertilización

### 5.4.1 Respuesta del *Eucalyptus grandis* (tomado de Alvarado y Thiele 2012)

Esta especie de eucalipto se utiliza ampliamente en el Valle del Cauca, Colombia (principalmente Andisoles) y en las sabanas brasileras y venezolanas (principalmente Ultisoles y Oxisoles), regiones

donde se ha generado la mayor parte de la información disponible en América Latina, así como en grandes extensiones de terreno en África y Australia.

En general, las variables físicas del suelo deben considerarse al momento de escoger los sitios para sembrar eucalipto, ya que en casos extremos pueden afectar negativamente el desarrollo radical de los árboles, más que las propiedades químicas del mismo; dentro de estas variables deben mencionarse la textura, la estructura, la disponibilidad de agua y la profundidad efectiva. Después de 21 semanas de establecidas en el campo, las plántulas de *E. grandis* en suelos con densidad aparente superior a  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ , tuvieron una altura promedio de 60,4 cm, mientras que cuando la densidad aparente fue de 1,4, 1,5, 1,6 ó  $1,8 \text{ g cm}^{-3}$  las alturas promedio fueron 38,3, 25,0, 26,0 y 15,8 cm, respectivamente (Vélez 1981).

Las plantaciones de *E. grandis* y sus híbridos son de las más productivas del mundo tropical y subtropical, rendimientos que dependen de una fuerte absorción y reciclaje de nutrimentos. Varios estudios mencionan que la especie responde a la adición de P y puede mejorarse cuando además se aplica N y con la adición de fertilizante se han logrado incrementos de 25 y  $98 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  en rotaciones de 10 años en África del Sur, de  $109 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  con la adición a la siembra de 53 y  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  después de 6,5 años en Brasil y de  $142 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  a los 9,25 años de aplicar el fertilizante y controlar malezas e insectos en Australia.

La respuesta en crecimiento de *Eucalyptus spp.* a la fertilización con la aplicación con N y P al inicio de la plantación ha sido reportada en Australia, Brasil, Fiji, Marruecos, Colombia, Portugal y Sudáfrica; por el contrario, la respuesta a la aplicación de K es poco mencionada, excepto cuando el contenido del elemento en el suelo está por debajo del nivel crítico (Morales y Ortega 1980; Kane *et al.* 1992).

Desde el punto de vista de fertilidad de suelos, variables como el pH, el contenido de materia orgánica, el nivel de P disponible, el contenido total de N, los contenidos de Ca, Mg y K intercambiables medidas a una profundidad de 0-20 cm son las variables que en orden descendente se citan con mayor frecuencia afectando el crecimiento de este género en Ultisoles y Oxisoles (Gonçalves *et al.* 1990).

Cromer *et al.* (1993) mencionan que la respuesta al P se presenta principalmente en suelos viejos muy meteorizados, mientras que la respuesta al N ocurre en suelos relativamente recientes bajos en su contenido de materia orgánica. Los incrementos en biomasa de *E. grandis* se deben que los árboles aumentan su índice de área foliar, lo que les permite interceptar una mayor cantidad de la radiación solar disponible; la ganancia en biomasa ocurre en construir más follaje (mayor fijación de carbono), a la forma en que el follaje se acomoda para interceptar la luz, así como la mejora de la eficiencia de asimilación del follaje. Cuando los árboles están deficientes de N, el efecto de la adición de N se nota en el aumento de su biomasa foliar, si los árboles están altos en N, el aumento en área fotosintética específica es más importante.

Por el contrario, si los árboles están deficientes de P los cambios en crecimiento se notan como una mejora en el efecto de asimilación, mientras que los árboles altos en P mejoran su área foliar específica y su capacidad de asimilación. En un ensayo en varias localidades al que se le adicionaron  $1.536$  y  $461 \text{ kg ha}^{-1}$  de N y P en Paleudalfs de Australia, los autores encontraron respuestas altamente significativas y sustanciales con la aplicación de estos elementos (cuadro 12).

Tratamiento	Altura media (m)	Área basal ( $m^2 ha^{-1}$ )	IMA vol ( $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ )	Pro. Primaria neta ( $t ha^{-1} año^{-1}$ )
Sin fertilizante	5,81	3,42	6,1	7,63
Con fertilizante	14,45	17,33	34,2	27,1

Adaptado de Cromer et al 1993

Los autores (Cromer *et al.* 1993) también encontraron que *E. grandis* crece rápidamente en sus estados iniciales, pero que este tipo de crecimiento solo ocurre cuando se suple los nutrientes necesarios desde el suelo; una vez que cierra la copa, los incrementos en variables de crecimiento disminuyen, pero siempre son más elevados en los árboles fertilizados que en los que no reciben fertilización.

La siembra de *E. grandis* en suelos pobres de Venezuela, no puede realizarse sin la adición de fertilizantes, a pesar de las excelentes propiedades físicas de los suelos; bajo estas condiciones no solo es necesario aplicar NPKB, sino también Zn. Morales y Ortega (1980) encontraron que de 4 tipos de fertilizante comparados, la fórmula 12-12-17-2 causó el mejor crecimiento en diámetro y altura de los árboles, debido a la presencia de K y Mg, elementos que estaban en menores cantidades o ausente en los otros productos comparados (12-12-6 y fosforita); en este caso, la aplicación de  $100 g árbol^{-1}$  o su equivalente  $137 kg ha^{-1}$ , fue el tratamiento más significativo en términos económicos y de crecimiento de la plantación. En suelos similares de Brasil, se recomienda la aplicación de  $25 kg ha^{-1}$  de N,  $72 kg ha^{-1}$  de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y  $25 kg ha^{-1}$  de K<sub>2</sub>O (Gonçalves *et al.* 1990).

En general, se considera que esta especie no responde a dosis de P mayores a  $100 kg ha^{-1}$  como fertilizante de alta solubilidad, cuando se aplica al voleo (área total) o entre 1,0 y 1,5 t como roca fosfórica adicionada al hoyo; tampoco debe esperarse respuesta a la aplicación al voleo de menos de  $30 kg N ha^{-1}$ . Por ejemplo la aplicación de  $120 kg ha^{-1}$  de NPK aporta 20 kg P y 18 de N, por lo que la respuesta esperada se deberá más a la adición de P que a la de N. En contraste, la respuesta a la adición de  $500 kg$  de NPK  $ha^{-1}$ , la cual aporta 83 kg de P y 75 kg de N se debe más a la adición de N (Kane *et al.* 1992).

En el caso de Colombia, los suelos derivados de cenizas volcánicas presentan excelentes condiciones físicas, pero baja fertilidad, particularmente de P y B. En este tipo de ecosistema se acostumbra aplicar  $70 g árbol^{-1}$  de NPK (15-38-10) o de  $60 g árbol^{-1}$  de fosfato diamónico (18-46-0) +  $10 g$  de bórax al inicio de la plantación y otra fertilización cuando se nota un bajo crecimiento o vigor 1 o 2 años después de la primera aplicación de fertilizante.

El abonamiento a la siembra es necesario para obtener el crecimiento inicial máximo y la segunda aplicación es necesaria para obtener el crecimiento máximo durante el turno de corta. La cantidad de N y P adicionada a la siembra proporciona cantidades bajas de estos elementos, las cuales tienen un efecto residual no mayor a 2 años, mientras que el efecto residual de la segunda fertilización puede alcanzar hasta 4 años, cuando se aplican  $100 kg ha^{-1}$  de la fórmula 15-38-10 +  $20 g$  bórax por árbol, causando un incremento de volumen comercial de madera de  $31 m^3 ha^{-1}$  (Kane *et al.* 1992). Los autores recomiendan aplicar una segunda aplicación de fertilizante ( $kg ha^{-1}$ ) de 150N + 40P + 30K con  $20 g$  por árbol de bórax (aproximadamente 15% B soluble en agua).

En material seleccionado de *E. grandis*, Barros y Novais (1996) encontraron que un clon absorbió del suelo el doble de P que otro clon de la misma especie, produciendo el doble de biomasa de madera; la interacción genotipo x absorción de nutrimentos se basa principalmente en diferencias en el desarrollo del sistema radical, el cual presenta una mayor densidad de raíces en las especies (clones) más eficientes. Para la misma especie, la respuesta en crecimiento de árboles entre 6-12 meses de edad a niveles crecientes de la fórmula 10-30-10 causó incrementos de hasta un 300%, con dosis entre 50-150 g de fertilizante por planta dependiendo del sitio (Cannon 1984). Según Ugalde y Vásquez (1995), *E. grandis* presentó incrementos significativos en diámetro y altura total hasta 9 meses después de la aplicación de 50 y 150 g por árbol de la fórmula 10-30-30 en Turrialba, Costa Rica, lográndose incrementos en volumen del 8 y del 18% al final 6,5 años con el tratamiento de 150 g de fertilizante 10-30-10 en las densidades de 5.000 y 1.250 árboles ha<sup>-1</sup>.

#### 5.4.2 Respuesta de *Eucalyptus deglupta*

- Varios estudios sobre calidad de sitio para esta especie mencionan que el mejor crecimiento de *E. deglupta* se da sobre suelos profundos (>60 cm), con buen drenaje, texturas medias y fertilidad alta (Jadán 1972; Sánchez 1994; Chavarría 1996). Los modelos de productividad de esta especie indican una correlación positiva con los contenidos de Mg (entre 0,3 y 4,2 cmol(+) L<sup>-1</sup>) y Ca (entre 0,5 y 14,7 cmol(+) L<sup>-1</sup>). En general, altos contenidos de materia orgánica (>5%) y de arcilla (>35%) desfavorecen su desarrollo, probablemente porque se asocian con condiciones de mal drenaje (Sánchez 1994).

#### 5.4.3 Respuesta de *Eucalyptus saligna*

Entre las diferentes especies de eucalipto, *E. saligna* es una de las preferidas para la siembra en regiones de clima tropical de laderas, debido a su rápido crecimiento. Sin embargo, la calidad de la madera, que tiende a partirse como otras especies de rápido crecimiento, la hace poco competitiva con *E. deglupta*, la cual se adapta mejor para la confección de postes de electricidad.

Esta especie responde universalmente a la adición de N, en suelos bajos en P a la combinación de N y P, y raramente a la adición de K como fertilizante. Ward et al. (2006) encontraron que la adición de N (0 y 190 kg ha<sup>-1</sup> como urea), P (0 y 120 kg ha<sup>-1</sup> como superfosfato) y K (0 y 140 kg ha<sup>-1</sup> como cloruro de potasio) a plantaciones de 3 a 9 semanas *E. saligna* en terrenos en recuperación después de extracción de bauxita en Australia, causó incrementos en altura (0,58 m sobre el testigo) y diámetro (0,6 cm sobre el testigo) con solo adicionar N, mientras que la adición de NP aumentó la altura en otros 0,34 m y el diámetro en 0,3 cm; la aplicación de K no tuvo ningún efecto sobre las variables de crecimiento.

#### 5.4.4 Respuesta de *Eucalyptus camaldulensis*

En suelos que presentan condiciones óptimas para el cultivo, *E. camaldulensis* se caracteriza por tener un crecimiento muy rápido, el cual presenta los mayores incrementos durante los primeros 7 o 10 años (CATIE 1991). CATIE (1991) reporta en diferentes sitios de América Central, incrementos de hasta 3,8 cm año<sup>-1</sup> en diámetro y 4 m año<sup>-1</sup> en altura para *E. camaldulensis* y Martínez (1990) reporta incrementos de 3,57 cm año<sup>-1</sup> en diámetro y 4,10 m año<sup>-1</sup> en altura para *E. saligna*. En Chile Bonomelli y Suárez (1999) encontraron en un estudio de acumulación de biomasa en zonas costeras, del valle central y la

pre-cordillera, que de la siembra a los 12 meses el crecimiento es muy lento, seguido de un crecimiento medio hasta los 24 meses y un crecimiento más acelerado a partir de ese momento; lo cual sugiere que a partir de los doce meses los requerimientos nutricionales serían mayores.

### 5.5 Podas

Las especies de eucaliptos presentan poda natural, por el cual a medida que el árbol crece en altura las ramas inferiores se van secando y, mediante un sistema de aislamiento natural del nudo con gomo-resina y una fractura, la rama se desprende sola. Este mecanismo no siempre es completamente eficiente y pueden quedar muñones y algunas ramas quedan prendidas y, otras, como en las orillas de la plantación en que las ramas se conservan verdes. Por este motivo es que se debe recurrir a la poda para asegurarse el desrame total.

En plantaciones para producción de madera y astillas, en el cono sur de América del Sur, se suele efectuar la primer poda cuando los árboles alcanzan los 8 cm de dap (2 a 3 años de edad en *E. grandis*). Las siguientes podas se realizan cuando las partes superiores del árbol (sin podar) alcanzan ese diámetro fijado. Es importante tener en cuenta que en la primera poda, la altura podada del fuste no debería superar el 40 % de la altura del mismo, para no afectar su crecimiento. En general se prefiere podar en primavera temprano para favorecer la rápida cicatrización de las heridas.

Como regla práctica, en *E. grandis* se aconseja podar los 2,5 m basales cuando el árbol tiene 6 m, y elevar la poda a 7 m, cuando el árbol alcanza los 12 m. De esta manera se obtienen dos trozas para aserrado.

### 5.6 Raleos

Las plantaciones de eucaliptos para producción de astillas para la industria del papel, leña e incluso madera raramente se ralean. Cuando se pretende obtener madera de mayor valor se puede utilizar un régimen de raleo, que dependiendo de la densidad inicial, generalmente va de una primera intervención a los 5-6 años y una intensidad que puede variar entre 25% y 40%; un segundo raleo a los 9-10 años con intensidad similar, para llegar a una población de cosecha entre 250 y 350 árboles ha<sup>-1</sup>, dependiendo de las características del sitio (adaptado de FAO 1981).

### 5.7 Crecimiento

Los eucaliptos junto con los pinos son las especies más ampliamente plantadas en el mundo tropical. Las especies de los dos géneros presentan incrementos medios anuales relativamente altos y rotaciones cortas, especialmente en el caso de los eucaliptos (cuadro 13). En el caso de los eucaliptos, los mayores incrementos medios anuales se presentan en los primeros 10-15 años de edad de las plantaciones (figura 3), tal como muestra un experimento monitoreado durante 43 años en la estación experimental de Tchianga, en la región Huambo (12° 43'S, 15° 48'E), en Angola, en un sitio localizado a 1650 m sobre el nivel del mar, con 1400 mm de precipitación, sobre un Oxisol plano (Delgado-Matas y Pukkala 2011). A pesar de la altitud en la que fueron plantadas, las especies de *E. saligna* y *E. grandis* sobresalieron por su crecimiento, alcanzando volúmenes de 1427 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en 652 árboles (IMA en volumen de 33 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) y 1006 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en 476 árboles (IMA volumen de 23,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

Cuadro 13. Incremento anual y rotación para generos plantados en diferentes países tropicales					
Especie	Región	País	Rotación (años)	IMA ( $m^3 ha^{-1} año^{-1}$ )	
Eucaliptos	América del Sur	Brasil	8 - 10	18 - 20	
		África	Burundi	8	1 - 2
			Congo	7	30
			Rwanda	8	8,5
			Suráfrica	8 - 10	18 - 20
Pinos	América del Sur	Brasil	16 - 25	15 - 25	
		Venezuela	10 - 20	10	
		Chile	20 - 30	24	
	África	Malawi	20 - 25	17	
		Madagascar	15 - 18	6 - 10	
		Mozambique	18 - 25	11	
Teca	Asia	Bangladesh	60	2,6 - 3	
		India	70	2,5	
		Indonesia	50 - 70	1,3 - 2	

Fuente: Brown et al 1997; FAO 2001

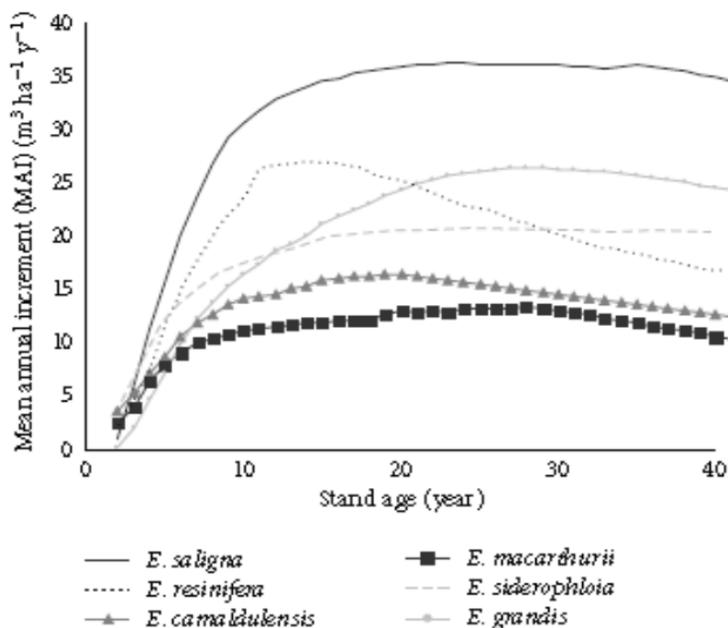


Figura 3. Incremento medio anual del volumen para seis especies de eucaliptos, en plantaciones de 43 años en Angola (fuente: tomado de Delgado-Matas y Pukkala 2011)

### 5.7.1 *Eucalyptus camaldulensis*

De acuerdo con Lamprecht (1990) *E. camaldulensis* es el más ampliamente distribuido en Australia; se le ha plantado en zonas secas de diferentes países, alcanzando incrementos de 5-10 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en rotaciones de 10-20 años, mientras que en regiones húmedas puede alcanzar 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (Evans 1992). El cuadro 14 presenta los incrementos obtenidos en plantaciones de camaldulensis en diferentes países:

Cuadro 14. Incremento medio anual en diferentes países

País	IMA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Argentina	20 – 25
Israel	30
Turquía	17 - 20
Turquí (rebrotos)	25 – 30
Marruecos	3 – 11
Portugal	2 – 10
Italia	6 - 7
Fuente: Lamprecht 1990	
Nicaragua	11 - 16,7
Otarola y Ugalde 1998	
Honduras	20
Nicaragua	12 - 18
CATIE 1986	

### 5.7.2 *Eucalyptus deglupta*

*E. deglupta* se considera una especie con gran potencial en los trópicos con tasas de crecimiento que varía desde 25-40 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> en sitios considerados buenos, en plantaciones de 15 años en Papua Nueva Guinea para producción de pulpa (Eldridge *et al.* 1993). Rendimientos de 20-40 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> son comunes en muchos países en rotaciones cortas de 10 – 12 años o menos; Filipinas, Indonesia, Brasil y Uruguay son los países con las plantaciones más extensas (Eldridge *et al.* 1993).

De acuerdo con CATIE 1991 y FAO 2001, la especie es extremadamente sensible a las condiciones del sitio, susceptible al fuego y a diferentes plagas y enfermedades (Eldridge *et al.* 1993); cuando se planta en sitios pobres, *deglupta* crece tan lentamente que no produce madera y tiende a desaparecer.

El crecimiento en diámetro depende del espaciamiento de plantación, encontrando incrementos de 2-3 cm año en plantaciones para pulpa Alcanzado incrementos en volumen entre 15 y 37 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Francis 1989). En Costa Rica se han encontrado incrementos medios entre 2 – 39 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> en edades de 2-4 años (Sánchez 1994) hasta 89 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> en plantaciones de 4,5 años (Ugalde 1980). En Filipinas, plantaciones con una densidad inicial de 625-680 árboles ha<sup>-1</sup> han mostrado incrementos medios anuales de 25-30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> (sobre corteza y hasta 10 cm de diámetro menor) en rotaciones de 10 años (FAO 2001).

La edad de rotación en Sabah es de 16-18 años y en Papua Nueva Guinea de 25 años con raleos a los 5, 10 y 15 años.

### 5.7.3 *Eucalyptus grandis*

*E. grandis* es probablemente la especie más ampliamente plantada para producción de madera a nivel mundial, con grandes extensiones en Brasil, Africa del Sur, Argentina, Australia, India, Uruguay, Zambia y otros países. En Africa, *E. grandis* se han reportado rendimientos de 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> en condiciones favorables, aunque en países como Uganda (cuadro 14) se han reportado hasta 37 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> promedio en plantaciones de 30 años. En Brasil se han informado de incrementos medios anuales de 25 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> en sitios de bajo rendimiento; 33 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> en sitios promedio y 50 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> en sitios de alto rendimiento (cuadro 15).

Edad	Estado del rodal antes de raleo						IMA		ICA
	Hdom	Arb ha <sup>-1</sup>	dap prom	AB ha <sup>-1</sup>	Vol <sub>5cc</sub>	Vol <sub>10sc</sub>	Vol <sub>5cc</sub>	Vol <sub>10sc</sub>	Vol <sub>5cc</sub>
1	8,0	1870	5,4	4,2	13		13,5		13,5
2	14,3	1870	9,6	13,5	70	5	34,8	2,5	56,1
3	18,8	1870	12,1	21,5	139	82	46,3	27,4	69,4
4	22,2	1870	13,8	28,1	210	154	52,5	38,5	71,0
5	25,0	1685	15,5	32,0	265	216	53,0	43,3	54,9
6	27,4	1461	17,2	34,0	305	265	50,8	44,2	40,0
7	29,3	1304	18,6	35,6	340	307	48,6	43,9	35,4
8	31,1	1189	19,9	36,9	372	343	46,5	42,9	31,7
9	32,6	1101	21,0	38,1	401	376	44,6	41,7	28,7
10	34,0	1030	22,0	39,1	427	404	42,7	40,4	26,1
12	36,4	924	23,7	40,7	473	455	39,4	37,9	23,1
14	38,4	848	25,1	42,1	513	497	36,6	35,5	19,8
16	40,1	791	26,4	43,2	547	534	34,2	33,4	17,4
18	41,6	746	27,4	44,1	578	566	32,1	31,5	15,4
20	42,9	709	28,4	44,9	606	595	30,3	29,8	13,8
22	44,1	679	29,3	45,6	631	621	28,7	28,2	12,5
24	45,2	653	30,0	46,3	654	645	27,3	26,9	11,4
26	46,1	631	30,7	46,8	675	667	26,0	25,6	10,5
28	47,0	612	31,4	47,4	694	687	24,8	24,5	9,7
30	47,8	595	32,0	47,8	712	705	23,7	23,5	9,0

Fuente: tomado de Alder et al. 2003

Sitio	Localización		Altitud	Orden de	Textura		Arcilla (%)	Densidad	Carbon	Agua disp
	Lat S	Long W	msnm	suelos	Arena	Arcilla	a 0,5 m	(Mg m <sup>-3</sup> )	(kg m <sup>-2</sup> )	(mm 2m <sup>-1</sup> )
1	11° 55'	38° 32'	230	Quartzipsament	94	6	4	1,58	1,8	61
2	11° 57'	38° 29'	270	Quartzipsament	95	3	5	1,60	2,3	64
3	11° 47'	38° 33'	210	Oxisol	89	10	15	1,54	4,4	88
4	11° 51'	38° 28'	250	Oxisol	80	12	16	1,47	3,2	113
5	11° 49'	38° 22'	220	Ultisol	85	12	16	1,47	3,7	101
6	11° 58'	38° 33'	300	Ultisol	92	6	6	1,59	2,2	66
7	11° 47'	37° 54'	150	Ultisol	63	35	41	1,57	6,4	145
8	12° 02'	38° 28'	310	Ultisol	88	10	20	1,58	3,9	93
9	12° 05'	38° 15'	180	Quartzipsament	98	2	2	1,58	2,5	60
10	11° 58'	38° 07'	180	Ultisol	82	15	23	1,45	5,4	108
11	12° 00'	38° 14'	200	Ultisol	92	6	10	1,58	2,7	78
12	12° 16'	38° 51'	50	Quartzipsament	96	4	3	1,60	3,5	60
13	12° 18'	38° 01'	80	Ultisol	89	8	12	1,54	6,6	87
14	12° 02'	38° 57'	100	Ultisol	84	11	18	1,40	5,2	108

Cuadro 15 b. Características biométricas de los rodales. Diferentes letras muestran valores diferentes estadísticamente a P=0.05

Sitio	Edad	medio (cm)	Índice Sitio (m 5 años)	Índice Área Foliar (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Biomasa (Mgha <sup>-1</sup> )	IMA (Mgha <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Productividad	Precipitación
								primaria neta (Mgha <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	media (mm año <sup>-1</sup> )
1	5,1	12,8	20,5	2,4	14,2	78,3	14,9	9,5	882
2	7,2	12,2	17,6	2,9	14,3	81	11,1	9,7	916
3	6,1	12,1	17,4	2,9	13,7	66,9	9,4	9,7	853
4	7,1	12,8	19,9	3,4	16,9	94,6	12,5	10,6	935
5	7,3	12,8	19,0	3,1	15,1	78,7	10,9	14,9	902
6	6	13,2	20,0	3,8	15,8	90,6	15,1	14,2	955
7	5,1	13,7	23,2	3,0	18,5	97,7	18,9	14,8	1143
8	5	12,8	20,6	3,0	15,3	82,2	15,6	15,0	958
9	6,3	13,1	22,3	2,2	16,7	101,3	15,1	19,8	1008
10	6,1	15,0	23,5	3,3	19,6	114,1	16,6	22,3	1131
11	6,2	13,8	24,2	3,7	19,0	124,0	18,8	23,0	1054
12	7,9	14,9	21,8	4,2	25,2	147,5	19,9	25,1	1605
13	6,3	16,2	29,2	4,6	28,6	201,9	31,9	28,2	1811
14	6,3	17,1	25,8	5,8	30,1	204,0	32,6	39,1	1654
Bajo	6,5	12,5b	18,9c	2,9b	14,8b	80,0b	12,0b	10,9b	897c
Medio	5,7	13,2b	21,5b	3,0b	16,6b	92,0b	15,9b	16,0b	1016b
Alto	6,5	15,4a	24,9a	4,3a	24,5a	158,3a	24,0a	27,5a	1411a

Fuente: Stape et al. 2004

#### 5.7.4 Respuesta del eucalipto a la acidez del suelo

No todas las especies de eucalipto tienen la misma tolerancia a la acidez del suelo. En un ensayo de solución nutritiva con niveles crecientes de Al adicionado como AlCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O llevado a cabo por Neves *et al.* (1982) se encontró que la tolerancia es *E. urophylla* > *E. paniculata* > *E. grandis* > *E. cloeziana* cuando dicha tolerancia se estima como altura de planta y producción de materia seca.

#### 5.7.5 Respuesta al encalado

Cuando el eucalipto se planta en suelo ácido y debido a que consume grandes cantidades de Ca, es de esperar que haya respuesta al encalado. Novais *et al.* (1979), estudiaron el efecto de la aplicación de fertilizante (0, 100, 200, 300 y 400 g N por tonelada de sustrato en la forma de urea; 0, 200, 400, 600 y

800 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por tonelada de sustrato como fosfato mono cálcico y 0, 100, 200, 300 y 400 g K<sub>2</sub>O por tonelada sustrato como KCl) con y sin cal, sobre el crecimiento de plántulas de *E. grandis*. Se encontró que en ausencia de cal y fertilizante, las plántulas alcanzaron una altura de 1,3 cm, mientras que en los tratamientos de NPK más balanceados y con encalado, alcanzaron entre 30 y 35 cm de altura a los 70 días. Este efecto también fue muy notorio en el crecimiento de las raíces, sobre todo en los tratamientos en que se aplicó P.

Las respuestas del eucalipto al encalado, cuando ocurren, afectan más el crecimiento en diámetro que en altura. Barros y Novais (1990), citan que Mello (1968) detectó una ligera superioridad en el diámetro de las plantas de *E. saligna* de 24 meses de edad la adición de 2 t de cal en comparación con aquellas que no fueron encaladas. Resultados similares fueron obtenidos por Valeri *et al.* (1983) en un suelo con 0,20 cmol Ca<sup>+2</sup> + Mg<sup>+2</sup> 100 g<sup>-1</sup> de suelo, donde la aplicación de la misma cantidad de cal resultó en un mayor aumento del diámetro de *E. grandis* a la edad de 18 meses. Es interesante recalcar que, según los resultados obtenidos por Vale *et al.* (1984), citado por Barros y Novais (1990), en un suelo con contenidos adecuados de Ca y Mg para el crecimiento del eucalipto, el encalado puede tener más efectos negativos que positivos.

#### 5.7.6 Efectos sobre las propiedades del suelo

Ladrach (2005), concluye que los eucaliptos no solo no causan infertilidad de los suelos, sino que tampoco tienen un efecto negativo sobre el régimen de humedad del suelo; el autor resume los trabajos de Lima (1984, 1993) y de Lima y Freire (1976) en Brasil, concluyendo que:

- La información disponible no permite concluir que el eucalipto pueda alterar el régimen de lluvias.
- Las pérdidas de agua de lluvia por intercepción son menores para los eucaliptos que los valores medios encontrados con otras especies en plantación o en bosques naturales.
- Las plantaciones de eucalipto pueden contribuir positivamente para el control de la erosión superficial y por lo tanto para la conservación del suelo y sus nutrimentos.
- El agua que drena de las cuencas hidrográficas que contienen bosques naturales de eucaliptos es por lo general de alta calidad. El agua del suelo y del subsuelo que se encuentra bajo las plantaciones de eucalipto, de bosques naturales u otros tipos de vegetación no es marcadamente diferente.
- Aunque aún no se dispone de suficiente información, los datos disponibles indican que la deficiencia de producción de biomasa por unidad de agua consumida es relativamente alta para los eucaliptos en comparación con otras especies forestales.
- El balance hídrico de las cuencas hidrográficas reforestadas con eucaliptos no es diferente al que se observa en cuencas con otros tipos de cobertura forestal.
- A largo plazo, las plantaciones de eucaliptos en pie están mostrando efectos positivos sobre las propiedades químicas del suelo.
- La demanda o exigencia de nutrimentos que tienen las plantaciones de eucalipto de crecimiento rápido es relativamente alta en comparación con las especies de crecimiento lento, pero es del mismo orden de la demanda que tienen otras especies forestales de crecimiento rápido y es mucho menor que la demanda normal de nutrimentos que requieren los cultivos agrícolas.

- La evidencia disponible no apoya el argumento de que los eucaliptos son especies invasoras que acaban con la flora nativa, ni que tienen efectos alelopáticos que suprimen el crecimiento de otras especies de la flora. Con tiempo, las especies locales pueden desarrollarse en un sotobosque rico debajo de los eucaliptos y lo es más, una vez recuperados los suelos, las especies forestales originarias eventualmente pueden regresar y volver a crecer en esos sitios.

Frente a los celos o prevenciones que se tiene contra los eucaliptos en algunas regiones, varias especies en diferentes países han contribuido a mejorar la economía tanto nacional como de los propietarios, incluyendo pequeños propietarios, como es el caso del *E. camaldulensis*, utilizado intensivamente para producción de leña en Nicaragua, postes y madera en Guatemala; o como *E. grandis* en Brasil, Uruguay, Paraguay. Argentina y Colombia, para la producción de astillas, tableros contrachapados y de partículas y madera o *E. globulos* en Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Chile.

### 5.8 Plagas y enfermedades

Las especies de eucaliptos pueden ser atacadas en vivero por la denominada “podredumbre de los semilleros” (“damping off” o mal de talluelo), enfermedad compleja que produce notables pérdidas en los almácigos antes y después de la germinación. Es causada por gran variedad de hongos, entre los que se puede mencionar *Pythium* spp., *Phytophthora* spp., *Fusarium* spp. y *Thanatephorus cucumeris* (*Rhizoctonia solani*). Las condiciones que favorecen el ataque varían con el patógeno, pero el peligro de pérdidas puede reducirse evitando densidades elevadas de siembra, semilleros con alto contenido orgánico, reacción alcalina y excesos de riego y sombra.

*Cylindrocladium scoparium* Morgan es otra enfermedad que ha provocado notables pérdidas en viveros y material de trasplante en Argentina, Brasil, Uruguay y otros; en Costa Rica Arguedas (2007) menciona una especie del género (*C. scoparium*) como causante de pérdidas en viveros en varios sitios del país. el cuadro 16

Se han registrado gran cantidad de patógenos del fuste de *Eucalyptus* spp. de los cuales dos, por lo menos, han provocado pérdidas importantes: *Diaporthe cubensis* Bruner y *Corticium salmonicolor* Berk. y Br., este último reportado en Costa Rica.

Como con toda enfermedad, las medidas de prevención son la forma más efectiva de control; al presentarse cualquier síntoma debe comunicarse y recibir asistencia técnica de personal especializado.

Un insecto muy común en plantaciones del género es la hormiga defoliadora (*Atta* sp. y *Acromirmex* sp.) la que debe controlarse oportunamente, ya que puede causar daños de importancia económica; esto es especialmente importante en las primeras etapas de crecimiento.

<b>Cuadro 16. Plagas y enfermedades que atacan al género Eucalyptus en Costa Rica</b>					
<b><i>Eucalyptus camaldulensis</i></b>					
<i>Insectos</i>					
Atta sp.	Formicidae	HYM	Follaje	Turrialba	C
Trigona sp.	Apidae	HYM	Fuste	Turrialba	C
<i>Patógenos</i>					
Diplodia sp.			Follaje	Turrialba	C
<b><i>Eucalyptus deglupta</i></b>					
<i>Insectos</i>					
Acanalonia sp.	Acanoloiidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Aconophora ferruginea	Membracidae	HOM	Ramillas		
Aphis s.	Aphididae	HOM	Ramillas		
Atta sp.	Formicidae	HYM	Follaje	Siquirres	L
Bolbonota sp.	Membracidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Ceresa concinna	Membracidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Clastoptera sp.	Cercopidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Coptotermes crassus	Rhinotermitidae	ISO	Fuste	Pérez Zeledón	SJ
				Turrialba	C
				Siquirres	L
Enchenopa lanceolata	Membracidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Exophthalmus jekelianus	Curculionidae	COL	Follaje	Turrialba	C
Graphocephala coccinea	Cicadellidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Graphocephala rufimargo	Cicadellidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Hasenia pulverulenta	Flatidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Macunolla ventralis	Cicadellidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Membracis albolimbata	Membracidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Microtalis lugubrina	Membracidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Nodonota irazuensis	Chrysomelidae	COL	Follaje	Turrialba	C
				Alvarado	C
Oncometopia sp.	Cicadellidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Saisettia sp.	Coccidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Selenothris rubrocinctus	Thripidae	THYS	Follaje	Siquirres	L
Sibovia occatoria	Cicadellidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Sphenorhina conspicua	Cercopidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
Trigona corvina	Apidae	HYM	Brotes	Pérez Zeledón	SJ
<i>Patógenos</i>					
Agrobacterium tumefaciens			Fuste	Santa Ana	SJ
				Cartago	C
Botrytis sp.			Follaje	San Carlos	A
				Turrialba	C
Colletotrichum sp.			Follaje	Paraiso	C
				La Unión	C

<b>Cuadro 16. Plagas y enfermedades que atacan al género Eucalyptus en Costa Rica (continuación)</b>					
Corticium salmonicolor			Fuste		
Cryphonectria cubensis			Fuste	Guácimo	L
Cylindrocladium sp.			Brotes	Paraiso	C
				Turrialba	C
			Follaje	San Ramón	A
				San Mateo	A
				San Carlos	A
				San Isidro	H
				Paraiso	C
				Turrialba	C
Diplodia sp.			Ramas	Turrialba	C
Phytophthora sp.			Raíz	Turrialba	C
				Guácimo	[
Pseudoseptoria sp.			Follaje		
<i>Vertebrados</i>					
Orthogeomys heterodus	Geomyidae	ROD	Plántula	La Unión	C
<b><i>Eucalyptus grandis</i></b>					
<i>Patógenos</i>					
Colletotrichum sp.			Follaje	Hojancha	C
Cylindrocladium scoparium			Follaje	Turrialba	C
Diplodia sp.			Follaje	Hojancha	G
<b><i>Eucalyptus saligna</i></b>					
<i>Insectos</i>					
Acheta assimilis	Gryllidae	SALT	Plántula	San Ramón	A
Agrotis ipsilon	Noctuidae	LEP	Plántula	San Ramón	A
Atta sp.	Formicidae	HYM	Follaje	San Ramón	A
Trigona silvestriana	Apidae	HYM	Fuste	Turrialba	C
<i>Patógenos</i>					
Agrobacterium tumefaciens			Fuste	Dota	SJ
Cryphonectria cubensis			Fuste	Dota	SJ
				San Ramón	A
				Jiménez	C
Cylindrocladium scoparium			Follaje	Turrialba	C
<i>Vertebrados</i>					
Orthogeomys heterodus	Geomyidae	ROD	Plántula	La Unión	C
Sciurus variegatoides	Sciuridae	ROD	Fuste	San Ramón	A

## 5.9 Cosecha

La extracción de madera de plantaciones depende tanto del objetivo de producción y el tamaño de la operación, como de la topografía y el tamaño de los productos a extraer. La fuerza animal es ampliamente utilizada, como por ejemplo bueyes (utilizados en Costa Rica), mulas (utilizadas en

Colombia), así como tractores y cables aéreos (figura 4). El sistema a utilizar depende, en consecuencia, de las condiciones propias de cada operación.



Extracción mecanizada de Eucalyptus en Colombia, incluyendo el uso de cables aéreos



Uso de animales para la extracción de trozas de eucalipto para producción de pulpa

Figura 4. Diferentes formas de extracción de madera de Eucalyptus sp.

Fuente: colección personal

## 5.10 Costos

No se dispone de información sobre el establecimiento de plantaciones de *Eucalyptus spp.*; un estudio reciente de costos de establecimiento en Colombia (2012) para las especies más plantadas en este país con apoyo de los Certificados de Inversión Forestal (el equivalente al apoyo PSA de Costa Rica) encontró los costos indicados en el cuadro 19, comparados con los costos indicados por ONF para Costa Rica.

**Cuadro 19. Costos de establecimiento**

Costos promedio de establecimiento y mantenimientos consolidados (2012)					CR 2012	
Actividad	Eucaliptos	Pinos	Teca	Gmelina		
Establecimiento	1213,97	1172,51	1263,81	1355,01		1271,77
Valor CIF 2012	483,85	483,85	483,85	483,85		459,47
% cubierto por CIF	39,9%	41,3%	38,3%	35,7%		36,1% PSA
Mantenimiento año 1	290,81	279,87	276,38	323,07		330,80
Mantenimiento año 2	362,93	332,06	366,95	344,31		255,89
Mantenimiento año 3	296,35	298,62	270,51	234,43		303,21
Mantenimiento año 4	246,03	184,35	159,27	169,26		135,95
Subtotal mantenimiento	1196,12	1094,91	1073,11	1071,06		1025,85
Valor CIF 2012	389,84	389,84	389,84	389,84		459,47
% cubierto CIF	32,6%	35,6%	36,3%	36,4%		44,8% PSA
Subtotal establecimiento + mantenimiento años 1-4	2410,09	2267,42	2336,93	2426,08		2297,62
Costo mantenimiento año 5 en adelante	488,46	1143,83	1200,15	759,93		493,86
Total costos del ciclo	2898,54	3411,25	3537,08	3186,01		2791,48
Administración + asistencia técnica	189,15	226,09	502,29	185,39		245,65
Costo total	3087,69	3637,34	4039,38	3371,40		3037,13

Fuente: Adaptado de CONIF 2012

## Literatura citada

- ADJOUND, D.; HALLI, R. 2000. Occurrence of arbuscular mycorrhiza on aged eucalyptus. *Mycorrhiza* 9(5):287-290.
- AGUIRRE, M.; CARPINETI, L.A.; DALLA TEA, F.; DENEGRI, G.; FRANGI, J.; GARRA, S.; GIMENEZ, E.; GLADE, J.; LAROCCA, L.; MARCO, M.; MENDOZA, L.; PUJATO, J.; REMBADO, G.; SANCHEZ A., M.; VACCARO, N. 1995. Manual para productores de eucaliptos en la Mesopotamia argentina. Concordia, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 171 p.
- ALDER, D.; DRICHL, P.; ELUNGAT, D. 2003. Yields of Eucalypts and Pinus in Uganda. Consultancy Report for the Uganda Forest Resources Management and Conservation Programme. 52 p.
- ALVARADO, A.; THIELE, H. 2012. Nutrición y fertilización del eucalipto (*Eucalyptus* sp.). In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 261-284
- APARICIO, J.L.; LAROCCA, F.; DALLA TEA, F.; 1998. Silvicultura de establecimiento de *Eucalyptus grandis*. In Concordia, Argentina: XIII Jornadas Forestales de Entre Ríos, I Encuentro Forestal CEDEFOR del Mercosur, Actas.
- ARGUEDAS G., M. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica San José, Costa Rica: Corporación Garro y Moya, 2008. 69 p.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. 1996. Eucalyptus nutrition and fertilizer regimes in Brasil. In: PM Attiwill, MA Adams (eds.) Nutrition of eucalyptus. CSIRO, Collingwood, Australia. pp. 335-355.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARDOSO J.R.; MACEDO, P.R.O. 1990. Algumas relações solo-eucalipto em suas condições naturais. In: NF Barros, RF de Novais (eds.). Relação solo-eucalipto. Editora Folha de Viçosa. Viçosa MG, Brasil. pp. 1-24.
- BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; SILVA, H.D.; DA GAVA, J.L.; MENEGOL, O. 2001. Nutrient export by clear cutting of *Eucalyptus grandis* of different ages on two sites, in São Paulo, Brasil. In: International Workshop Rehabilitation of Degraded Tropical Forest Ecosystems. pp. 173-177.
- BOLAND, D.J.; BROOKER, M.L.H.; CHIPPENDALE, G.M.; HALL, H.; HYLAND, B.P.M.; JOHNSTON, R.D.; KLEINIG, D.A.; TURNER, J.D. 1984 Forest trees of Australia. Melbourne, Australia, CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). 687 p.
- CANNON, P.G. 1980. 1981. Fertilización de plantaciones con NPK, calfos y bórax: resultados al final de cuatro años. Cartón de Colombia, S.A., Cali. 10 p. Informe de Investigación, N° 68.
- CANNON, P.G. 1983. Ciclo de nutrientes en plantaciones. In: Cartones de Colombia S.A. Fertilización forestal en el Valle y el Cauca. Cali, Colombia. pp. 85-98.
- CANNON, P.G. 1983. La optimización de la fertilización de eucaliptos en algunos suelos Andepts. In: Fertilización Forestal en El Valle y El Cauca. Smurfitt Cartón de Colombia, Octavo informe anual. pp. 133-150.

- CANNON, P.G. 1984. La fertilización del eucalipto en algunos suelos andepts. Suelos Ecuatoriales 14(1):19-27.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña. Turrialba, Costa Rica. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico No 86. 220 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1986. *Saligna (Eucalyptus saligna)* especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 66 p. Serie Técnica. Informe Técnico, Nº 184.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1991. *Deglupta (Eucalyptus deglupta)* especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico No 240. 45 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1991. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto Madeleña en Panamá. L. Ugalde (ed.), Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 110 p. Serie Técnica. Informe Técnico, Nº 293.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1997. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto Madeleña en Nicaragua. L. Ugalde (ed.), Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 300 p. Serie Técnica. Informe Técnico, Nº 291.
- COSTA, L.M.; 1990. Manejo de solos en áreas reforestadas. In: NF Barros, RF Novais (eds.). *Relação solo eucalipto*. Editora Folha de Viçosa. Viçosa, Brasil. Capítulo 6. pp. 237-264.
- CROMER, R.N.; CAMERON, D.M.; RANCE, S.J.; RYAN, P.A.; BROWN, M. 1993. Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*. 1. Biomass accumulation. *Forest Ecology and Management* 62:211-230.
- CROMER, R.N.; CAMERON, D.M.; RANCE, S.J.; RYAN, P.A.; BROWN, M. 1993. Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*. 2. Nitrogen accumulation. *Forest Ecology and Management* 62:231-243.
- DALLA TEA, F.; LAROCCA, F. 1998. Establecimiento de plantaciones forestales en la costa del río Uruguay. In Concordia, Argentina: XIII Jornadas Forestales de Entre Ríos, I Encuentro Forestal CEDEFOR del Mercosur, Actas.
- DEDECEK, R.A.; BELLOTE, A.F.J.; GAVA, J.L.; MENEGOL, O. 2001. Site characterisation and the effects of harvesting on soil tillage on the productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in Brasil. In: S Kobayashi, JW Turnbull, T Toma, T Mori. N.M.N.A. Majid (eds.). *Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems: workshop proceedings*. 2-4 November 1999. Bogor, Indonesia. CIFOR. pp. 157-164.
- DELGADO-MATAS, C.; PUKKALA, T. 2011. Comparison of the growth of six *Eucalyptus* species in Angola. *International Journal of Forestry Research*, Volume 2011, 9 p.
- ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARDWOOD, C.; van WYG, G. 1993. *Eucalypt Domestication and Breeding*. Oxford Science Publications. USA. 288 p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1981. El Eucalipto en la repoblación forestal. Roma, Italia, FAO, Colección FAO Montes N° 11. 723 p.
- FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations). 2001. Mean annual volume increment of selected industrial forest plantation species by L Ugalde & O Pérez. Forest Plantation Thematic Papers, Working Paper 1. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome (*unpublished*).
- FRANCIS, J.K. 1989. The Luquillo Experimental Forest Arboretum. Res. Note SO-358. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8 p.
- GONÇALVES, J.L.; DEMATTE, J.L.; DO COUTO, H.T. 1990. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis*. y *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e media no estado de São Paulo. IPEF (43/44):24-39.
- GONÇALVES, J.L.; POGGIATI, F.; STAPE, J.L.; SERRANO, M.I.; MELLO, S.L.; MENDES, K.C.F.; GAVA, J.L.; BENEDETTI, V. 1998. Eucalypt plantations in the humid tropics: São Paulo, Brazil. In: EKS Nambiar, C Cossalter, A Tiaras (eds.) Site management and productivity in tropical plantation forests. Workshop Proceedings 16-20 February. Pietermaritzburg, South Africa. pp. 5-12.
- HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. 1984. Eucalyptus for Wood production. Melbourne, Australia, CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). 434 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. 1995. Manual para productores de eucaliptos de la Mesopotamia argentina. INTA. 171 p.
- HAAG, H.P. (ed.). 1983. Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil. Fundação Cargill. Campinas, Brasil. 202 p.
- JADAN, S. 1972. Sistemas de clasificación de índices de sitios para *Eucalyptus deglupta* B.L. en Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 99 p.
- JUDD, T.S.; BENNETT, L.T.; WESTON, C.J.; ATTIWILL, P.M.; WHITEMAN, P.H. 1996. The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland, southeastern Australia. Forest Ecology and Management 82:87-101.
- KANE, M.B.; WRIGHT, J.A.; LAMBETH, C.C. 1992. La fertilización aumenta el crecimiento de *Eucalyptus grandis* en la Meseta de Popayán: resultados a tres años. Cartón de Colombia. Cali 24 p. Informe de Investigación, N°144.
- MACKENSEN, J. 1999. Nutrient management for industrial tree plantations (HTI) in Indonesia, a tropical guidance towards integrated nutrient management. GTZ Tropical Forest Research. Eschborn, Alemania. 96 p.
- MACKENSEN, J.; FÖLSTER, H. 1999. Study on sustainable nutrient supply in fast growing plantations. GTZ Tropical Forest Research. Eschborn, Alemania. 60 p.
- MARTINEZ H, H.A.; 1987. Silvicultura de algunas especies de árboles de uso múltiple II. El Chasqui. 13:16-23.

- MARTINEZ H, H.A.; 1990. Camaldulensis (*Eucalyptus camaldulensis*) especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE, Serie Técnica, Informe Técnico No 158. 58 p.
- MORALES, J.; ORTEGA, H. 1980. Fertilización en eucalipto en las sabanas orientales de Venezuela. *Venezuela Forestal* 4:23-30.
- PAUL, E.A.; CLARK, F.E. 1996. *Soil microbiology and biochemistry*. 2nd ed. Academic Press, San Diego, California. 340 p.
- SALAZAR, R.; JIMENEZ, V. 1988. Comportamiento de *Eucalyptus deglupta* en Costa Rica. *Silvoenergía (Costa Rica)* No 24:1-4
- SANCHEZ, A. 1994. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *Eucalyptus grandis* bajo tres sistemas de plantación a nivel de finca, en la zona de Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 112 p.
- SILVEIRA, R.L.V.; MALAVOLTA, E. 2000. Nutrición y fertilización potásica en Eucalipto. *Informaciones Agronómicas, POTAFOS, Encarte técnico* 91:1-10.
- SILVEIRA, R.L.V.; HIGASHI, E.; SGARBI, F.; MUÑOZ, M.R. 2001. Seja o doutor do seu eucalipto. *Informaciones Agronómicas, POTAFOS, Encarte Técnico* 93:1-32.
- SPAGENBERG, A.; FÖLSTER, H. 2002. Eucalyptus plantations in Brasil: their soil-nutrient dynamics and management. In: MV Reddy (ed.). *Management of tropical plantation-forests and their soil-litter Systems*. Science Publishers. New Hampshire, USA. Chapter 12. pp. 306-325.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M.G. 2004. Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. *Forest ecology and management*. Vol. 193, no. 1/2 (May 2004): p. 17-31.
- TRAPPE, J.M. 1977. Selection of fungi for ectomycorrhizal inoculation in nurseries. *Annual Review of Phytopathology* 15:203-222.
- UGALDE, L.1980. Rendimiento y aprovechamiento de dos intensidades de raleos selectivos en *Eucalyptus deglupta* Blume, en Turrialba, Costa Rica. Tesis Magister Scientiae. CATIE. C. R. 127 p.
- VELEZ, E. 1981. Optimización de fertilizantes en *Pinus patula* y *Eucalyptus grandis* y el efecto de la densidad aparente del suelo en *Eucalyptus grandis* en el vivero "La Florida" de Popayán. Cartón de Colombia, S.A., Cali. 16 p. Informe de Investigación, N° 71.
- WARD, S.C.; PICKERSGILL, G.E.; MICHAELSEN, D.V.; BELL, D.T. 1985. Responses to factorial combination of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers by saplings of *Eucalyptus saligna* Sm., and the prediction of the responses by DRIS indices. *Australian Forestry Research* 15:27-32.
- XIANGHEN, L.; MALAJCZUK, N.; DELL, B. 1998. Mycorrhiza formation and growth of *Eucalyptus globulus* seedlings inoculated with spores of various ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 8 (2):81-86.

## **Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas dentro de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”**

### **1. Antecedentes**

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), es el responsable legal del financiamiento del sector forestal costarricense. Esta labor la realiza a través de dos modalidades a saber: pago por servicios ambientales y el crédito dirigido a pequeños y medianos productores. De acuerdo con los Términos de Referencia (TdR)<sup>3</sup> el FONAFIFO es el punto focal del REDD + y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP); se ha definido como una de las acciones estratégicas para REDD+, el aumento de la producción y consumo sostenible de madera, como una forma, entre varias, de aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

Por su lado, la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país, está constituida por 40 organizaciones de pequeños y medianos productores, industriales y comerciantes de la madera, grupos ecologistas, artesanos y productores de muebles.

Las dos instituciones han aunado sus esfuerzos para la ejecución de las tareas del RP y dentro de éste, la consultoría orientada a identificar los aspectos relevantes para estimular la reforestación comercial, ya sea mediante el empleo de prácticas tradicionales o el uso de sistemas agroforestales (SAF), incluyendo los sistemas silvopastoriles (SSP) para aumentar la producción de madera y por tanto la captura de carbono, necesario para la formación y acumulación de madera. Como resultado de la consultoría indicada, la estrategia REDD+ financiaría la ejecución de un proyecto coordinado por FONAFIFO y dirigido por la Oficina Nacional Forestal, (ONF) para el **“Fomento de la Reforestación comercial para la mejora y conservación de las Reservas de carbono”**, como parte de la estrategia para aumentar los acervos de carbono, una acción estratégica de REDD+.

### **Objetivos**

De acuerdo con los TdR, la consultoría tiene como objetivo general “Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono”, lo cual implica conocer las motivaciones de los productores actuales y potenciales para el establecimiento y manejo de plantaciones, utilizando diferentes métodos de plantación, incluyendo los sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Los objetivos específicos son:

- Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.

---

<sup>3</sup> FONAFIFO/FCPF/Donación TF012692. 2014. Términos de referencia para la contratación de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, San José, Costa Rica, FONAFIFO. 7 p.

- Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

Dentro del objetivo dirigido al desarrollo de paquetes tecnológicos, una de las tareas de la consultoría es la elaboración de un mapa de áreas potenciales para el cultivo de madera, para lo que se han planteado las siguientes tareas:

- a. Recopilar información cartográfica: suelos y fertilidad, lluvias y duración de sequía, uso actual y potencial, infraestructura, desarrollo social y desarrollo humano, PEA y disponibilidad de PEA;
- b. Elaborar diferentes capas con información cartográfica a escala 1:200.000 para obtener zonificación para las especies seleccionadas;
- c. Elaborar los mapas escala 1:200.000 con la zonificación para especies priorizadas

Una tarea previa a la elaboración del mapa fue el análisis de las especies utilizadas para proyectos de reforestación en Costa Rica. Se elaboró el documento “Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, que hizo el análisis de las principales especies utilizadas en el país para los diferentes proyectos de reforestación, desde los de carácter industrial (de tamaño grande y especies con mercado relativamente establecido) hasta pequeños proyectos familiares; el análisis incluyó los proyectos financiados tanto por la iniciativa privada, como aquellos que han contado con el pago por servicios ambientales por parte del FONAFIFO, o con financiamiento mixto.

Paralelo a la preselección de las especies se inició un estudio para evaluar la disponibilidad de madera en las plantaciones forestales establecidas hasta la fecha, mediante un muestreo de campo.

Un segundo análisis previo a la elaboración del mapa fue la determinación de las barreras para el establecimiento de plantaciones y reforestación a nivel nacional, dando como resultado el documento “Barreras que desalientan el cultivo de madera”.

Un tercer nivel de análisis fue una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre las especies seleccionadas por el Comité Evaluador del Proyecto, tanto en el ámbito nacional como a nivel externo.

Con la información aportada por estas etapas previas, se seleccionaron los principales indicadores para las especies, que permitieran priorizar áreas para el establecimiento de plantaciones (comerciales, sistemas agroforestales y silvopastoriles). Los indicadores seleccionados fueron: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas protegidas y otras áreas con bosque; no fue posible obtener información cartográfica de la tenencia (catastro); con la información se espera disponer de un mapa preliminar del área potencia para cada una de las especies seleccionadas (5 mapas a escala 1:200.000), los cuales, complementados con la información en paquetes tecnológicos diseñados para cada una de las especies, permitirían tomar decisiones respecto a la factibilidad de una especie en un sitio determinado. El trabajo de análisis cartográfico fue realizado con el apoyo del Ingeniero Freddy Argotty, consultor privado.

## Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en la consultoría, fue necesario diseñar un modelo de pesos ponderados el cual permite desarrollar un análisis multicriterio entre varios rasters. Análisis de este tipo generan resultados más robustos puesto que permiten darle mayor importancia a variables de significativa importancia que definen el establecimiento de las especies.

Se trabajó con ocho variables (altitud, pendiente, capacidad de uso, temperatura, precipitación, pH, suborden de suelos y meses secos). Todas las capas vectoriales se convirtieron en rasters manteniendo un marco de trabajo similar en todas las capas<sup>4</sup>. La resolución espacial fue seleccionada de acuerdo al raster con resolución más fina (altitud: 30 m).

### 1. Capa de información: Altitud

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM V2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model).

Descripción: La información fue obtenida a partir del modelo de elevación digital (DEM), de 30 metros de resolución espacial actualizado a 2011. Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y se proyectó a coordenadas CRTM05. Datos de elevación faltantes fueron calculados a partir de interpolación espacial zonal.

### 2. Capa de información: Pendiente

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model)

Descripción: A partir del DEM y bajo la herramienta “*slope*” del analista espacial de ArcGis fue generada esta capa para Costa Rica. Se determinó como unidad de medida de salida el porcentaje de pendiente.

### 3. Capa de información: Capacidad de Uso del Suelo 2004

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Se hizo una revisión de las categorías de capacidad de uso de suelo para Costa Rica. Las categorías VII y VIII se consideraron como limitante para el establecimiento de plantaciones puesto que se caracterizan por ser tierras que no reúnen las condiciones mínimas requeridas para cultivo o pastoreo, y solo se pueden utilizar en protección total. En esta capa existe el parámetro de áreas protegidas el cual fue restringido en el modelo. Esta información ha cambiado respecto a su distribución en el país, por lo que análisis posteriores permitirán extraer información más actualizada.

### 4. Capa de información: Temperatura

Formato: shape

---

<sup>4</sup> Un marco de trabajo en común es jerárquicamente significativo cuando se trabaja con rasters provenientes de diferentes fuentes y escalas, siendo a menudo prerrequisito para mejorar tareas de geo-procesamiento

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 5. Capa de información: Precipitación

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 6. Capa de información: pH

Formato: shape

Fuente: Harmonized World Soil Database V1.0

Descripción: el HWSD es un raster (30 arc-segundo) con cerca de 15000 diferentes unidades de mapeo de suelo que combina información actualizada a nivel regional y nacional y a escala 1:5000000. Las fuentes de esta capa son SOTER, ESD, Soil Map of China, ISRIC-WISE, FAO/UNESCO Soil Map of the World (FAO, 1971-1981). Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y proyectados a coordenadas CRTM05.

#### 7. Capa de información: Mapa digital de suelos de Costa Rica 2013

Formato: shape

Fuente: CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas)

Descripción: en 2009 empieza el cambio de información de suelos de formato analógico al digital y en 2013 se lanza el mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a escala 1:200000, el cual cuenta con una base de dato de 450 perfiles de suelo.

#### 8. Capa de información: Meses secos

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo, pero bajo el proyecto TERRA el número de meses secos para Costa Rica se separa y transforma a formato shape.

Fue necesario reclasificar todas las variables convirtiendo la información en datos “enteros”.

Para determinar el número de clases, se optó por conservar la información fuente, esto debido principalmente a que se quiso mantener las características de las capas originales bajo la resolución más fina (30 m).

Bajo parámetros técnicos, se asignó a cada variable y para cada especie diferentes pesos de acuerdo a su importancia relativa usando una escala común<sup>5</sup> (cuadro 1).

Para mejorar la distribución de la condición bajo la cual se establecen las especies, además de incluir las ocho variables y sus pesos de acuerdo a su importancia relativa, se determinó tres escenarios bajo los

---

<sup>5</sup> Según las características ecológicas y rangos de ocupación de cada especie

cuales se desarrollarían las especies (optimo, medio y deficitario) (Anexo 1). Cabe aclarar que los pesos para los tres escenarios se mantienen.

Cuadro 1. Pesos de acuerdo a la importancia relativa de las variables para teca.

Especie	Variable	Peso
Tectona grandis	Altitud	20
	Meses secos	15
	pH	13
	Sub orden de suelos	12
	Pendiente	11
	Capacidad de uso	11
	Precipitación media anual	10
	Temperatura media anual	8
Total		100

La selección de la mejor condición para Teca (*Tectona grandis* y cuatro especies adicionales) se visualiza para cada variable de acuerdo a la figura 1. Cabe aclarar que las áreas seleccionadas para reforestación con teca, no pueden sustituir áreas cubiertas con bosques (primarios o secundarios); , así como tampoco estarán en áreas protegidas, razón por la cual este informe preliminar es una orientación de las áreas potenciales y a partir de un análisis posterior se permitirá conocer y seleccionar las áreas efectivas que representen la condición respectiva para cada especie.

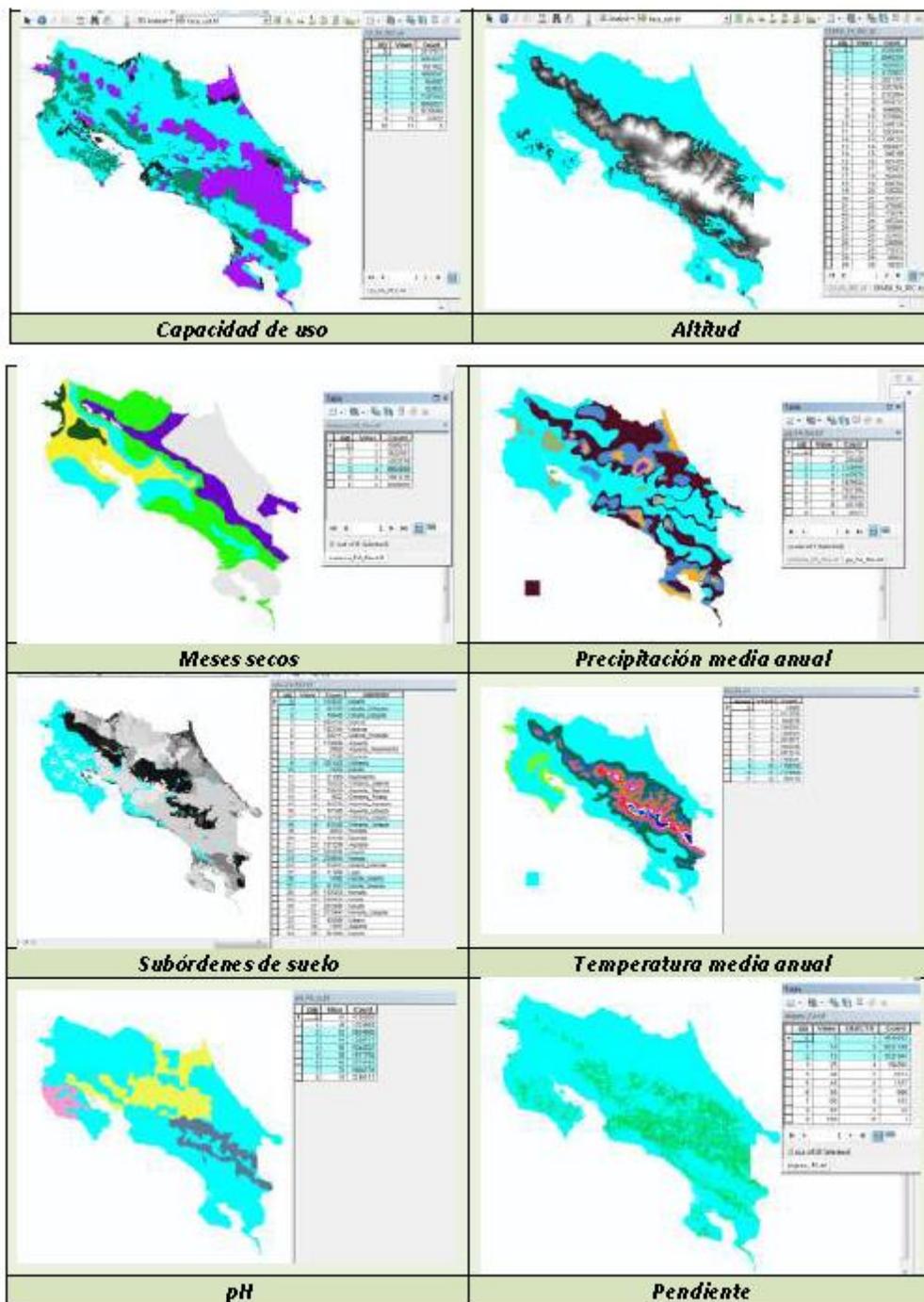


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Optima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica

Condición		Optimista						Medio						Deficitario							
Especie	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Teca	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24
Melina	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults, Humulfs	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23
Pino	sin restricción	5,0-6,5	<30%	<500	1000-2000	4	24-30	sin restricción	4,0-6,5	<35%	<800	1000-3200	2-6	22-30	sin restricción	<4,0	>35%	>800 hasta 1000	<1000 o >3200	>6	<22
Eucalipto	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	5,0-6,5	<25%	<600	1000-2500	1-3	22-30	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	4,8-6,5	25%-30%	500-800	1500-3000	1-3	22-32	sin restricción	<4,8	30-35	<1000	<1500 o >3000	>4	<22
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults, Humulfs	>5,2	<25	<600	1200-1800	2-4	22-28	Aquents, Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults,	5,0-6,2	25%-30%	400-800	1800-2500	3-4	20-30	sin restricción	<5,0	30%-35%	<1000	<1200 o >2500	>4	<20



**Fondo Nacional de Financiamiento Forestal  
Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica**

**Melina (*Gmelina arborea* Roxb.): condiciones para su cultivo  
“Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las  
reservas de carbono”**

**Héctor A Martínez H  
Consultor**

**Moravia, Marzo de 2015**

## **Acrónimos**

ACT:	Área de Conservación Tempisque
AFE:	Administración Forestal del Estado
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BM:	Banco Mundial
CACH:	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha
CAF:	Certificado de Abono Forestal
CAFA:	Certificado de Abono Forestal por Adelantado
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CODEFORSA:	Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos
COOPEAGRI:	Cooperativa Agrícola Industrial y de Servicios Múltiples El General
CRUSA:	Fundación Costa Rica - USA
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FSC:	Forest Stewardship Council
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
IMA:	Incremento Medio Anual
ISO:	International Standard Organization
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
OET:	Organización para Estudios Tropicales
ONF:	Oficina Nacional Forestal de Costa Rica
PIB:	Producto Interno Bruto
PNUF:	Plan Nacional de Desarrollo Forestal
PSA:	Pago por Servicios Ambientales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TIR:	Tasa Interna de Retorno

## Contenido

Acrónimos.....	ii
Resumen ejecutivo .....	1
<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Marco de referencia .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 ¿Por qué melina? .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Requerimientos biofísicos .....</b>	<b>4</b>
2.1 Precipitación anual .....	4
2.2 Temperatura.....	5
2.3 Altitud.....	5
2.4 Suelos .....	6
2.4.1 Textura .....	6
2.4.2 Drenaje .....	6
2.4.3 Reacción del suelo .....	6
2.4.4 Profundidad .....	6
<b>3. Formas de reproducción y producción en vivero.....</b>	<b>9</b>
3.1 Reproducción por semillas y otras formas.....	9
3.2 Tiempo en vivero.....	13
3.3 Fertilización y controles químicos .....	13
3.4 Preparación y envío.....	14
<b>4. Establecimiento .....</b>	<b>14</b>
4.1 Época de establecimiento .....	14
4.2 Protección de las plantaciones .....	14
4.3 Selección del sitio, época de establecimiento y preparación del suelo .....	15
4.4 El sitio y comportamiento de melina .....	18
4.6 Enmiendas al suelo: corrección de acidez y fertilización .....	23
4.6.1 Acidez del suelo y enmiendas al mismo .....	23
4.6.2 Absorción de nutrimentos.....	24
4.6.3 Nutrición y crecimiento de melina .....	26
4.6.4 Reciclaje de nutrimentos por los árboles de melina .....	27
4.6.5 Niveles de deficiencias a nivel foliar .....	29

4.6.6	<i>Sintomas foliares de deficiencias de nutrientes</i> .....	30
4.6.7	<i>Fertilización durante la vida de la plantación</i> .....	31
4.7	Erosión.....	33
<b>5.</b>	<b>Manejo</b> .....	<b>35</b>
5.1	Densidad de plantación .....	35
5.2	Podas.....	36
5.3	Raleos .....	39
5.4	Crecimiento .....	42
5.5	Plagas y enfermedades.....	45
5.6	Cosecha .....	50
5.7	Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión .....	54
	<b>Literatura consultada</b> .....	<b>55</b>
	<b>Anexo 1. Costos y rendimientos estimados en una plantación de melina</b> .....	<b>60</b>
	<b>Anexo 2. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas</b>	<b>63</b>

## Resumen ejecutivo

*Melina arborea* Roxb. es una especie de muy rápido crecimiento y excelentes cualidades tecnológicas (también se le ha denominado teca blanca), lo que la hace deseable para la manufactura de muebles, producción de elementos estructurales, para enchapado y la producción de tableros compensados; en el país se le ha utilizado intensivamente en la producción de tarimas para la exportación de frutas y otros productos; por sus excelentes cualidades, melina ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

Fue la especie más ampliamente plantada entre la década de los 80 del siglo XX y los primeros años del siglo XXI en Costa Rica. Su madera ha sido utilizada principalmente para la producción de tableros y tarimas, al extremo que actualmente se consideran agotadas la mayor parte de las plantaciones, aunque las mismas no han sido reemplazadas. Tiene mercado establecido tanto en la producción de tableros como de tarimas, así como en la manufactura de muebles, casas de habitación y en la manufactura de elementos estructurales, aunque falta promoción para ampliar su consumo a nivel nacional.

Tiene silvicultura ampliamente conocida, experiencia nacional y disponibilidad de técnicos capacitados y programas de investigación por parte de centros especializados y universidades nacionales; hay disponibilidad de germoplasma adecuado y con procesos de mejoramiento en marcha (huertos semilleros, huertos clonales).

Crece bien en condiciones de suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas, profundos, planos o con pendientes inferiores al 25% y con pH entre 6,0 y 6,5 de los órdenes Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs, Humulfs, localizados a menos de 500 msnm, precipitaciones entre 2000 y 2500 mm anuales y con tres o cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya y áreas en la Provincia de Puntarenas; Costa Rica dispone de 415.270 ha potenciales para el establecimiento de la especie, de las cuales 23.340 ha no presentan limitación alguna. Adicionalmente se pueden incluir sitios con pH entre 5,5 y 5,9, pendientes de entre 25% y 30%, pertenecientes a los órdenes Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs y abajo de 600 msnm, temperaturas entre 22° C y 32° C, 1000 a 4000 mm anuales con 4-6 meses secos. Se dispone de 77.380 ha en estas condiciones tanto en zona norte como atlántica.

Las nuevas plantaciones deben establecerse una vez se han instaurado las lluvias, para permitir el buen desarrollo de los árboles antes de la primera estación seca; en la mayor parte de Costa Rica la estación de lluvias inicia a finales de mayo o primeros días de mayo, con una breve estación seca (canícula) en julio; en la zona Huetar norte atlántica el periodo seco es menos marcado, con menor cantidad de lluvias en octubre, por lo que podría pensarse en establecer plantaciones casi todo el año. De todas maneras la decisión depende de las condiciones locales y el silvicultor debe conocer las mismas para definir su programa de establecimiento y manejo. El suelo debe prepararse para recibir las plántulas al inicio de la estación lluviosa; el suelo debe estar limpio de malezas (las que se deben controlar estrictamente durante el primer año). El terreno debe estar protegido del fuego y el ingreso de animales y otras especies que puedan producir daños a las plántulas. Se deberá prever la presencia de excesos de agua en el suelo, mediante la construcción de un sistema de drenaje adecuado para permitir la salida de estos excedentes.

Dado que melina, al igual que teca y otras especies, es intolerante a la competencia por luz, agua y nutrimentos, así como espacio radicular, se controlará adecuadamente las malas hierbas; para ello se recomienda el uso del plateo individual o limpieza de la línea de plantación; el desmalezado se puede hacer en forma manual, semi-mecánica (motoguadaña) o utilizando desmalezadoras (chapeadoras) mecánicas haladas por tractor agrícola.

La planificación y ejecución exitosa de las actividades depende de un buen programa de monitoreo, para lo que es recomendable establecer parcelas permanentes para monitorear el crecimiento de las plantaciones y tomar las decisiones de manejo en el momento oportuno.

Melina goza de amplia reputación de crecimiento rápido tanto en diámetro como en altura en los primeros años, lo que favorece el cierre rápido de copas y el control de malezas; sin embargo, contrario a teca, produce una gran cantidad de ramas desde los primeros meses, lo que hace necesario la realización de podas tempranas de formación; generalmente se realizan podas hasta una altura de 7 m.

Dependiendo del tipo de producto a obtener (madera para trozas de aserrío, tableros compensados, madera estructural, postes o madera para enchapados o tarimas y otros) se decide el régimen silvicultural. Algunos productores orientados a la producción de madera para tarimas utilizan turnos cortos (8-10 años o menos) y realizan tres raleos, partiendo de una población inicial entre 800 y 1000 árboles; realizan un primer raleo de 40% al segundo año, un segundo raleo (30%) a los cuatro años y un tercero (30%) a los seis años; para la producción de madera de mayores dimensiones se realizan igualmente tres raleos a los 4, 6 y 9-10 años con las mismas intensidades, en ciclos de corta de 12 a 16 años. La población final esperada varía entre 240 y 300 árboles  $\text{ha}^{-1}$ . Se espera alcanzar entre 35 y 40 cm o más a la edad de corta.

# Melina (*Gmelina arborea* Roxb.): condiciones para su cultivo

Héctor A Martínez H  
Consultor

## 1. Antecedentes

### 1.1 Marco de referencia

Los “Términos de Referencia para la contratación de la consultoría Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (TdR) establecen que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) es el responsable, según asignación legal, del financiamiento del sector forestal costarricense, mediante el financiamiento a través de dos modalidades: pago por servicios ambientales y crédito dirigido a pequeños y medianos productores. FONAFIFO es, además, el punto focal de REDD+ y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP), el cual ha definido como una de las acciones estratégicas para Redd+ el aumento de la producción y el consumo sostenible de madera, como una de las formas para aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

La consultoría indicada ha sido contratada por el FONAFIFO y responde ante un Comité Evaluador, nombrado por el Director Ejecutivo de FONAFIFO, del que forma parte la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal Nº 7575 para promover el desarrollo forestal del país.

El objetivo general de la consultoría es: Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono.

El logro de este fin requiere el alcance de los siguientes objetivos específicos:

1. Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
2. Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.
3. Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

La promoción del establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera requiere, como paso previo, la identificación de las principales barreras a la actividad. Los términos de referencia para el presente trabajo de consultoría solicitan la elaboración de paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades, para cinco especies prioritarias. Previamente se elaboró un documento para la priorización de las especies<sup>1</sup> y entre ellas se seleccionó *Gmelina arborea* Roxb. L. F. (melina).

---

<sup>1</sup> Martínez H., H.A. 2014. Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Moravia, Costa Rica, FONAFIFO (Fondo Nacional de Fomento Forestal). 39 p.

## 1.2 ¿Por qué melina?

*Melina arborea* Roxb. es una especie de muy rápido crecimiento y excelentes cualidades tecnológicas (también se le ha denominado teca blanca), lo que la hace deseable para la manufactura de muebles, producción de elementos estructurales, enchapado y la producción de tableros compensados; en el país se le ha utilizado intensivamente en la producción de tarimas para la exportación de frutas y otros productos.

Fue la especie más ampliamente plantada entre la década de los 80 del siglo XX y los primeros años del siglo XXI en Costa Rica. Su madera ha sido utilizada principalmente para la producción de tableros y tarimas, al extremo que actualmente se consideran agotadas la mayor parte de las plantaciones, aunque las mismas no han sido reemplazadas. Tiene mercado establecido tanto en la producción de tableros como de tarimas, así como en la manufactura de muebles, casas de habitación y elementos estructurales.

Tiene silvicultura ampliamente conocida, experiencia nacional y disponibilidad de técnicos capacitados y programas de investigación por parte de centros especializados y universidades nacionales; hay disponibilidad de germoplasma adecuado y con procesos de mejoramiento en marcha (huertos semilleros, huertos clonales).

Crece bien en condiciones de suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas, profundos, planos o con pendientes inferiores al 25% y con pH entre 6,0 y 6,5 de los órdenes Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults, Humults, localizados a menos de 500 msnm, precipitaciones entre 2000 y 2500 mm anuales y con tres o cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya y áreas en la Provincia de Puntarenas; Costa Rica dispone de 415.270 ha potenciales para el establecimiento de la especie, de las cuales 23.340 ha no presentan limitación alguna. Adicionalmente se pueden incluir sitios con pH entre 5,5 y 5,9, pendientes de entre 25% y 30%, pertenecientes a los órdenes Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults y abajo de 600 msnm, temperaturas entre 22° C y 32° C, 1000 a 4000 mm anuales con 4-6 meses secos. Se dispone de 77.380 ha en estas condiciones tanto en zona norte como atlántica.

## 2. Requerimientos biofísicos

### 2.1 Precipitación anual

La especie se extiende desde el curso del río Chenab (piedemonte del Himalaya en Pakistán Occidental) hacia el sur y el sur-este a través de la India, Nepal, Sikkim, Assam, Pakistán Oriental, Ceylán, desde Burma hasta Tailandia, Laos, Cambodia, Vietnam y las provincias del sur de la China (Yunnan y Kwangsi Chuang), con precipitaciones que varían entre 762 - 2032 mm (Lamb 1968); o de manera más general, entre 750-4500 mm (Troup 1921; Webb et al 1984). Es más frecuente en los bosques caducifolios mixtos de Birmania asociada con *Tectona grandis*, *Terminalia tomentosa* y varias especies de bambú Rodger (1913). Ocasionalmente se encuentra en bosques de hoja perenne, y no es difícil encontrarla asociada con *Shorea robusta*, extendiéndose a regiones relativamente secas de la India central. En los Himalayas occidentales asciende por las montañas y los valles exteriores hasta 1.200 msnm, donde de vez en cuando ha sido vista en formas atrofiadas, aún en climas un tanto secos (Troup 1921); en las regiones más secas, como el Punjab (India), es raro encontrarla.

A pesar que Rodger (1913) indica que ocurre en forma natural en Malasia y las Filipinas, Corner (1940) y Merrill (1923) indican que se trata de una introducción a estos últimos países (Lamb, 1968). Nativa de los bosques húmedos de India, Bangladesh, Sri Lanka, Burma y gran parte del sureste asiático y el sur de China en sitios con precipitaciones entre 750 y 4500 mm anuales y estación seca marcada de hasta 8 meses (NAS 1980; CATIE 1986).

En América Central se le ha plantado en terrenos con precipitaciones entre 700 y 3000 mm anuales, aunque normalmente entre 1200 y 2500 m con una estación seca de tres a cuatro meses (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Clases de sitio para <i>G. arborea</i> en plantaciones en Costa Rica									
Clase de sitio	IS (m)	Altitud	PMA (mm)	TMA (°C)	Déficit hídrico	Pendiente (%)	Incremento medio anual		
							dap (cm año <sup>-1</sup> )	Altura (m año <sup>-1</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Marginal	10,52	439	2047	27,3	4,5	7,5	< 1,9	< 1,22	< 6,78
Bajo	18,11	308	2024	26,7	5,4	16,4	1,91-2,90	1,23-2,32	6,79-15,33
Medio	21,3	298	2125	26,5	5,0	16,0	2,91-3,60	2,33-3,20	15,34-24,49
Alto	23,12	140	2005	26,0	5,1	11,9	3,61-4,62	3,21-3,90	24,50-37,77
Excelente	27,92	158	1770	26,8	5,0	17,2	> 4,63	> 3,91	> 37,78

Fuente: Tomado de Vallejos (1996) citado por Murillo y Alvarado (2012)

## 2.2 Temperatura

En su rango natural de distribución las temperaturas medias oscilan entre 24° C y 35° C (CATIE 1986); Florido y Cornejo (2002) reportan temperaturas entre 21° C y 28° C en el área de distribución. En América Central se ha plantado en sitios con temperatura media entre 24° C y 29° C (CATIE 1986).

Las temperaturas mínimas absolutas en su área de distribución natural oscilan entre -1° C y 16° C y las máximas entre 38° C y 48° C (CATIE 1986). Según Troup (1921), melina crece en regiones con temperaturas máximas absolutas de 37,8° C a 47,8° C.

## 2.3 Altitud

Según Murillo y Alvarado (2012), en Costa Rica la melina crece bien desde 0 hasta 600 msnm, con una precipitación promedio anual de 2.500 mm y de 2 a 4 meses secos al año. Varios estudios sobre calidad de sitio han encontrado que el crecimiento de *G. arborea* se reduce cuando los suelos están compactados (valores de  $D_a > 0,9 \text{ Mg m}^{-3}$ ), las plantaciones se establecen arriba de los 500 msnm, soplan vientos fuertes y los contenidos de Ca y Mg disponible se encuentran por debajo de los 10 y 6 cmol (+) L<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente (Obando 1989; Stuhmann *et al.* 1994; Vázquez y Ugalde 1995; Vallejos 1996).

La especie crece hasta los 500 msnm, aunque los mejores crecimientos se dan debajo de los 300 msnm.

## 2.4 Suelos

### 2.4.1 Textura

La especie requiere suelos profundos, bien drenados, de texturas francas y de topografía plana a ligeramente ondulada (CATIE 1986), con buenos contenidos de calcio y magnesio, CICE  $\geq 20$ MEQ/g y %SA  $\leq 3\%$  y sin obstáculos para el desarrollo radical (Vallejos 1996, Murillo y Alvarado 2012).

No crece bien en suelos arcillosos, pesados y mal drenados (vertisoles), suelos compactados o suelos arenosos, arcillosos (pesados), con menos de 50 cm de profundidad efectiva; tampoco crece en suelos infértiles y ácidos, con presencia de vientos fuertes y donde Ca y Mg disponible  $< 6$  cmol (+) L<sup>-1</sup> de suelo

### 2.4.2 Drenaje

La especie presenta el mejor crecimiento en suelos profundos, húmedos, bien drenados y con buen suministro de nutrimentos. En la India, en bosques naturales (Troup 1921), la especie muestra preferencia por los valles fértiles y húmedos; no prospera donde el drenaje es malo, mientras que en arenas secas o con suelos muy pobres permanece atrofiado, y muestra solo una forma arbustiva debido a que es eliminada repetidamente por la sequía.

### 2.4.3 Reacción del suelo

Los mejores crecimientos se dan en suelos con pH arriba de 6,0. Como *Cedrela*, melina crecerá vigorosamente en suelos con capas superficiales alcalinas o ligeramente ácidas, donde encuentran una amplia gama de nutrimentos disponibles, pero fracasará en suelos ácidos muy lixiviados donde podrían prosperar los pinos.

### 2.4.4 Profundidad

La especie requiere suelos profundos, sueltos y bien drenados, sin capas endurecidas. Al parecer, de la experiencia Sierra Leona, melina no puede sobrevivir más de 15 años en plantaciones sobre suelos y subsuelos pedregosos y/o con capas endurecidas que restringen el desarrollo de la raíz hacia abajo (Lamb 1968). Esto puede ser puramente físico o el resultado también de la composición química del suelo.

Clases de sitio	Topografía	Pendiente (%)	Suelos	Profundidad efectiva (cm)	pH	CICE	Saturación acidez
Clase I	Plana	0-5	Inceptisoles, Entisoles fértiles	> 80	6,1-6,5	> 20	< 3
Clase II	Plana, inclinada, cóncava	0-8	Inceptisoles, Entisoles fértiles	50-79	5,5-6,0	15-19	3-10
Clase III	Plana, ondulada, inclinada, convexa	0-30	Alfisolos, ultisolos	40-49	5,6-5,9	6-18	11-25
Clase IV	Ondulada, convex	> 30	Ultisolos	< 40	4,8-5,5	< 6	> 25

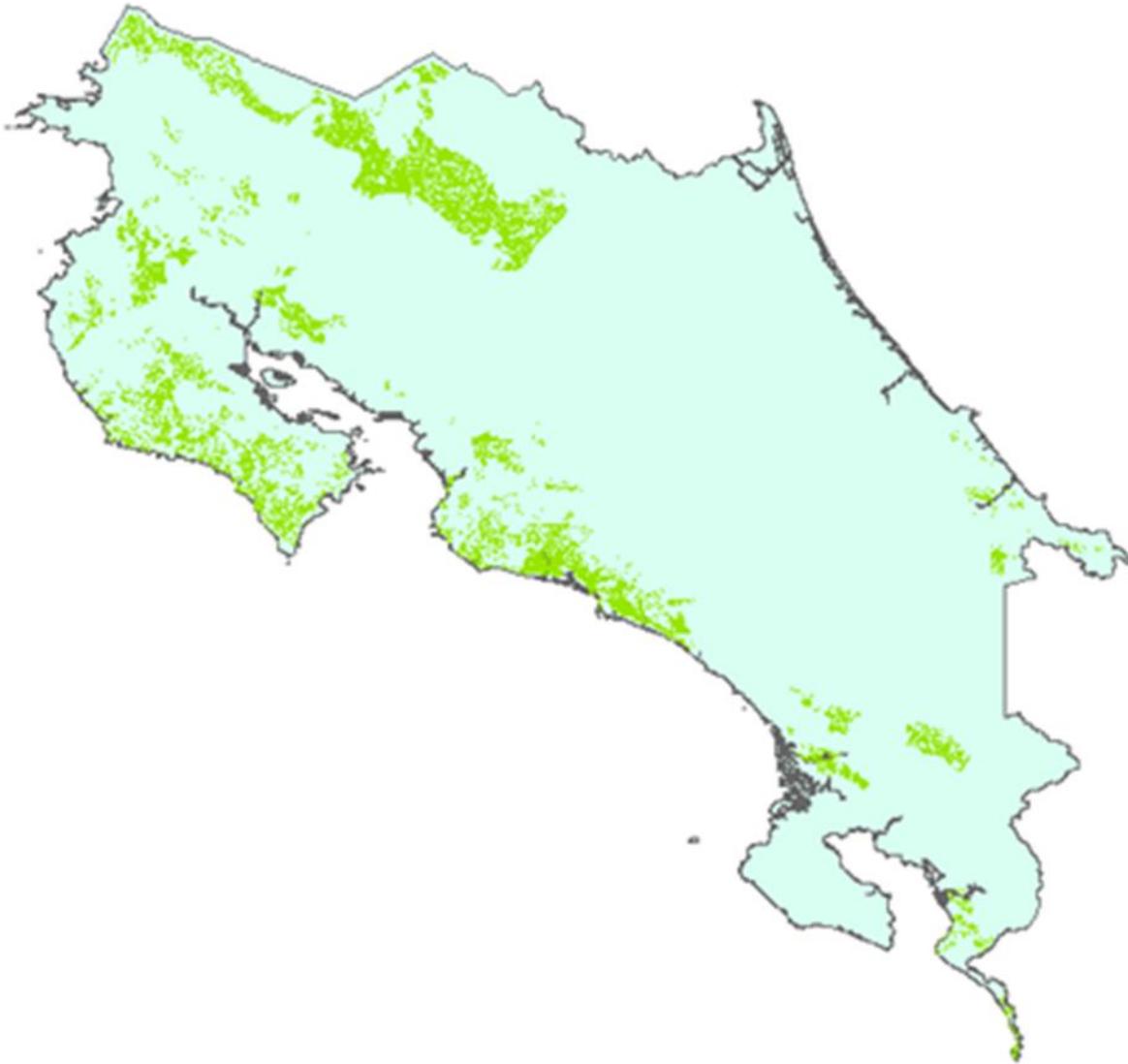
Fuente: Zeaser 2002, comunicación personal a Alvarado

Cuadro 3. Características de sitios para tres condiciones de crecimiento de melina

Condición	Características						
	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Óptima	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs, Humulfs	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28
Promedio	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32
Deficitario	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con lo indicado por los indicadores seleccionados: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas con plantaciones actuales, áreas protegidas y otras áreas con bosque; adicionalmente con la información geográfica disponible se determinaron las áreas con mayor potencial para el cultivo de melina: península de Nicoya, la parte norte de Guanacaste y la denominada zona norte cerca de Los Chiles; igualmente el área central de la costa pacífica en la provincia de Puntarenas y la región de Buenos aires en la misma provincia (mapa 1).



Áreas con potencial para el establecimiento de plantaciones de *Gmelina arborea* (áreas consideradas óptimas).

Fuente: elaboración propia a partir de capas de información geográfica.

### 3. Formas de reproducción y producción en vivero

#### 3.1 Reproducción por semillas y otras formas

Los frutos de melina son drupas carnosas, ovoides u oblongas de 20-35 mm de longitud; el mesocarpo es amarillo, carnoso, comestible para los animales. El endocarpo es duro, contiene dos a cuatro semillas y tamaño variable. La semilla de melina es blanda, alargada, blanca y de consistencia dura cuando es viable. También se puede encontrar de color café claro y lisa; tiene forma elipsoidal y mide de 7 a 9 mm de largo; el embrión es recto, con dos cotiledones planos y carnosos. Su radícula es corta, sin endospermo (Niembro 1983).

Hay un promedio de 1.250 semillas  $\text{kg}^{-1}$  (Yap y Wong 1983) a 2.750 semillas  $\text{kg}^{-1}$  (Hor y Pukittayacamee 1993). Las semillas frescas pueden almacenarse en bolsas, en un lugar fresco y seco, por cerca de 3 meses sin perder mucha viabilidad. Las semillas frescas muestran una tasa de germinación de 90% (Hor y Pukittayacamee 1993).

La semilla de la especie se considera ortodoxa, lo que representa una ventaja desde el punto de vista del almacenamiento. Para su almacenamiento se recomienda empacarla en bolsas plásticas selladas dentro de recipientes herméticos, ya que a temperatura ambiente la viabilidad se reduce rápidamente. Se debe reducir su contenido de agua hasta un 6 y 10% (base húmeda) y almacenarla en un cuarto frío entre 3° C y 5° C para conservarla adecuadamente hasta por dos años (Rojas *et al.* 2004). La semilla de melina puede perder hasta 23% de su capacidad germinativa en 24 horas y reducirse prácticamente a 0% al cabo de una semana si las condiciones de transporte, manejo y acondicionamiento no son adecuadas.

En el país existen fuentes superiores de abastecimiento de semilla de calidad superior, por lo no se justifica la recolección de material de cualquier árbol. El Centro Agrícola Cantonal de Hojanca (CACH) vende semilla certificada a productores nacionales, sino también lo hace a grandes proyectos de reforestación a nivel nacional e internacional. El Banco de Semillas Forestales del CATIE es otro proveedor de semillas certificadas.

La germinación es de tipo epigea y se inicia a los seis o siete días; el pico de germinación se da entre los 17 y 20 días y termina entre los 47 89 días. A los 12 días normalmente ha germinado la tercera parte del total. Una vez sembrada, la semilla germina mejor a plena luz (25° C a 30° C) que bajo cubierta. Por debajo de 16° C se corre el riesgo de que no ocurra la germinación. Dada la naturaleza de los endocarpos y semillas, se recomienda utilizar tratamientos pre-germinativos, los cuales dependen de las condiciones de la semilla. Generalmente se usa inmersión en agua a temperatura ambiente por un día (Kijkar2004), o varios días, llegando a cinco días, cambiando diariamente el agua; posteriormente se depositan en un lugar a la sombra, remojando diariamente hasta que abran los endocarpos; este proceso puede durar de 10 a 15 días.

Rojas *et al.* (2004) indica que aunque es factible plantar melina en forma directa (por la germinación múltiple que presenta de hasta 3 semillas por fruto) es conveniente la siembra de las semillas en eras o camas de germinación con un sustrato que contenga tierra común de vivero y arena de río en partes iguales, previamente esterilizados ya sea con sol (solarización) o con un producto químico o natural. El sustrato debe estar constantemente húmedo pero jamás encharcado o reseco. Para ello se recomienda el

riego por nebulización usando gotas muy finas. Las semillas se siembran en surcos a una densidad baja. No debe sembrarse muy profunda y debe cubrirse con una capa delgada de sustrato.

Cuando las plántulas presenten un tamaño cercano a los 5 cm (del tamaño de un palillo de fósforo) se debe proceder al repique en horas tempranas de la mañana. Para esta labor se debe regar y aflojar el semillero y luego proceder a extraer cuidadosamente las plántulas, tomándolas con los dedos por las hojas y evitando el contacto con el tallo.

Otra forma de producción es a partir de estaquillas enraizadas (clones) que permite reproducir árboles similares a los que les dan origen (figura 1), sin pérdida de la varianza genética (figura 2):

- (i) de los árboles plus (en el jardín clonal) se toman yemas terminales (de la parte superior), semanal o quincenalmente, de aproximadamente 4 cm de longitud, con una o dos hojas terminales, las cuales son podadas, dejando 1/5 de su lámina foliar;
- (ii) las estaquillas son tratadas con un estimulador del enraizamiento (ácido indol butírico al 0,2%-0,5%) para acelerar y homogeneizar el enraizamiento; también se aplica agentes micorrizantes adecuados;
- (iii) las estaquillas se ponen a enraizar (en invernaderos para producción avanzada de las especies, en túneles de enraizamiento, donde se controla la temperatura -30° C y la humedad -100%- en forma permanente; en condiciones menos sofisticadas se pueden poner a enraizar en sustratos inertes de aserrín o arena (Rojas et al. 2004)); el periodo de enraizamiento es de aproximadamente 5-8 días y la tasa de enraizamiento de 70%-80%, aunque en casos excepcionales puede llegar al 95%.



**Figura 1. Árboles seleccionados por su forma para obtención de material vegetativo (estaquillas o ramets)**

Fuente: elaboración propia

- (iv) después del periodo de enraizamiento las plántulas se trasplantan a los recipientes (generalmente pellets de turba o tubetes plásticos o de papel kraft) para el periodo de crecimiento y adaptación - 14 a 20 días-, dentro del invernadero o umbráculo. Durante este periodo se suministra fertilización (foliar) y riego permanentemente (con un fertilizante que garantice cantidades adecuadas de macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, así como los micronutrientes que han mostrado ser indispensables: cobre, boro, manganeso, molibdeno; se debe disponer de un programa de fertilización adaptado a las condiciones locales); al cabo de 25-28 días las plántulas son

expuestas a plena exposición para un periodo de adaptación pre-plantación; al alcanzar 20-25 cm de altura las plántulas están listas para ir al campo, a los 32-35 días.

Al igual que otras especies (teca, por ejemplo) se puede utilizar varios tipos de recipientes para trasplante y preparación para la plantación: bolsas de polietileno, tubetes plásticos o de papel kraft o pequeñas bolas comprimidas de turba (pellets o “jiffys” por su nombre comercial).

Las plántulas están listas para ir al campo cuando alcanzan 25-30 cm de altura a los 45-60 días. Otros autores indican que las plantas jóvenes crecen rápidamente y alcanzan un tamaño apropiado para llevarse a campo en 2 a 3 meses (plántulas provenientes de semilla), cuando miden de 40 a 45 cm de altura. También se usa el establecimiento de tocones o pseudoestacas (Troup, 1921); esta última forma de establecimiento fue muy popular en la segunda parte de siglo XX en América Central y aún se utiliza en algunas partes.

La especie rebrota bien después de talarse. Estos rebrotes están listos para producción por esqueje enraizado cuando tienen 60 días de edad (figura 3). Comúnmente se utiliza una sección de un solo nudo de mitad de hoja para enraizamiento, con o sin aplicación de fitohormonas. Sin embargo, el tratamiento con fitohormonas puede inducir un enraizamiento más temprano y vigoroso, que sin tratamiento (Hijoyo, 1993). Estacas de *Gmelina arborea* se establecen bien cuando la humedad relativa es de más de 80% y la temperatura es menor a 30° C.



Instalaciones para la reproducción vegetativa de melina



Plantas madre de melina para reproducción vegetativa (clonal): en macetas y en eras (bancales)



Cosecha y preparación de estaquillas reproducción vegetativa



Detalle de estaquillas listas para enraizar; recipientes para enraizamiento y túneles de enraizamiento (humedad 100%; 30° C)



Bandejas de adaptación temprana y bandejas de crecimiento



Plántulas listas para el campo: plantación en lomillos (tierra laborada) melina de cuatro meses de plantado

**Figura 2. Proceso de producción y establecimiento de plantaciones con material vegetativo**

Fuente: elaboración propia



**Figura 3. Seudoestacas: forma, calidad y respuesta a la plantación (una semana después de plantadas)**

Fuente: elaboración propia

### 3.2 Tiempo en vivero

Material producido a partir de semillas puede tardar hasta tres meses para estar listo para salir al campo; material vegetativo está listo para salir a plantación en 30-35 días.

Las plántulas deben estar listas para ir al campo al inicio de la estación de lluvias, cuando se produce para plantaciones locales o para entrega a otros productores.

### 3.3 Fertilización y controles químicos

La fertilización de plántulas de melina en vivero, es mejor cuando se utiliza urea y sulfato de amonio (mayor altura y mayor peso seco que las fertilizadas con nitrato de potasio); sin importar la fuente del fertilizante, se encontró que una aplicación de 2,5 g de N por planta permitió obtener el mejor crecimiento de plántulas trasplantadas en latosoles (Ogbonnaya y Kinako 1993), quienes indicaron que la adición de N como nitrato de amonio o urea, causa un mayor crecimiento en altura, diámetro, peso seco tasa de asimilación neta y crecimiento relativo, que el encontrado en plántulas que recibieron N como sulfato de amonio o nitrato de potasio.

La utilización de N y P en vivero, causa un incremento en la población de bacterias y una disminución de la población de hongos en la rizósfera, sin que se afecte significativamente ninguna variable de crecimiento (Amakiri y Obi 1985).

Durante el crecimiento en vivero debe disponerse de un programa de fertilización que llene las necesidades de las plántulas, promoviendo el crecimiento sano de las mismas. Melina es una especie adaptada a condiciones de suelo neutro a básico, por lo que su crecimiento se favorece conforme aumentan los contenidos de bases cambiables en el suelo, creciendo normalmente cuando el contenido de Ca oscila entre 6,0 y 22,3, Mg entre 1,6 y 6,7 y K entre 0,5 y 0,7  $\text{cmol (+) L}^{-1}$ , respectivamente, con un pH entre 5,7 y 6,4 en el trópico seco de Guanacaste, Costa Rica (Obando 1989; Vásquez y Ugalde 1994; Vallejos 1996). Crece aún mejor cuando las concentraciones disponibles de los elementos oscilan entre 18-23, 6,2-6,7 y 0,3-0,7  $\text{cmol (+) L}^{-1}$  de Ca, Mg y K respectivamente (Vallejos 1996).

Debido a la alta humedad y temperatura reinantes en las condiciones de vivero, es posible que se presenten ataques de hongos, por lo que una vigilancia continua y el uso de fungicidas cúpricos son recomendables para evitar pérdidas que aumenten los costos de producción.

### **3.4 Preparación y envío**

En bandejas de hasta 30 plántulas (en bolsas de polietileno de 4" x 6" o 4" x 8") o de 96 a 150 plántulas en "jiffys"; cada vivero define la cantidad y arreglos necesarios para garantizar la cantidad adecuada, de acuerdo al método de plantación seleccionado.

Las plántulas criadas en bolsa generalmente salen con una altura de 25 cm -30 cm; no se tiene experiencia de producción en pellets de turba (jiffys) pueden tener entre 10 cm y 30 cm. A menor altura de las plántulas, mayor exigencia con el control de malezas en el campo.

## **4. Establecimiento**

### **4.1 Época de establecimiento**

Las plántulas y el sitio deben estar listos para el establecimiento de la plantación al inicio de la época de lluvias, para aprovechar toda la estación de crecimiento. En Costa Rica este periodo inicia regularmente a finales de mayo o inicios de junio y se extiende hasta noviembre (Guanacaste, costa pacífica y zona norte).

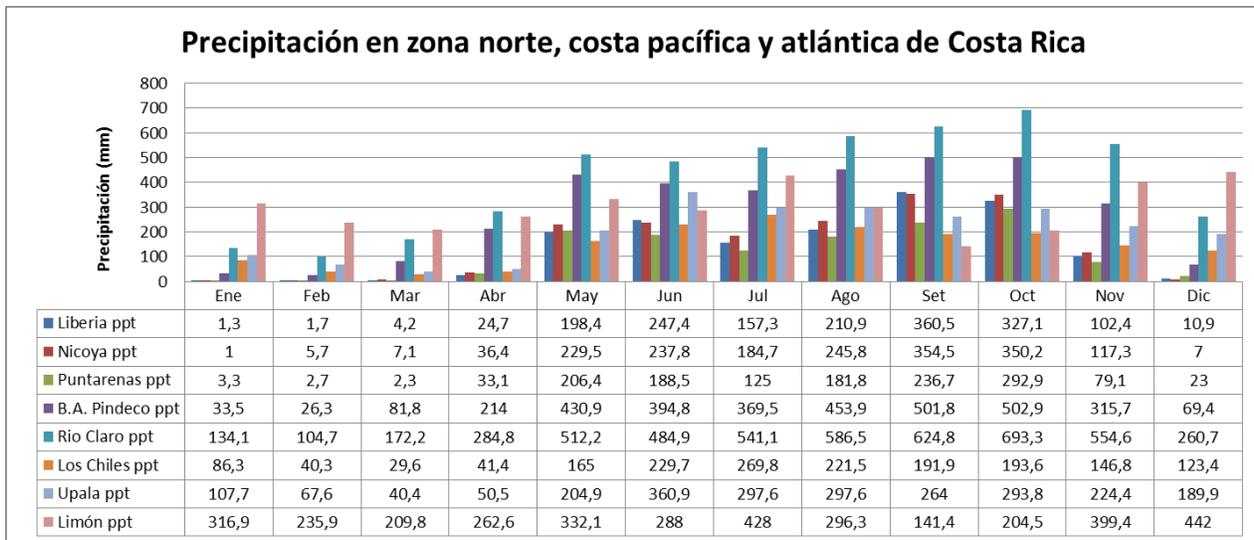
En el área de Buenos Aires las lluvias sobrepasan los 100 mm mensuales a partir de abril y la estación seca se extiende de diciembre a marzo; en el área de Río Claro todo el año la precipitación es superior a 100 mm (febrero es el mes de menos lluvias con 105 mm), por lo que se podría plantar en cualquier época al igual que en el área de Limón, donde hay una estación de menos lluvias en los meses de septiembre y octubre, aunque con precipitaciones superiores a 140 mm (figura 4).

### **4.2 Protección de las plantaciones**

Como con otras especies, las plantaciones de melina deben ser protegidas de diferentes tipos de merodeadores (animales, incluyendo humanos), precaristas, cazadores, ladrones y el fuego. La protección en el caso de merodeadores, cazadores y, hasta cierto punto, de precaristas, se hace mediante el establecimiento de cercos alambrados (alambre de púas o espigado), generalmente sobre postes vivos de especies tales como madero negro (*Gliricidia sepium*), jocotes (*Spondias purpurea*), tempate (*Jatropha curcas*), pochote (*Bombacopsis quinata*) u otras especies, aunque algunos productores utiliza postes muertos de madera o de concreto.

La protección contra el fuego se hace estableciendo "rondas o barreras cortafuego" consistentes en caminos de hasta 4 m de ancho bordeando las plantaciones, para disminuir el riesgo de ingreso del fuego desde el exterior, facilitar el movimiento de vehículos y personal de control, así como personal de bomberos.

En todos los casos la disponibilidad de guardias especializados es una opción, especialmente durante la época seca y en zonas con alta incidencia de incendios (Guanacaste, Costa Pacífica).



**Figura 4. Distribución mensual de las lluvias en sitios seleccionados de la zona norte, costa pacífica y atlántica de Costa Rica.**

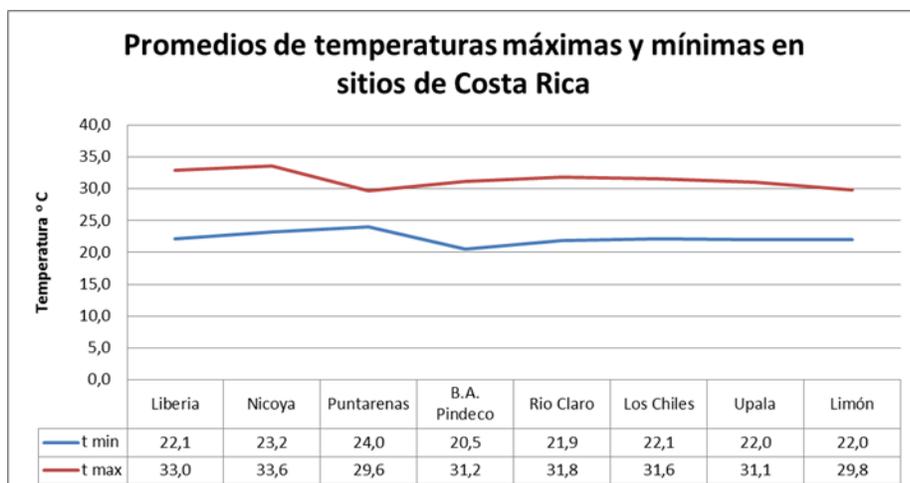
Fuente: Elaboración propia a partir de, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. En línea. <http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?EVENTTARGET=LinksInfoClimatica>

#### 4.3 Selección del sitio, época de establecimiento y preparación del suelo

Como con otras especies, las plántulas de melina y el terreno a plantar deben estar preparados al inicio de la época de lluvias, la cual, con variaciones según la localización del sitio, inicia en Costa Rica a finales de mayo y se extiende hasta finales de octubre o comienzos de noviembre, con una sequía intermedia (mediados a finales de julio, conocida como canícula). Es importante que la plantación se realice al inicio de las lluvias para permitir el desarrollo del sistema radicular y un periodo de crecimiento adecuado para resistir el primer periodo seco (diciembre-mayo).

Los sitios que han mostrado mayor aptitud para el crecimiento de plantaciones de melina normalmente tienen temperaturas que varía entre 24º C y 28º C. La mayoría de los sitios en las zonas bajas de Costa Rica tienen temperaturas medias entre estos valores. La figura 5 muestra la distribución de las temperaturas máximas y mínimas en la zona de Guanacaste, la zona norte, la costa pacífica y la costa atlántica de Costa Rica.

Melina crece naturalmente en sitios entre 750 y 4500 mm (Troup 1921); la figura 7 presenta la distribución de la precipitación a lo largo del año en sitios de Guanacaste, la costa pacífica, zona norte y costa atlántica de Costa Rica. En general, en los sitios cubiertos por la información de precipitación, melina debe ser establecida entre los meses de mayo y octubre, para aprovechar al máximo la estación lluviosa.



**Figura 5. Temperaturas máximas y mínimas en ocho estaciones meteorológicas de Costa Rica**

Fuente: Elaboración propia a partir de, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. En línea. [http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?\\_\\_EVENTTARGET=LinksInfoClimatica](http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=LinksInfoClimatica)

La especie requiere suelos profundos, bien drenados, de texturas francas y de topografía plana a ondulada (CATIE 1986; Alfaro 2003; Murillo y Alvarado 2012). Al comparar sitios con suelos formados de diferente material parental y clima, se puede encontrar diferencias de productividad entre 5-6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, como sucede al comparar los rendimientos encontrados en Santa Cruz, Guanacaste (suelos vérticos en régimen de humedad ústico), con los de los Chiles de Upala, Alajuela (suelos aluviales en régimen de humedad údico) o con los de Buenos Aires, Puntarenas (Ultisoles arcillosos y ácidos en régimen de humedad údico-ústico).

Varios autores han trabajado en la determinación de la calidad de sitio encontrando que el crecimiento de *G. arborea* se reduce cuando los suelos están compactados (valores de densidad aparente > 0,9 Mg m<sup>-3</sup>), las plantaciones se establecen sobre los 500 msnm, soplan vientos fuertes y los contenidos de Ca y Mg disponible se encuentran por debajo de los 10 y 6 cmol (+) L<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente (Obando 1989; Stuhmann et al. 1994; Vázquez y Ugalde 1995; Vallejos 1996). En terrenos de ladera en Bangladesh, Osman et al. (2002) mencionan que la especie crece mejor en suelos de textura franco arenosa que en suelos de textura franco arcillo arenosa y cuando el pH del suelo es mayor a 6,0.

Rojas *et al.* (2004) indican que los requisitos principales para la selección de sitios para melina son: la posición topográfica del sitio, los contenidos de calcio y magnesio en el primer horizonte y el uso anterior del suelo. Según Murillo (1996) los mejores rendimientos en volumen en plantaciones de melina de la zona sur de Costa Rica, se dan en sitios con suelos aluviales de fertilidad alta (35-65 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), mientras que los más bajos en suelos poco fértiles (5-35 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

No crece bien en suelos arcillosos, en pendientes superiores al 30% con problemas de baja fertilidad, bajo contenido de materia orgánica y poca profundidad del suelo. El crecimiento también se ve afectado en suelos superficiales, con capas endurecidas, impermeables y pedregosas, así como en suelos ácidos muy lixiviados o arenas secas.

Experiencia desarrollada en empresas privadas indican que cuando se utiliza silvicultura de precisión se requiere una preparación adecuada del suelo, la cual incluye subsolado (hasta 60 cm -70 cm de

profundidad), arado, rastreado, alomillado, además de la construcción de canales para el drenaje del agua sobrante (figura 6). La utilización de subsolado depende del uso anterior, la presencia de capas endurecidas, así como la necesidad de mejorar las condiciones físicas del suelo. En todos los casos es necesario tomar precauciones para evitar problemas de erosión del suelo (figura 7).



**Figura 6. Limpieza de canales primarios y secundarios para facilitar el drenaje del agua sobrante en plantaciones forestales (melina).**

Fuente: elaboración propia



**Figura 7. Preparación intensiva del suelo para establecimiento de plantaciones de melina.**

Fuente: elaboración propia

El hoyo para cada postura o plántula debe ser suficientemente grande para cubrir el recipiente en el que viene la misma (bolsa, tubete o pellet); en silvicultura de precisión los hoyos se abren en la parte alta del “lomillo” para facilitar la penetración de las raíces, el drenaje de los sobrantes de agua y controlar las malezas en los primeros meses de crecimiento.

Dependiendo del estatus de los nutrimentos mostrado por los análisis de suelos, se puede optar por agregar fertilizante en el fondo del hoyo (teniendo el cuidado que el mismo no entre en contacto con las raíces de la plántula), así como la aplicación de fuentes de calcio (cal, por ejemplo), dependiendo del pH y la acidez del suelo, la presencia de excesos de hierro o aluminio. Cuando se aplica la misma puede aplicarse en una corona, alejada de 20-25 cm del cuello de la plántula para evitar daños a la misma.

La especie puede plantarse en asocio con cultivos agrícolas compitiendo fuertemente por nutrimentos en Ultisoles ácidos de Nigeria, debido a su distribución de raíces finas y gruesas en los horizontes superficiales del suelo (Ruhigwa et al. 1992). El empleo de clones mejorados de melina, hace que la escogencia de sitios sea estricta, si se desea alcanzar buenos resultados en productividad y crecimiento. Entre los socios posibles con melina se tiene el establecimiento simultáneo con leguminosas (frijoles, guandul, maní), tubérculos (*Xantosoma* spp.).

#### 4.4 El sitio y comportamiento de melina

*Gmelina arborea* crece bien en suelos profundos, franco arcillosos, calcáreos y suelos húmedos pero bien drenados, con precipitaciones óptimas 1800-2300 mm por año (Lamb, 1970, Tewari, 1995; Wijoyo 2000; Lauridsen et al, 2002; Espinoza 2003). Fred (1994) citado por Hossain (1999) indica que la especie requiere acidez del suelo con pH entre 5,0 y 8,0.

Ali *et al.* (2010) observaron, en Etiopía, que la distribución del tamaño de las partículas del suelo varía a lo largo de la topo-secuencia (posición topográfica). Encontraron que los suelos localizados en la parte media de la pendiente tienen, relativamente, mayores contenidos de arcilla a lo largo del perfil, seguido por los suelos en la parte alta de la pendiente, en suelos con pH que variaba entre 6,47 y 7,47.

Según Vázquez y Ugalde (1995) en Guanacaste, Costa Rica, los mejores sitios para el crecimiento de melina corresponden al piedemonte o fondos plano, donde generalmente hay mayor disponibilidad de agua y materia orgánica (nutrimentos), niveles adecuados de Ca y Mg 10 y 6 meq/100 ml en el primer horizonte y cuyo uso anterior fue charral (matorrales) o uso agrícola; el viento afecta negativamente el crecimiento.

Vallejos (1996) encontró que el índice de sitio para melina en la zona de Guanacaste, Costa Rica, (en los primeros 20 cm de profundidad) depende fundamentalmente de la posición topográfica (el mayor índice de sitio se presenta en las posiciones de fondo plano y pendiente inferior o piedemonte), la presencia de viento (a mayor velocidad del viento, menor índice de sitio) y los contenidos de calcio. El algoritmo encontrado es:

$$IS = 15,509609 + 2,084607P_{Top} - 2,334711V_{viento} + 0,188707 Ca$$

donde:

P<sub>Top</sub> : 1 = Cima; 2 = Pendiente media; 3 = Pendiente inferior; 4 = Fondo plano

Viento: 1 = poco viento (no afecta el crecimiento); 2 = Moderado (afecta poco el crecimiento); 3 = muy ventosos (afecta el crecimiento)

Ca = cmol(+) L<sup>-1</sup> de suelo.

Stuhrman *et al.* (1994) encontraron en Inceptisoles (suelos marrones) y Ultisoles (suelos rojos) de la zona norte de Costa Rica<sup>2</sup> una correlación positiva entre el tiempo de uso de la tierra como pastizales y la densidad aparente, los contenidos de aluminio en el suelo y el crecimiento de la melina.

El estudio permitió a estos autores definir algoritmos que permiten explicar el incremento en altura:

INCR = 116 – 53 Da – 0,7 Sat. Al (30 cm) (r<sup>2</sup> = 0,82, P < 0,05) en Inceptisoles

INCR = 14 + 0,6 grosor hor. A + 25 K/Mg (r<sup>2</sup> = 0,75, P < 0,001) (Ultisoles)

También: INCR = 80 + 0,6 grosor hor. A + 40 K/Mg – 60 Da (r<sup>2</sup> = 0,91, P < 0,001)

INCR = Incremento en altura; Da = densidad aparente; Sat. Al = Saturación de Aluminio; hor. = horizonte

Según Stuhrman *et al.* (1994), dentro de las parcelas estudiadas, la melina que crecía en suelos rojos (Ultisoles) o marrones (Inceptisoles), mostró irregularidades de crecimiento similares. Sin embargo, los datos revelaron que la disminución de crecimiento en sitios a mitad de la pendiente tenía causas diferentes en los dos tipos de suelos. Los suelos rojos mostraron mayores contenidos de cal dolomítica, lo que reduce la toxicidad por Al pero aumenta o induce deficiencias de K. En las posiciones en pendiente, gran parte de la materia orgánica del suelo, el depósito para la mayoría de los nutrientes para las plantas, se pierde por la erosión. El espesor variable de la capa húmica del suelo y la relación K/Mg pudo explicar 75% de la variabilidad de crecimiento de la melina en los suelos rojos.

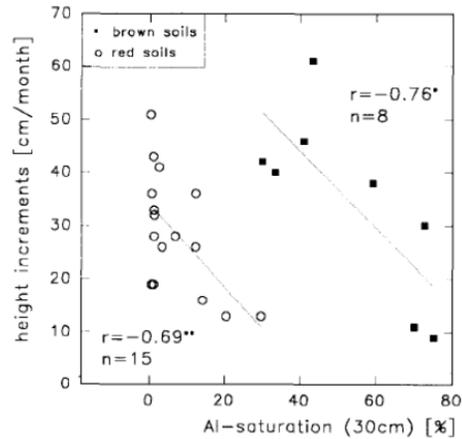
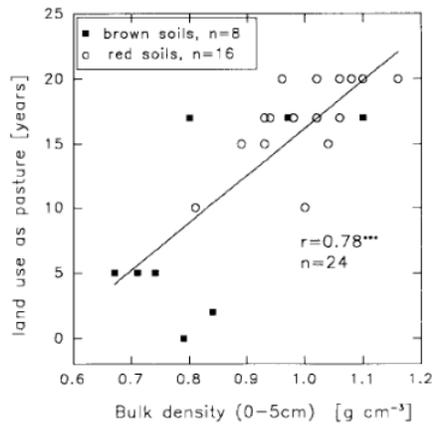
La inclusión de la densidad aparente se tradujo en un modelo que explica el 91% de la variabilidad del crecimiento. En suelos marrones (Inceptisoles) la saturación de Al y la densidad aparente, como parámetro de la compactación, juntos explicaron el 82% de las irregularidades de crecimiento del árbol.

Los autores concluyeron que en proyectos de reforestación en los suelos degradados en Costa Rica, para evitar desequilibrios en las relaciones K/Mg y K/Ca, dado que estos son suelos pobres en K, se recomienda hacer aplicaciones de cal; cada aplicación debe ir acompañado de una fertilización potásica. Los suelos deben ser monitoreados regularmente para conocer el estatus de las relaciones K/Mg y K/Ca (análisis de suelos). En las pendientes escarpadas no se debe plantar melina ya que su sistema radicular es poco profundo y su demanda de N y K es demasiado alta para estos sitios. *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tiene raíces más profundas, una menor demanda de N, y una tolerancia superior al aluminio.

El crecimiento de los árboles en suelos rojos depende principalmente del espesor de la capa A (húmica), que se erosiona en parte en sitios inclinados. El desequilibrio en la relación K/Mg produce deficiencias de K que afectan el crecimiento afectando el crecimiento de los árboles. La relación K/Mg es menor en las zonas en pendiente, afectadas además por una mayor densidad aparente, como un indicador de la influencia negativa del pisoteo de ganado.

---

<sup>2</sup> Las plantaciones incluidas en este estudio se encuentran en las tierras bajas del Atlántico de Costa Rica en alturas inferiores a 300 m sobre el nivel del mar, generalmente a aproximadamente 100 m por encima del nivel del mar. El paisaje es ondulado con terrazas, en parte, con fuertes pendientes (máximo 36°). Antes de la reforestación la tierra fue utilizada para el pastoreo de ganado, por más de 20 años. El material parental del suelo son lahares de finos a grueso, coladas basálticas y andesíticas, del Plioceno –Pleistoceno, con inclusiones volcánicas del Terciario. Las condiciones climáticas son húmedas con una precipitación anual de 2200-4500 mm, una estación seca relativa (más de 200 mm por mes) entre enero y mayo, y temperaturas medias anuales superiores a los 25° C.



Relación entre el uso anterior y la densidad aparente del suelo

Relación entre el incremento en altura de melina y la saturación de aluminio en los primeros 30 cm de profundidad del suelo

Fuente: Stuhrman et al. (1994)

En los suelos pardos, otros factores además de las reservas de macronutrientes son responsables de retraso en el crecimiento de melina. La saturación de aluminio en el suelo, que a media ladera alcanza el 80%, restringe la absorción de nutrientes y el crecimiento. Otro factor importante es la densidad aparente, que está altamente correlacionado con la estructura y el sistema de poros del suelo.

Agus et al (2001) en un estudio sobre las relaciones del índice de sitio y la producción de biomasa de melina, en una región tropical<sup>3</sup>, en rotaciones cortas, encontraron que el crecimiento de la especie es altamente dependiente del sitio; la altura dominante, a los seis años alcanzó los 18 metros (mejores sitios, o sitio I), en el sitio considerado medio alcanzó los 15 metros y en los considerados sitios malos solo alcanzó 12 metros; la curva de crecimiento comenzó a mostrar tendencia sigmoideal a partir de cuarto año de vida (figura 10); de acuerdo con estos autores, el crecimiento de melina es muy rápido durante los primeros 6 años y disminuye considerablemente a partir del 7 año; el crecimiento medio anual puede alcanzar los 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en los sitios buenos, 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en los sitios medios y solo 12 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en los sitios malos.

El incremento medio anual varió en un intervalo de 5-50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Agus 2001), dependiendo de la productividad del sitio. La producción de biomasa y de madera al final de la rotación (6 años de edad) fue de 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 40 Mg ha<sup>-1</sup>, para el sitio pobre; de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 80 Mg ha<sup>-1</sup> para el sitio medio y 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 120 Mg ha<sup>-1</sup> para el mejor sitio, respectivamente. La disponibilidad de nutrientes del suelo es importante para el crecimiento vegetal y la producción total de plantaciones forestales como la melina. La biomasa aérea por hectárea al final de la rotación (6 años) fue de 86 Mg de materia seca, 46 Mg de C, 599 kg de N, 417 kg de K, 229 kg de Ca y 32 kg de Mg. La cosecha causó más de 60% de la biomasa de madera se pierde del ecosistema (cuadro 3).

<sup>3</sup> El sitio (Sebulu) está localizado a (00° 15'S, 117°00'E), en Surya Hutani Jaya, Kalimantan Oriental, Indonesia, a una altitud de 40 m sobre el nivel del mar, con clima húmedo tropical (Koppen) y suelos clasificados como Typic Hapludult (USDA). La precipitación media anual es de 2.101 mm con una estación relativamente seca (debajo de 100 mm mensual) entre agosto y septiembre (92-98 mm), con máximos en diciembre y enero (266-267 mm). La temperatura media anual es de 26,2° C, con temperaturas no menores de 22° C.

Agus (2001), para plantaciones de melina de 6 años desarrolló el siguiente sistema de ecuaciones para los sitios buenos, medios y malos:

$$Y(\text{sitios buenos}) = -0.147x^3 + 1.14x^2 + 0.85x + 1.73 \quad \text{con } R^2 = 0,998$$

$$Y(\text{sitios medios}) = -0.076x^3 + 0.46x^2 + 2.46x + 0.03 \quad \text{con } R^2 = 0,997$$

$$Y(\text{sitios malos}) = -0.035x^3 + 0.03x^2 + 3.06x - 0.6 \quad \text{con } R^2 = 0,999$$

Y = altura del rodal en metros

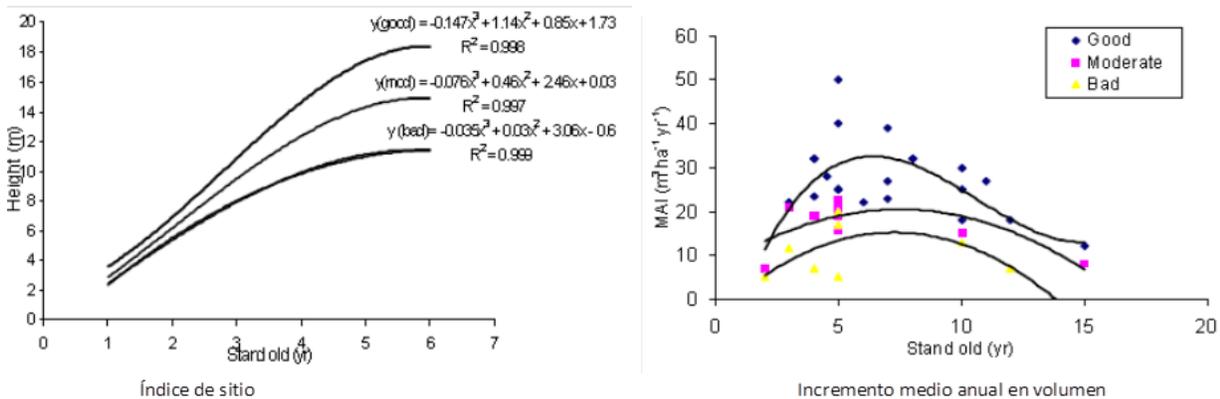
X = edad en años

Estos resultados no son diferentes de los encontrados por Soerianegara y Lemmens (1992) quienes reportaron que en condiciones favorables melina es capaz de alcanzar un incremento anual de 20-25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con algunos sitios con rendimientos por encima de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> con un máximo of 38 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. En suelos arenosos muy pobres se alcanzaron solo 84 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> después de 12 años, mientras que en sitios con suelos muy favorables se alcanzó una producción de 304 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a los 10 años.

Agus et al (2001) obtuvieron el siguiente algoritmo para describir el crecimiento en altura en función del pH, los contenidos de hierro y zinc y la relación de calcio más magnesio con el potasio:

$$H = 20,726 - 1,511(\text{pH}) - 0,0129(\text{Fe}) + 1,498(\text{Zn}) + 0,011(\text{Ca} + \text{Mg}/\text{K})$$

El pH afecta el Al, el Mn y el Ca; cuando aumenta el pH el Mn+2 se transforma en Mn+3 y Mn+4 que no son aprovechables por las plantas y se produce deficiencias de Mn. Bajo alta acidez se producen deficiencias de Ca, Mg y K.



**Figura 8. Índice de sitio e incremento medio anual en volumen de una plantación de 6 años de *Gmelina arborea* en Kalimantan Oriental**

Fuente: (tomado de Agus *et al* (2001).

Respecto a la altura dominante, esta muestra incrementos negativos con pH bajos y contenidos de hierro altos; los incrementos se hacen positivos con valores altos de CICE y la relación Ca/Mg (Zeazer y Murillo 1992)

$$\text{IMA Hd} = 34,103 - 5,073\text{pH} - 0,224\text{Fe} + 0,075\text{CICE} + 0,352\text{Ca}/\text{Mg},$$

(en suelos Dystrandepets), y

$$\text{IMA Hd} = 8,0605 - 0,0774 \text{ Sat. Ac.} - 0,0642 \text{ Mg}/\text{K} \text{ (en suelos Eutropepts)}$$

#### 4.5 Cultivo

Melina es una especie intolerante a la sombra y requiere un control estricto de la competencia de otras plantas (malezas) en las primeras etapas de su crecimiento. Se recomienda el “plateo” o limpieza de un anillo o plato alrededor de la planta de 40-60 cm de diámetro en los primeros meses y luego limpieza (eliminación de la competencia) ya sea manual (de alto costo, por el alto consumo de mano de obra), o mecanizada moto-guadaña o “chapeadora” mecánica.

La experiencia ha demostrado que uno de los factores más importante para lograr un rendimiento superior de la melina es una buen control de malezas durante los primeros años de la plantación y de esta manera reducir la competencia por recursos como luz, riego, nutrientes, oxígeno y la interferencia química; antes de la siembra y durante los tres primeros años, se recomienda la eliminación de la vegetación indeseable (dependiendo de las condiciones locales se pueden requerir entre dos y cuatro a seis limpieas anuales). Después del cierre de copas, la melina controla muy bien las malezas, lo cual facilita el manejo y disminuye la necesidad de eliminación manual de las malezas (figura 9).



**Figura 9. Chapeadora mecánica y Disminución de sotobosque por sombra de la plantación adulta**

Fuente: elaboración propia

Otsamo et al. (1995) citados por Murillo y Alvarado (2012) indican que en programas de reforestación con *G. arborea* en suelos ácidos (pH 3,9-4,5, con 57% de arcilla) de Indonesia dominados por *Imperata cylindrica*, encontraron que al comparar la preparación total del terreno con la adición de herbicida con o sin fertilizante (60 g de 15:15:15 por plántula al trasplante y 150 g adicionales 18 meses después de la siembra), los tratamientos que eliminaron la gramínea por completo, en especial cuando se adicionó fertilizante para mejorar la calidad del suelo, permitieron obtener crecimientos de *G. arborea* estadísticamente superiores a cualquier otro tratamiento comparado (cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la preparación del suelo y control de malezas en el crecimiento de melina			
Tratamiento	Altura (m)	DAP (cm)	Diámetro copa (m)
Arado total + NPK	10,4	9,9	3,4
Arado total + NPK	8,9	7,7	3
Herbicida + NPK	89,8	8,2	3
Herbicida + NPK	6,8	5,5	2,6
Fuente: Otsamo et al. 1995			

El control de malezas puede hacerse de forma manual (machetes, guadañas, de alto costo por la intensidad de mano de obra) o utilizando fuerza mecánica (motoguadañas, o desmalezadoras tiradas por tractores agrícolas); también se emplean herbicidas químicos<sup>4</sup> (pre-emergentes y post-emergentes o de mantenimiento), los cuales dependiendo de la agresividad de las malas hierbas, deben aplicarse una o varias veces por año. Las aplicaciones pueden hacerse manualmente con bombas de espalda, o en forma mecánica con bombas tiradas por tractores agrícolas; en todos los casos los operarios deben estar protegidos.

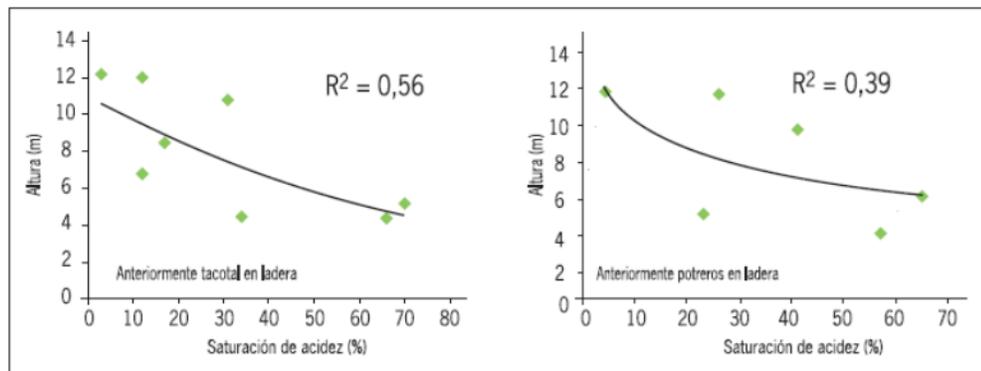
#### 4.6 Enmiendas al suelo: corrección de acidez y fertilización

##### 4.6.1 Acidez del suelo y enmiendas al mismo

La acidez de los suelos constituye un problema de importancia en la producción agrícola y forestal de Costa Rica. La acidez afecta de una forma muy particular y determinante algunas de las características químicas y biológicas del suelo, de modo que en general, reduce el crecimiento de las plantas, ocasiona la disminución de la disponibilidad de algunos nutrimentos como calcio, magnesio, potasio y fósforo; y favorece la proliferación de elementos tóxicos para las plantas como el aluminio y el manganeso. El encalado junto con la siembra de especies tolerantes constituyen las prácticas más apropiadas y económicas para corregir los problemas de acidez.

Murillo y Alvarado (2012) indican que el crecimiento de *G. arborea* se ve afectado negativamente por incrementos en el grado de saturación de Al en el suelo (figura 10), problema asociado a otros desórdenes nutricionales como bajos contenidos de P disponible y bases intercambiables en el suelo (Zeazer y Murillo 1992; Calvo y Camacho 1992; Stuhmann *et al.* 1994; Zech 1994).

<sup>4</sup> Cuando se utilizan productos químicos se debe atender a las regulaciones nacionales vigentes para la manipulación y aplicación de productos peligrosos, establecidas por el Ministerio de Agricultura, el Ministerio de Salud y el Ministerio del Ambiente, especialmente en lo relacionado con el uso de equipo de protección (mascarillas, guantes, lentes, casco para la protección de la cabeza, trajes impermeables, botas de seguridad impermeables y otros), regulaciones de fumado, tipo de herbicidas (solo los autorizados por el Ministerio de Agricultura y en caso de operaciones certificadas, cumplir con las regulaciones establecidas por el sistema de certificación). También se deben seguir las regulaciones relacionadas con la manipulación y limpieza del equipo de aplicación, incluyendo el triple lavado y la reutilización del agua utilizada para lavar los implementos. También deben seguirse las regulaciones establecidas para la disposición (recuperación y reciclado) de los envases.



**Figura 10. Efecto de la saturación de acidez sobre la altura de árboles de melina de 2 años en terrenos de ladera anteriormente bajo cobertura de tacotal o pasto.**

Fuente: tomado de Murillo y Alvarado (2012).

En la zona Norte de Costa Rica (Stuhrmann et al. 1994) encontraron que el efecto de la acidez es particularmente importante en Inceptisoles en los cuales la saturación de Al es muy elevada, afectando el crecimiento de la especie<sup>5</sup>.

Se ha relacionado altos niveles de acidez con la presencia de enfermedades que afectan a melina, entre ellas la *Nectria* spp. como posible causante de su principal problema fitosanitario (Arguedas et al., 1995; Arguedas et al., 1997; Arguedas et al, 2004). Específicamente, se tiene registros de la enfermedad desde los 7 meses de edad, que causan la pudrición total del tronco en pocas semanas (Arguedas et al. 1997).

#### 4.6.2 Absorción de nutrimentos

El sistema radicular de melina es superficial (figura 11) y puede extenderse hasta 120 cm de profundidad y 200 - 250 cm de la base del árbol, el 74% de las raíces finas absorbentes de la especie (<2 mm de diámetro) se encuentran en los primeros 20 cm en Ultisoles del bosque húmedo del sureste de Nigeria (Ruhigwa et al. 1992)<sup>6</sup>. Se requiere mantener el horizonte A del suelo para favorecer la absorción de nutrimentos por esta especie.



**Figura 11. Sistema radicular superficial de melina en Puerto Viejo de Sarapiquí**

Fuente: elaboración propia

En plantaciones de melina de

<sup>5</sup> Molina y Alvarado (2012) indican que en general, cuando el pH (en agua) del suelo se encuentra entre valores de 5,5-6,5, se logra una buena nitrificación y un buen suministro de Ca y Mg, con pocos problemas de deficiencias de elementos menores como Fe, Mn, Cu y Zn y una disponibilidad de P adecuada. Cuando los valores de pH son inferiores a 5,5, las condiciones de acidez recrudecen, al presentarse con frecuencia toxicidades de Al, Fe y Mn, así como deficiencias de Mo y P, elementos que precipitan en conjunto con los óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Sarmiento 1984). Es bajo estas condiciones que se requiere del encalado y otras prácticas de manejo de suelo que permitan corregir los problemas mencionados, para las especies que así lo requieran. La acidificación reduce la disponibilidad de nutrimentos del suelo (P, K, Ca y Mg), provoca la movilización de elementos tóxicos como el Al, incrementa la movilidad de metales pesados y provoca variaciones en la estructura de la microflora y microfauna.

<sup>6</sup> Observaciones del autor en plantaciones sobre inceptisoles y entisoles en Costa Rica mostraron que el sistema radicular (hasta 60% del total de raíces se localiza en los primeros 20-30 cm del suelo.

1 a 6 años de edad en suelos lateríticos de India Central, Swamy *et al.* (2004) encontraron que la acumulación de nutrimentos siguió el mismo patrón de la biomasa con la edad de los árboles; en la plantación de 6 años la cantidad acumulada promedio de N, P y K ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) fue de 238,4, 16,8 y 189,9, respectivamente. El cuadro 5 presenta la composición de la biomasa y el mantillo en una plantación de melina de seis años en Brasil y el cuadro 6 la composición porcentual de nutrimentos en una plantación de 20 años de edad de *G. arborea* en Tripura, India; la figura 12 presenta las curvas de absorción de nutrimentos por *G. arborea* en plantaciones en Colombia (Rodríguez 2006).

Componente	Peso seco	N	P	K	Ca	Mg
	$\text{kg ha}^{-1}$ (%)					
Follaje	1100 (2)	24 (16)	4 (8)	10 (10)	4 (6)	4 (8)
Ramas	1900 (3)	14 (9)	4 (8)	12 (13)	5 (8)	4 (8)
Fuste	43200 (74)	48 (32)	9 (18)	52 (54)	9 (15)	15 (31)
Corteza	6700 (11)	42 (28)	5 (10)	19 (20)	25 (40)	16 (33)
Mantillo	2700 (5)	24 (16)	27 (55)	3 (3)	19 (31)	9 (19)
Total	58600	152	49	96	62	48

Fuente: tomado de Murillo y Alvarado (2012), adaptado de Salas (1987)

Componente	Distribución nutrimentos en tejidos (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Follaje	18	10	5	10	11
Corteza	17	9	10	28	19
Fuste	37	69	66	41	44
Otros	28	12	19	21	26
Total ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	350	58	486	658	91

Fuente: adaptado de Totel (1992) citado por Murillo y Alvarado (2012)

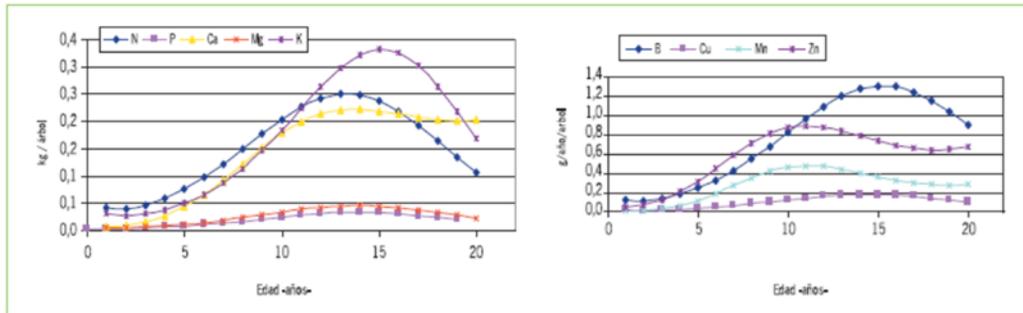
Como puede deducirse de las cifras en los dos cuadros, el total de nutrimentos extraídos por la cosecha es bastante bajo; la especie requiere  $\text{N} \gg \text{K} > \text{Ca} > \text{P} = \text{Mg}$ , aunque si se observan cuidados especiales, se puede reciclar parte de ellos en los raleos y cosecha, pues el contenido de elementos en el tronco es relativamente bajo con relación al total absorbido; dos cuidados que deben tomarse son:

- i. No permitir perturbaciones violentas o retiro del mantillo, y
- ii. Dejar en el sitio el follaje y las ramas delgadas para permitir la restitución de nutrimentos presentes en las mismas;
- iii. Dependiendo del estatus inicial de nutrimentos en el suelo, para la segunda rotación será necesario hacer adiciones mediante fertilizantes, para asegurar una buena cosecha.

Murillo y Alvarado (2012) indican que los árboles jóvenes de melina tienen una demanda alta por K y su absorción no depende solamente del aporte de la materia orgánica, sino también de la inhibición de su absorción causada por elementos tóxicos como Al o Mn, o por factores físicos de compactación causada

por el uso anterior del suelo (Stuhrmann et al. 1994). Los mismos autores indican que en Inceptisoles ácidos, las altas saturaciones de Al inhiben la absorción de N y P.

La figura 12 muestra la alta demanda de macro-nutrientes a partir del quinto año y hasta los 17 años, lo que podría indicar una pauta para la suplementación vía fertilización, en caso los suelos sobre los que crecen las plantaciones no dispongan de las cantidades adecuadas de estos. Adicionalmente, es claro que deficiencias en B, como podría presentarse en andepts y otros suelos, es necesario suplementarlas para no afectar el crecimiento de los árboles.



**Figura 12. Absorción de nutrientes en plantaciones de *G. arborea* en Colombia** (tomado de Rodríguez 2006).

Deficiencias de nutrientes (especialmente K, P, Ca, Mg) en el suelo, o contenidos menores a los retirados por la cosecha de madera, pueden afectar la siguiente rotación, por lo que deben adoptarse medidas de aprovechamiento que favorezcan la restitución de los mismos, dejando las ramas y hojas en el sitio de aprovechamiento (cuadro 7).

Cuadro 7. Rangos y valores medios de contenidos foliares de nutrientes en plantaciones de melina de 3 años de edad en la zona norte de Costa Rica, al finalizar la temporada relativamente seca.

	N	P	S	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Cu	K/mg
	%						mg kg <sup>-1</sup>				
Mínimo	1,1	0,07	0,08	0,2	0,4	0,3	72	40	50	4,0	0,2
Máximo	3,7	0,22	0,22	1,5	4,0	1,2	768	300	270	14,0	4,5
Medio	2,5	0,15	0,15	0,8	1,7	0,6	185	115	95	7,0	2,0

Fuente: tomado de Stuhrmann et al (1994)

#### 4.6.3 Nutrición y crecimiento de melina

En Costa Rica melina es una especie adaptada a condiciones de suelo neutro a básico, de manera que el crecimiento se ve favorecido al aumentar los contenidos de bases cambiables en el suelo (Murillo y Alvarado 2012), creciendo normalmente cuando el contenido de Ca oscila entre 6,0 y 22,3 cmol (+) L<sup>-1</sup>, Mg entre 1,6 y 6,7 cmol (+) L<sup>-1</sup> y K entre 0,5 y 0,7 cmol (+) L<sup>-1</sup>, respectivamente, con un pH entre 5,7 y 6,4 en el trópico seco de Guanacaste, Costa Rica (Obando 1989; Vásquez y Ugalde 1995; Vallejos 1996). Crece mejor cuando las concentraciones disponibles de los elementos oscilan entre 18-23 cmol (+) L<sup>-1</sup>, 6,2-6,7 cmol (+) L<sup>-1</sup> y 0,3-0,7 cmol (+) L<sup>-1</sup> de Ca, Mg y K respectivamente (Vallejos 1996).

Murillo y Brenes (1997), encontraron que las características químicas más que las físicas del suelo entre 15 y 30 cm de profundidad de Inceptisoles y Entisoles de Costa Rica, ejercen un efecto significativo en el

crecimiento inicial de la melina y que déficits altos de humedad y altos contenidos de aluminio son un factor crítico negativo para el crecimiento de la especie.

En las zonas Norte y Sur de Costa Rica, en suelos ácidos, la especie crece mejor cuando se eleva el contenido de P en el suelo y disminuye el porcentaje de saturación de acidez de 75% a 7% (Calvo y Camacho 1992; Stuhmann *et al.* 1994; Zech 1994). En Ultisoles ácidos de Nigeria, Ruhigwa *et al.* (1992) encontraron que la mayoría de las raíces finas de melina se encuentran en los primeros 20 cm del suelo y que en sistemas agroforestales compite fuertemente por humedad y nutrimentos con los cultivos.

Stuhmann *et al.* (1994) encontraron que el crecimiento de los árboles plantados en suelos en pendientes pronunciadas y en terrenos sometidos a pastoreo de vacunos por períodos de más de 10 años, se ve afectado por la erosión del horizonte A y el lavado de bases (en particular K), las condiciones de compactación y relaciones K/Mg negativas para el crecimiento de la especie (cuadro 8); esto coincide con los resultados obtenidos por otros autores (CATIE 1986; Nwoboshi (1994); Vazquez y Ugalde (1995)), que indican que el mejor crecimiento de la especie se presenta en zonas planas, fondos de valle y perfiles cóncavos, bien drenados, que presentan posiblemente mayores contenidos de humedad y acumulación de materia orgánica.

Posición	N	P	S	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	Cu	K/mg
	%						mg kg <sup>-1</sup>				
Cima	3,2a	10,19a	0,19a	1,0a	1,3c	0,3a	145a	152	107	9,1c	3,2a
Media pendiente	1,8b	0,13b	0,12b	0,4b	2,3d	0,9b	312b	122	132	5,8d	0,7b
Nivel crítico	<2,5	<0,15	<0,13	<0,8			>200				<2

Fuente: tomado de Stuhmann et al (1994)

#### 4.6.4 Reciclaje de nutrimentos por los árboles de melina

*G. arborea* es una especie caducifolia (Troup 1921; Webb et al 1984; CATIE 1986) aun en regiones donde llueve permanentemente, por lo que la contribución de sus hojas y ramas y otros tejidos al mantillo y al reciclaje de nutrimentos ocurre durante todo el año.

La melina se caracteriza por aportes grandes de hojarasca, especialmente en la época seca de los sitios donde ha sido plantada. Adu-Anning *et al.* (2005) indican que en plantaciones de más de 25 años en Nigeria, los aportes totales anuales de hojarasca varían entre 580 y 1011 kg ha<sup>-1</sup>, en un sitio caracterizado por una precipitación que varía entre 881 mm año<sup>-1</sup> y 2180 mm año<sup>-1</sup> y una temperatura promedio anual de 26,5° C (19,5° C y 32,5° C), con suelos profundos, bien drenados franco arcillo arenosos (cuadro 9).

Estos autores (Adu-Anning et al. (2005)), encontraron que la caída de hojas (el mayor componente) y ramillas durante el año varió entre 1,2 t ha<sup>-1</sup> y 8,1 t ha<sup>-1</sup> en plantaciones de seis años; las cantidades de N, P, K, Ca y Mg que retornaron al suelo fueron de 106 kg ha<sup>-1</sup>, 11 kg ha<sup>-1</sup>, 117 kg ha<sup>-1</sup>, 76 and 32 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente; más del 60% del total ocurrió durante la estación seca. El patrón de transferencia de las hojas al suelo mostró que todos los nutrimentos, excepto el calcio, fueron regresados, lo que implica que para reducir el impacto del aprovechamiento (extracción de la madera) en el estatus de los nutrimentos en el sitio, y asegurar la producción sostenible de madera, el aprovechamiento debe realizarse en la época en que los nutrimentos están en menor cantidad en las hojas.

Cuadro 9. Aportes anuales de fracciones hojarasca (kg ha<sup>-1</sup>) en rodales de diferentes edades de Gmelina arborea en la Reserva Forestal Shasha en Nigeria.

Fracción	29 (años)	28 (años)	27 (años)
Hojas	798,86	590,85	449,05
Ramas	98,44	95,14	86,28
Estructura reproductivas	110,75	105,84	44,27
Otros (residuos no identificados)	3,1	3,21	3,03
	1011,15	795,04	582,63

Fuente: Adu-Anning *et al.* (2005).

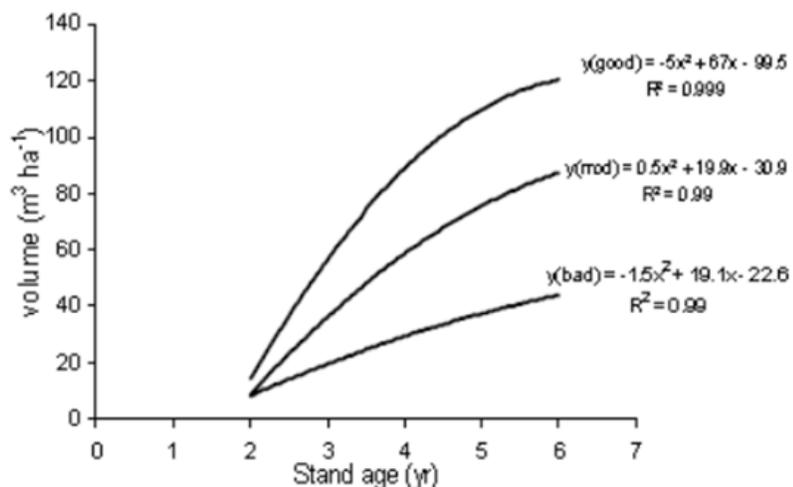
Haag (1983) y Agus *et al.* (2001), hacen referencia a la extracción mineral en función de la producción de madera de *G. arborea*, lo cual constituye un parámetro necesario de comparación al estimar las necesidades de fertilizantes (cuadro 10).

Cuadro 10. Contenido (% peso seco) de nutrimentos en madera de *G. arborea* en diferentes suelos y edades (Chijioko 1980, mencionado por Haag 1983)

Tipo suelo	Madera t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Edad	N	P	K	Ca	Mg	Total
		años	peso seco total (5)					
Nigeria								
Nitosol dístico (Tropodult)	9,3	5-6	0,25	0,02	0,53	0,10	0,15	1,05
Nitosol dístico (Tropodult)	5,3	14-15	0,19	0,02	0,2	0,19	0,08	0,68
Luvisol férrico (Tropodalf)	20,8	5-6	0,30	0,04	0,76	0,40	0,04	1,54
Luvisol férrico (Tropodalf)	11,6	12-13	0,22	0,02	0,59	0,45	0,03	1,31
Brasil								
Nitosol dístico (Tropodult)	13,2	5-6	0,20	0,25	0,17	0,15	0,06	0,72
Arenosol férrico (Typic Ustipsamme)	7,2	5-6	0,23	0,04	0,17	0,08	0,07	0,59

Fuente: Adaptado de Murillo y Alvarado (2012).

Agus *et al.* (2001) indican que un 38% de los nutrimentos absorbidos son recirculados por la hojarasca y ramas; el total de nutrimentos requeridos para la producción de biomasa en un sitio de crecimiento moderado fueron, al final del periodo de seis años, 1.115 kg de N; 127 kg de P; 626 kg de K; 763 kg de Ca y 59 kg de Mg. La biomasa sobre el suelo al cabo de los seis años fue de 86 Mg de materia seca, 46 Mg de carbono, 599 Mg de N, 417 Mg de K, 229 Mg de Ca y 32 Mg de Mg. La absorción anual de nutrimentos por las especies de crecimiento rápido en el trópico fue de 12 Mg de C y 186, 21, 104, 127, y 10 kg de N, P, K, Ca y Mg respectivamente. Esta es la razón por la que los autores indican la necesidad de aplicar fertilizantes a las plantaciones para sostener la productividad. La Figura 13 presenta los modelos encontrados por Agus *et al.* (2001) para la producción de biomasa ( $R^2 = 0,99$ ).



**Figura 13. Producción de biomasa en una plantación de 6 años de Gmelina arborea en Kalimantan Oriental**

Fuente: tomado de Agus *et al.* (2001)

Según Negi *et al.* (1990) en una plantación de 20 años en la India encontraron una producción de 8,2 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de hojas; el 2,4% del total de la biomasa de melina corresponde a las ramas y un 5% en las ramas delgadas (ramillas), mientras que el 74% de la biomasa corresponde al fuste, mientras que el 21% de la biomasa corresponde a la biomasa radicular (cuadro 11).

Cuadro 11. Contenido de nutrimentos en una plantación de G. arborea de 20 años (Negri <i>et al.</i> 1990)					
Tejido	Nutrimentos (kg ha <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg
Hojas	64	6	24	64	10
Ramillas	34	2	42	64	10
Ramas	62	9	50	71	14
Corteza	60	5	51	190	17
Tronco	130	40	319	269	40
Raíces	70	12	73	87	23
Total	420	74	559	745	114

Fuente: tomado de Murillo y Alvarado (2012)

#### 4.6.5 Niveles de deficiencias a nivel foliar

Evans (1979) reporta que las concentraciones de N, P, Zn y B en las hojas de melina disminuyen al aumentar la sombra, mientras que los contenidos de Fe y Ca aumentan y no encontró correlaciones para el K y el Mg permaneció casi constante; esta es la razón por la que al muestrear follaje de melina se debe seleccionar tejido nuevo, totalmente desarrollado, del tercio superior de la copa, de árboles que no estén fructificando (Brunck (1987), citado por Murillo y Alvarado (2012)).

Stuhrmann *et al.* (1994) indican que es poco lo que se conoce del contenido de minerales en melina, por lo que recomiendan tomar con cuidado los datos presentados por Drechsel y Zech (1991), a lo que Murillo y Alvarado (2012) añaden (cuadro 12) la información de Boardman *et al.* (1997).

Cuadro 12. Niveles foliares de nutrientes en plantaciones de melina			
Elemento	Deficiente	Marginal	Adecuado
N (%)	1,39	2	2,01 - 3,92
P (%)	0,05	0,08 - 0,11	0,12 - 0,36
K (%)	0,29	0,49 - 0,7	0,71 - 1,6
S (%)			0,1
Ca (%)			0,53 - 2,2
Mg (%)			0,19 - 0,94
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )		2	4 - 19
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	6	14 - 19	20 - 80
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )			22 - 205
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )			40 - 600
Al (mg kg <sup>-1</sup> )			68 - 183
B (mg kg <sup>-1</sup> )	3 - 10		20 - 64

Fuente: tomado de Murillo y Alvarado (2012), adaptado de Drechsel y Zech 1991 y Boardman *et al.* 1997.

A su vez, Stuhrmann *et al.* (1994) relacionaron los contenidos foliares de elementos con el crecimiento en altura de la melina, llegaron a definir niveles críticos para algunos de esos elementos. Así que el poco crecimiento en suelos ácidos se debe a deficiencias en elementos esenciales, particularmente debido a la baja relación K/Mg.

Se ha reportado la existencia de una relación directa entre la disponibilidad de nutrientes en el suelo y el pH. También se ha informado que el pH ejerce una gran influencia en el intercambio de equilibrio de iones del suelo debido a sus efectos sobre la erosión, la mineralización de la materia orgánica y la movilización de nutrientes. Nwoboshi (2000) reporta que nutrientes como N, P, K, Ca y Mg están más disponibles cuando el pH del suelo varía entre 6,5 y 7,5. El crecimiento obtenido por Adekunle *et al.* (2011) en Nigeria fue bastante satisfactorio (ver cuadros ), sobre suelos con pH que variaba entre 6,47 y 7,47, niveles para los cuales Onyekwelu (2002) indica los nutrientes se encuentran disponibles a su capacidad máxima.

#### 4.6.6 Síntomas foliares de deficiencias de nutrientes

Azofeifa *et al.* (2003) documentaron los síntomas de las deficiencias de elementos, mediante la técnica del elemento faltante (cuadro 13). Otros autores (Evans 1979, Stuhrmann *et al.* (1994)) han documentado las deficiencias en *G. arborea*, indicando la correlación entre las deficiencias mostradas en las hojas y su correlación con el crecimiento de las plantaciones.

**Cuadro 13. Síntomas de deficiencias de nutrimentos en hojas de melina**

N	El follaje muestra poco desarrollo seguido de una clorosis intervenal en las hojas más viejas. El sistema radical presenta poco crecimiento. La carencia de N no causa muerte de las plántulas.
P	El follaje muestra un color opaco con poco crecimiento y raíces largas muy delgadas, con colores morados y cafés.
K	Las plántulas deficientes en K presentan poco desarrollo foliar y radical. Además, se presenta un amarillamiento intervenal de la lámina foliar con tendencia a una quema en forma de moteos en toda la lámina. No se diferencian los síntomas entre las hojas jóvenes y las viejas
Ca	La deficiencia de Ca se marca con un amarillamiento del follaje y manchas cloróticas en los bordes de las hojas. Algunas plántulas presentan un leve enrollamiento de la hoja, del haz hacia el envés. El sistema radical presenta un desarrollo pobre y las raíces muestran un color negro con fácil desprendimiento, lo que causa la muerte de las plántulas.
Mg	Las plántulas presentan una clorosis generalizada de la lámina, con algunas partes de tono rojizo. Algunas raíces presentan coloración rojiza.
S	Las hojas presentan pequeñas quemaduras en los bordes, con algunas muestras de clorosis intervenal. El sistema radical es abundante y no presenta ninguna coloración especial.
Fe	Su deficiencia causa una quema en las puntas de las hojas y a nivel radical un necrosamiento de las raíces, lo que causa la muerte de las plántulas.
B	Esta deficiencia provoca un color verde claro o amarillento intenso en el follaje, con manchas de color café pardo distribuidas en toda la lámina. Las plántulas presentan un desarrollo radical pobre.
Mn	La deficiencia de Mn se manifiesta primero en las hojas más jóvenes con un tono verde más claro de lo habitual, el cual poco a poco se transforma en un color café claro. Posteriormente, las manchas cafés se desprenden provocando huecos en la lámina foliar. El desarrollo radicular no se ve afectado por la deficiencia de Mn.
Cu	La ausencia de Cu produjo una quema en los bordes de las hojas, la cual se extiende hacia el centro de la lámina foliar. El sistema radical no presenta mayor alteración ante esta deficiencia.
Mo	La deficiencia se presenta como una clorosis intervenal, lo que sucede con mayor frecuencia en las hojas más viejas. El sistema radical no presenta alteraciones ante la deficiencia de Mo.
Zn	La carencia de Zn provoca una clorosis intervenal, sin llegar a afectar el desarrollo de las raíces.

Fuente: tomado de Azofeifa *et al.* 2003

#### 4.6.7 Fertilización durante la vida de la plantación

No se dispone de información generada localmente sobre uso de fertilizantes durante la vida de la plantación; de manera general se conoce la influencia de la aplicación e dosis de 50 a 150 g de fertilizante NPK 15-15-15 que de acuerdo con Rojas y Murillo (2004) citados por Rojas *et al.* (2004) mejoró el crecimiento de plantaciones de un año.

Otsamo *et al.* (1995) citados por Murillo y Alvarado (2012) encontraron que aplicaciones de 60 y 150 g por árbol de un fertilizante comercial NPK (15-15-15), aplicados un mes y 18 meses después de plantar los árboles de melina, produjeron más del doble del área basal que los testigos, un crecimiento inicial más rápido y un incremento medio anual en volumen de 9,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Asimismo encontró que la preparación mecánica más la fertilización produjeron los mejores crecimientos, mientras que tratamientos con herbicidas y sin fertilizantes produjeron el crecimiento más pobre.

Las incorporaciones de P son esenciales para el buen crecimiento inicial de melina y por consiguiente cuando los suelos son pobres en este nutrimento, las aplicaciones de fertilizantes ricos en fósforo antes de la plantación son efectivas. En suelos pobres en nutrimentos y en particular P, normalmente se nota un mal crecimiento y desarrollo de la especie, tal como ocurre en terrenos abandonados, pastizales y en zonas secas donde la humedad se convierte en un factor limitante.

Un estudio realizado en Colombia (Barrios *et al.* 2011), en una plantación de *G. arborea* de 15 meses de edad, en el municipio de Coello, en el departamento del Tolima, localizada a N 4°17'3.80" a 4°16'54.31" y W 74°54'23.31" a 74°54'8.55" y a una altitud de 317 msnm<sup>7</sup>. El cuadro 14 presenta los tratamientos aplicados y el cuadro 15 los resultados del análisis de varianza; la figura 14, tomada de Barrios *et al.* (2011) muestra gráficamente los resultados.

Para el control de malezas se aplicó glifosato a razón de 3 litros por hectárea; la fertilización se hizo superficialmente al suelo, aplicados en corona alrededor de la base del árbol. Los resultados muestran que la aplicación de dosis altas de fertilizante presentaron los mayores incrementos en diámetro y volumen de la especie; la combinación de tres aplicaciones de herbicida con dosis altas de fertilización presentó los mayores incrementos medios en diámetro y volumen.

Cuadro 14. Tratamientos para control de malezas y fertilización en Coello, Tolima, Colombia					
Tratamiento	Dosis (g/árbol)	Fertilización			
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Mg
C1+Fb	baja	4	2	8	4
C1+Fm	media	15	8	30	17
C1+Fa	alta	60	30	120	68
C2+Fb	baja	4	2	8	4
C2+Fm	media	15	8	30	17
C2+Fa	alta	60	30	120	68
C3+Fb	baja	4	2	8	4
C3+Fm	media	15	8	30	17
C3+Fa	alta	60	30	120	68
C1 = Aplicación glifosato (3 l ha <sup>-1</sup> ) una vez en marzo					
C2 = Aplicación glifosato (3 l ha <sup>-1</sup> ) 2 veces: marzo y septiembre					
C3 = Glifosato (3 l ha <sup>-1</sup> ) 3 veces: marzo, septiembre y diciembre					
Fuente: tomado de Barrios <i>et al.</i> (2011)					

<sup>7</sup> La zona presenta un promedio de precipitación anual de 1149 mm, distribuidos de manera bimodal con precipitaciones concentradas en los meses de abril a mayo y octubre, con una temperatura media anual de 28,5°C; los suelos de la región son de origen aluvial, profundos, franco arenosos, con relieve ondulado, y pendientes menores al 12%. Un análisis realizado a una muestra de suelo tomada en los primeros 30 cm de profundidad permitió detectar deficiencias de nitrógeno (N), potasio (K) y magnesio (Mg), esta última determinada mediante la relación Ca/Mg; la información de suelos permitió establecer las dosis de fertilizantes aplicadas en el ensayo.

Cuadro 15. Incremento medio en diámetro, altura total, área basal y volumen total sin corteza.				
Tratamientos	IMA d (cm año <sup>-1</sup> )	IMA h (m año <sup>-1</sup> )	IMA g (m <sup>2</sup> árbol <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	IMA V (m <sup>3</sup> árbol <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
C1+Fb	5,12cde	4,484cde	0,011bcd	0,057ab
C1+Fm	5,719abc	4,647d	0,012ab	0,062a
C1+Fa	6,243a	5,219ab	0,013ab	0,062a
C2+Fb	4,816de	4,707d	0,010d	0,050b
C2+Fm	5,753ab	4,715d	0,012ab	0,066a
C2+Fa	6,051a	5,484a	0,013ab	0,068a
C3+Fb	5,39bcd	4,746d	0,012abc	0,064a
C3+Fm	5,873ab	4,879bcd	0,013ab	0,065a
C3+Fa	5,971ab	5,165abc	0,012ab	0,065a
Testigo	4,685	4,777	0,01	0,059
C1 = Aplicación glifosato (3 l ha <sup>-1</sup> ) una vez en marzo				
C2 = Aplicación glifosato (3 l ha <sup>-1</sup> ) 2 veces: marzo y septiembre				
C3 = Glifosato (3 l ha <sup>-1</sup> ) 3 veces: marzo, septiembre y diciembre				
Fuente: tomado de Barrios <i>et al.</i> (2011)				

En conclusión: plantar melina en forma exitosa exige el conocimiento adecuado y profundo de las condiciones del sitio, especialmente del estatus de nutrientes; deficiencias de nutrientes causadas por suelos empobrecidos (por el uso anterior o erosionados), el lavado debido a regímenes de precipitación altos, o deficiencias debidas a falta de lluvias, alta acidez e inmovilización de algunos nutrientes, o falta natural de algunos de ellos, debe ser suplementada con prácticas de fertilización debidamente programadas. Esto hace que el monitoreo de la fertilidad, a través del análisis de suelos, sea una práctica necesaria para asegurar el éxito de las plantaciones.

#### 4.7 Erosión

De manera general se ha criticado los monocultivos por motivos ambientales; en el caso de melina se ha indicado que las plantaciones dan como resultado remoción de los suelos (dejando las raíces al descubierto), particularmente cuando se planta en pendientes fuertes (CATIE 1986), donde ya existía erosión producto del uso anterior (ganadería sin prácticas de conservación de suelos). En Costa Rica Ladrach (2009) indica que habido críticas severas sobre los pinos tropicales, los eucaliptos, *Gmelina arborea*, y *Acacia mangium*, además de la teca. Una crítica común es que se destruyen los bosques naturales cuando se hacen plantaciones forestales comerciales. La realidad es que la mayor parte de las plantaciones establecidas el trópico han utilizado sitios marginados para la agricultura o tierras degradadas por el sobrepastoreo, especialmente en la Provincia de Guanacaste en el Pacífico.

Contrario a sus opositores, el Smithsonian Tropical Research Institute reporta que melina ha sido introducida en la zona del canal de Panamá como especie controladora de la erosión, por su rápido crecimiento, además es fácil de cultivar por pequeños agricultores y en áreas donde se requiere producción de madera en ciclos cortos.

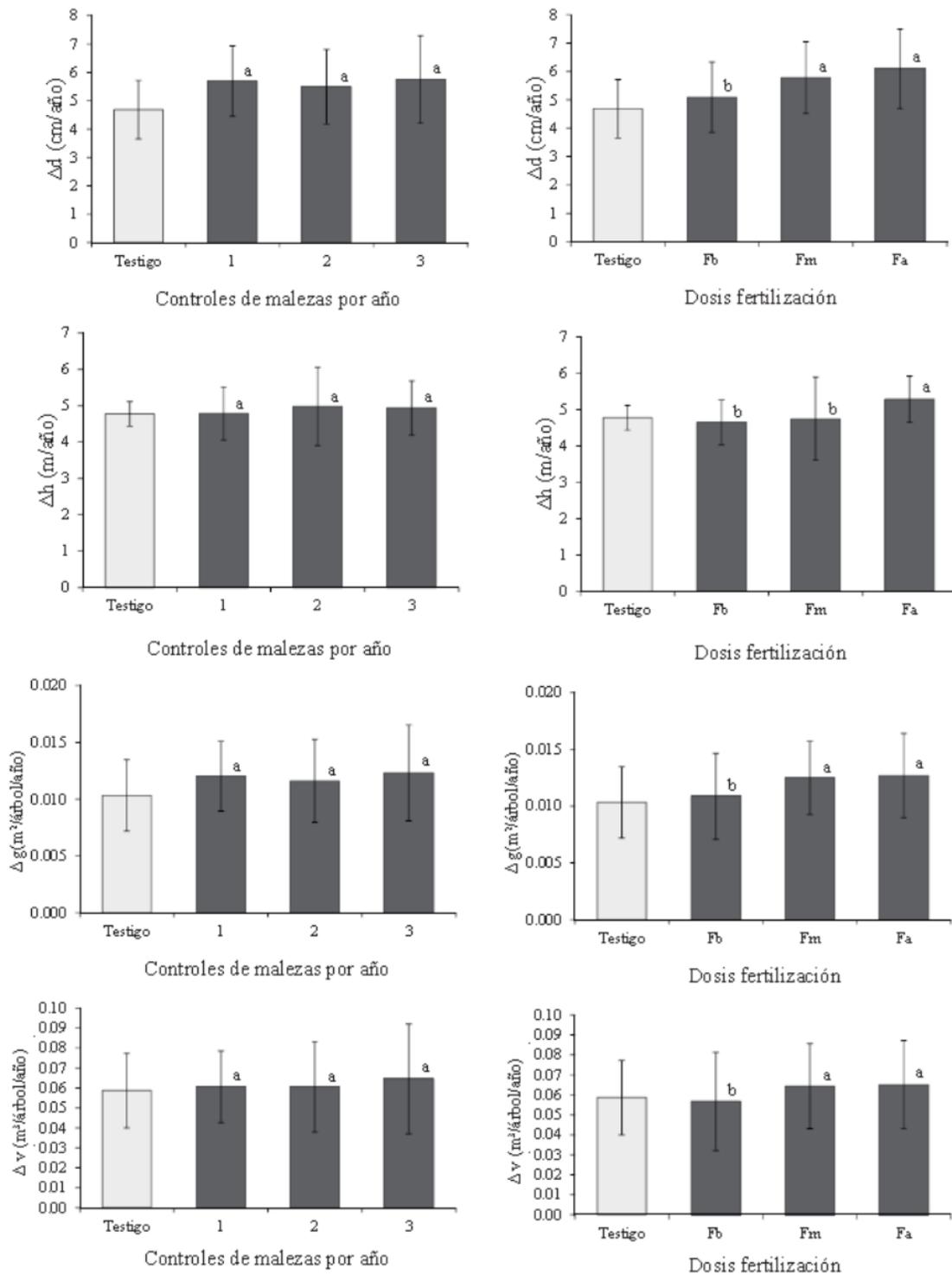


Figura 16. Comparación del incremento medio para los tratamientos de control de maleza y dosis de Fertilización en melina en Coello (Colombia).

Fuente: Tomado de Barrios *et al.* (2011)

## 5. Manejo

### 5.1 Densidad de plantación

Hasta finales del siglo XX, en plantaciones comerciales, se usaban espaciamientos de 2,5 m x 2,5 m; 3 m x 3 m; 3,5 m x 2,8 m; 4 m x 2,5 m, es decir densidades iniciales que fluctuaban entre 1600 y 1000 árboles ha<sup>-1</sup> (Lamb 1968; Rojas y Murillo 2004); Jiménez et. al. (2008); Jimenez (2014) Actualmente la definición del espaciamiento de plantación es una decisión económica que depende de:

- i. el objetivo final de la plantación, el tipo de material utilizado (de semillas o clones),
- ii. el ciclo de corta considerado, la asociación o no con otras especies y cultivos al inicio de la plantación, la topografía, la utilización de maquinaria para las labores de mantenimiento y otros factores locales;

Espaciamientos de 3,5 m x 3,5 m; 4 m x 3 m; 4 m x 4 m, son comunes en plantaciones puras; si se establece combinada con cultivos agrícolas (sistema taungya), es posible que el espaciamiento entre filas sea mucho más amplio para dar espacio al cultivo agrícola.

La utilización de espaciamientos exige, entre otros:

- i. Mercado y tipo de producto requerido asegurado: madera para aserrado, producción de tableros, producción de tarimas u otros usos;
- ii. Uso de material mejorado (semillas de huertos semilleros reconocidos o material clonal, de probada calidad), que asegure altos rendimientos y resistencia a plagas y enfermedades;
- iii. Preparación intensiva del suelo, control de malezas y control de riesgos de plagas, enfermedades y desastres naturales;
- iv. Cercanía a vías de comunicación y planificación adecuada de la red de vías de extracción para minimizar los costos de aprovechamiento, incluyendo disponibilidad de mano de obra.

Un experimento realizado en el Centro Experimenta Forestal Tropical “Ing. Eduardo Sangri Serrano” (antes “El Tormento”)<sup>8</sup> en Escárcega, municipio El Carmen, Campeche, México en plantaciones de 7 años 11 meses (Juárez y Ramirez 1985) mostró que los mayores crecimientos en diámetro y volumen se presentan en espaciamientos superiores a 2,5 m x 2,5 m, aunque sin diferencias estadísticamente significativas (cuadro 16); los registros para el desarrollo de las curvas de crecimiento en diámetro mostraron que la tendencia de mayor crecimiento se presenta en los espaciamientos 3,0 m x 3,0 m y 3,5 m x 3,5 m, mientras que para los otros dos espaciamientos la curva tiende al eje de las X.

Lo importante respecto al diseño inicial de las de plantaciones es tener claro los objetivos de la misma (no es lo mismo establecer plantaciones para la cosecha de madera comercial, que para obtener biomasa para otros usos), la posibilidad de comercialización de los productos intermedios, antes de la cosecha final y las facilidades de cosecha (completamente mecanizada, semi-mecanizada, con utilización de fuerza animal u otros métodos). Espaciamientos amplios permiten tener mayores crecimientos en diámetro en árboles individuales.

---

<sup>8</sup> Centro Experimenta Forestal Tropical “Ing. Eduardo Sangri Serrano” localizado a N 18° 36' 25" y W 90° 43' 55", a 60 msnm, en un clima con temperatura de 24,2° C, precipitación que varía entre 1.100 mm y 1.300 mm, con estación seca entre mayo y octubre; la plantación está sobre suelos poco profundos, de material parental de tipo calcáreo, con problemas de drenaje en la época de lluvias; adicionalmente no se realizaron prácticas de poda ni raleos durante el periodo considerado.

Cuadro 16. Crecimiento de G. arborea en diferentes espacimientos de plantación, a los 7 años 11 meses en Escárcega, México (Juárez y Ramírez 1985).							
Tratamientos	Sobrevivencia	Altura	diámetro	Volumen	IMA h	IMA Dap	IMA V árbol <sup>-1</sup>
	%	(m)	(cm)	(m <sup>3</sup> )	(m año <sup>-1</sup> )	(cm año <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup> )
A(2,0 x 2,0)	81	9,87	9,1	0,0597	1,24	1,15	0,0075
B(2,5 x 2,5)	84	12,99	12,22	0,1735	1,64	1,54	0,0219
C(3,0 x 3,0)	81	10,54	12,18	0,1219	1,33	1,54	0,0154
D(3,5 x 3,5)	80	10,91	12,99	0,1701	1,38	1,64	0,0215
A(2,0 x 2,0)	Crecimiento en altura en función de la edad	Y = -0,65276509 + 2,11388632 X - 0,09808473 X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,98					
B(2,5 x 2,5)		Y = -0,88036283 + 2,42226129 X - 0,08317299 X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,98					
C(3,0 x 3,0)		Y = -0,46773706 + 1,66388970 X - 0,02918886 X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,99					
D(3,5 x 3,5)		Y = -0,45503647 + 1,83982398 X - 0,04598762 X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,99					
Y = altura (m); X = edad (años)							
A(2,0 x 2,0)	Crecimiento en diámetro en función de la edad	Y = -0,20466819 + 2,09626847 X - 0,12485142 X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,91					
B(2,5 x 2,5)		Y = -0,20346028 + 3,33039531 X - 0,22427275 X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,89					
C(3,0 x 3,0)		Y = -1,12750825 + 2,91406316 X - 0,15731960 X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,94					
D(3,5 x 3,5)		Y = -3,66705022 + 4,01191176 X - 0,24020740 X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,96					
Y = diámetro (m); X = edad (años)							
Fuente: adaptado de Juárez y Ramírez 1985							

## 5.2 Podas

Lamb (1968) reconoce el valor de la poda para obtener madera y postes de buena calidad, sin nudos muertos; es sabido que el objetivo de la poda es mejorar la calidad de la madera, previniendo la formación de nudos muertos, de los árboles seleccionados para la cosecha final. Se realiza durante los primeros años de vida del árbol, cuando las ramas aún son delgadas, aunque Lamb (1968) indicaba que en las condiciones de plantaciones densas puede hacerse innecesaria, ya que la mayoría de las ramas se pierden durante los raleos.

La poda busca eliminar las ramas y hojas que no tienen actividad fotosintética y ramas muertas; según Arias y Arguedas (2004) en Rojas et al. 2004), la poda como operación silvicultural, es una inversión que se hace en los mejores individuos de la plantación y cuya retribución se espera con el mejoramiento de la calidad de la madera. En todo caso siempre se va a obtener de un árbol madera con nudos, lo que se busca con la poda es maximizar la proporción de madera libre de nudos y en las secciones nudosas la obtención de madera con nudos vivos.

Aunque en Costa Rica, de manera general, se acostumbra hacer la primera poda antes que los árboles alcancen los primeros 5 metros de altura (árboles con alturas entre 3 y 5 metros) podando las 2/3 partes del árbol o máximo el 50% de su copa viva (Hawley y Smith 1972; Daniel et al 1975; Matthews 1989); dado que en melina las ramas son gruesas<sup>9</sup>, la experiencia muestra que se hace necesario iniciar la poda a edad

<sup>9</sup> La relación entre el grosor promedio de las tres ramas más gruesas con respecto al diámetro del árbol, conocida como "índice de grosor de ramas" (Struck y Dohrenbusch, 2000) es alto en el caso de G. arborea; Arias y Arguedas (2004) indican que se estudió el índice de grosor de ramas para las ramas de melina en árboles de 6 años de edad creciendo en la Zona Sur de Costa Rica, encontrando que este puede llegar a representar hasta el 60 % del diámetro a la altura del pecho. Para esta especie se encontró una tendencia de aumento del índice de grosor de ramas conforme mejoran las condiciones del sitio.

muy temprana (hasta 3-4 meses de edad en silvicultura de precisión), para evitar la pérdida de dominancia del tallo principal (figura 17). En la primera poda se pueden utilizar herramientas manuales como tijeras podadoras, sierras o en algunos caso machetes, sin producir desgarros en la corteza.

Se recomienda la operación de poda de ramas vivas en aquellos árboles cuya forma, sanidad y calidad del fuste permiten clasificarlos como los árboles de la cosecha futura. La poda de ramas relativamente gruesas se recomendaría en árboles levemente torcidos, siempre y cuando presenten un crecimiento vigoroso. No se recomienda invertir en la poda de árboles cuyo fuste es de mala calidad o defectuoso, ya que son árboles potenciales para ser eliminados en los aclareos.

La poda debe ser cuidadosa para evitar daños a los árboles; se debe realizar en época seca, para promover la pronta cicatrización y disminuir los riesgos de infecciones. La mejor época para hacer la poda parece ser inmediatamente después del raleo, para evitar stress de los árboles, concentrarla en los mejores ejemplares y permitir la eliminación de ramas de 2,5-3,0 cm de diámetro en la base. Normalmente, como en teca, la poda de ramas gruesas es seguida por la aparición de brotes epicórmicos (provenientes de yemas durmientes), los cuales deben eliminarse (consumen mucha energía, crece muy rápido y no producen madera aprovechable).

La poda debe circunscribirse a las ramas vivas en aquellos árboles cuya forma, sanidad y calidad del fuste permiten clasificarlos como los árboles de la cosecha futura. La poda de ramas relativamente gruesas se recomendaría en árboles levemente torcidos, siempre y cuando presenten un crecimiento vigoroso. No se recomienda invertir en la poda de árboles cuyo fuste es de mala calidad o defectuoso, ya que son árboles potenciales para ser eliminados en los aclareos (normalmente la poda sigue al raleo).

Arias y Arguedas (2004) indican que una consideración importante para la poda en esta especie, es el riesgo de ocasionar retrasos en el crecimiento al reducir el área foliar (fotosíntesis). Algunos reportes en Costa Rica sugieren que una intensidad de poda del 25 % estimuló el crecimiento de los árboles, mientras que intensidades del 50% tuvieron un efecto negativo.



**Ejemplo de poda mal realizada en árboles de melina que afecta la superficie de fotosíntesis**

Como con otras especies forestales, la poda debe realizarse con un objetivo económico en mente: garantizar la mejor calidad a las trozas de la parte baja del fuste; normalmente se procura disponer de un fuste de 7,5 m libre de ramas, que permitan obtener al menos dos trozas de 3,2 m de largo.



Formación de ramas gruesas en las primeras etapas de crecimiento de la melina



Cuidados al podar: la poda debe hacerse a ras del fuste para permitir el cierre rápido de la herida



Figura 17. La poda es una operación necesaria en *Gmelina arborea* para lograr fustes limpios aptos para producción de madera de aserrío, tableros y otros usos, evitando la formación de nudos muertos.

Fuente: elaboración propia

### 5.3 Raleos

En ecología, la densidad se ha definido comúnmente como el número de individuos por unidad de área; sin embargo, en el campo forestal esta definición no es de mucha utilidad, ya que en una plantación los árboles cambian de dimensiones y compiten por los recursos disponibles (luz, agua, nutrimentos). Han surgido varios métodos para evaluar y controlar la densidad de un rodal, entre los más conocidos se pueden mencionar: el área basal, el índice de espaciamiento relativo, el índice de densidad del rodal y el factor de competición de copas. En la práctica forestal de nuestro país ya se han realizado algunos trabajos que evalúan estas metodologías (Pineda 1990).

Dado que en el siglo XX fue común el uso de densidades altas de plantación (hasta 1.600 árboles ha<sup>-1</sup>, y aun en algunas ocasiones hasta 2.500 árboles ha<sup>-1</sup>), una práctica común era la disminución del número de árboles para estimular el crecimiento en diámetro, al poder, los árboles, aprovechar en forma más eficiente los recursos disponibles.

En Costa Rica se reconoce la utilidad de los raleos, especialmente en plantaciones que han sido establecidas con un número alto de árboles; se han utilizado diferentes metodologías para determinar los raleos; la escuela de ingeniería forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica ha promovido la utilización del Índice de Densidad de Raleo (IDR) como metodología para la definición de la intensidad de raleo, sin embargo otros centros de investigación y técnicos promueven la utilización de porcentajes de raleo.

Ohland (2000), citado por Arias y Arguedas (2004), propone un esquema de aclareos para melina partiendo de una densidad inicial de 1080 árboles ha<sup>-1</sup>:

- i. el esquema 50-50-50% sugiere aplicar un primer aclareo del 50% cuando la plantación alcance un diámetro promedio de 10,4 cm y la altura media del rodal sea de 9,4 m, lo que equivale a un IDR=189.
- ii. Un segundo aclareo del 50 % será aplicado cuando el diámetro promedio de la plantación alcance 22 cm y la altura media sea de 16 m, o cuando el IDR=419.
- iii. El tercer aclareo eliminará la mitad de la masa remanente cuando el diámetro promedio alcance 32 cm y la altura del rodal sea de 19,4 m, con un IDR cercano a 441. Este esquema sugiere una cosecha final basada en 135 individuos por hectárea con diámetros promedio de 45 cm y una altura media del rodal de 22 m.

Otros autores sugieren para plantaciones establecidas a 3 x 3 m, un primer aclareo del 50 % de la masa cuando la plantación alcance una altura promedio entre 7 y 9 m (Salazar y Pereira, 1998; Muziol y Sánchez, 1992). Para plantaciones en la región de Guanacaste se sugiere un segundo aclareo nuevamente del 50 % de la masa remanente cuando la plantación alcance una altura promedio entre 14 y 16 m. Empresas reforestadoras como Los Nacientes han llevado a cabo el segundo aclareo cuando el diámetro promedio de la plantación alcanza los 20 cm, aplicando una intensidad de aclareo entre 33 y 50% (Salazar y Pereira, 1998).

Centeno (1997) recomienda la aplicación de un segundo aclareo cuando la altura dominante del rodal alcance entre 17 y 18 m, lo cual considera consistente con las experiencias en el manejo silvicultural de melina en Centroamérica.

Jiménez (2014) propone, para plantaciones con una población inicial 1.110 árboles ha<sup>-1</sup> (3 m x 3 m), un régimen silvícola: 50% - 33% - 33%; para 816 árboles ha<sup>-1</sup> (3,5 m x 3,5 m) o (3 m x 4 m) , un régimen 50% - 50%

Un estudio reciente (Vallejos et al. 2015) encontró, en plantaciones establecidas inicialmente con una densidad de 1111 árboles ha<sup>-1</sup>, de 8 años, en el Cantón de Pococí, Provincia de Limón, Costa Rica<sup>10</sup>, sometidas a intensidades de raleo de 60%, 70% y 80%, que el diámetro del duramen y la densidad de la madera fueron similares en las intensidades de 70% y 80%, mientras que el diámetro a la altura del pecho fue ligeramente menor para la intensidad de 60%. La densidad de la madera para los árboles del 60% fue mayor que en las densidades 70% y 80%. El diámetro del duramen y su área relativa fue mayor en la intensidad 80%, pero no se encontraron diferencias significativas entre las intensidades 60% and 70% (diámetro del duramen y porcentaje del mismo). Finalmente, los defectos de secado no fueron influenciados significativamente por la intensidad de raleo. El cuadro 17, tomado de Vallejos (2015), presenta los resultados de crecimiento a los 8 años de edad. El volumen resultante está en función directa del número de árboles remanentes y el diámetro de los mismos

Tratamiento		Mortalidad inicial (%)	N (arb ha <sup>-1</sup> )**	Dap (cm)	G (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	V (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
Resultante	Previo*					
T1 (60%)	35% - 30%	2,2	366	27,69	22,29	207,08
T2 (70%)	35% - 35%	2,8	302	34,28	28,33	255,49
T3 (80%)	40% - 40%	4,2	175	33,91	16,22	150,99
* Raleos realizados a los 3 y 6 años de edad						
** Densidad resultante (árboles ha <sup>-1</sup> ) a los 8 años						
Fuente: tomado de Vallejos et al. (2015).						

En la ejecución de raleos se ha identificado que uno de los principales problemas está relacionado con el marcado de los árboles a cortar (Ohland, 2000). Normalmente el primer aclareo es del tipo selectivo, lo que significa que el marcado se concentra en aquellos individuos de mala forma, bifurcados, dañados, enfermos, suprimidos. Los aclareos buscan garantizar una distribución uniforme de los árboles remanentes, que permita a cada árbol disponer de espacios similares de crecimiento. Para facilitar esta labor se han recomendado diferentes técnicas prácticas, como las llamadas “cajas de raleo” o “marcado por cajas”, siendo las más populares las denominadas “caja de cuatro” o “caja de nueve”. Si se define que la intensidad del aclareo es del 50% significa que en una caja de cuatro árboles se deben eliminar dos (los que ofrezcan menos garantía de brindar un producto de calidad). Si el aclareo busca reducir el 25% de la masa, de cada cuatro individuos se buscará eliminar el más defectuoso; en cajas de nueve, una intensidad del 30% - 33% implica la eliminación de tres de cada nueve árboles, distribuyéndoles en forma equidistante con los remanentes y tomando en cuenta la “caja” vecina.

<sup>10</sup> La Rita, Pococí, Limón, Costa Rica: N 10° 17' 50,24" W 83° 46' 14", con precipitación que varía entre 3116 y 7000 mm año<sup>-1</sup>, sin meses secos, con temperatura media anual de 22° C y 27° C y 200-400 msnm, con topografía plana.

Cuando se trabaja con plantaciones clonales, los individuos tienden a ser similares, por lo que se facilita la ejecución de raleos sistemáticos, orientados más a disminuir la población que a seleccionar por forma (fenotipos); los productos de estos raleos tienden a tener mercado, por lo que los costos pueden ser financiados por la propia operación. Una práctica utilizada en algunas ocasiones es la ejecución de raleos “por lo alto”, para extraer los ejemplares de mayores dimensiones, trayendo como consecuencia la disminución de calidad del rodal remanente. Según Arias y Arguedas (2004), una consideración especial es la capacidad de rebrote que tiene la especie. No es conveniente permitir el desarrollo de rebrotes en plantaciones que están siendo manejadas para fines industriales, ya que se altera el control que se tiene de la densidad y la calidad de los productos a obtener. Se considera que los árboles eliminados en los primeros aclareos son genéticamente inferiores y no vale la pena mantener remanentes de este tipo.

La presencia de semillas en el piso de una plantación, después del aprovechamiento de un rodal adulto, produce gran cantidad de regeneración (más de 10.000 plántulas ha<sup>-1</sup>), como resultado de la llegada de la luz al suelo (figura 18); dependiendo de la calidad del rodal inicial, puede ser deseable la permanencia de esta regeneración. En estos casos es necesario bajar la concentración de árboles, mediante selección de los mejores ejemplares. Esta operación debe hacerse de manera gradual para evitar que el viento arrase (tumbe) los árboles remanentes. La figura 18 ilustra una experiencia de este tipo.



Figura 18. Manejo de regeneración natural en una plantación de 22 años cosechada en Rio Claro, Costa Rica (meses después de cosecha)  
Fuente: colección personal del autor

## 5.4 Crecimiento

Diversos autores (Lamb, (1968); Webb et al. 1984; CATIE (1986); Martínez (1981)) consideran a *Gmelina arborea* como una especie de muy rápido crecimiento. Freezaillah and Sandrasegaran (1966), citados por Lamb (1968) reportaban para rodales de 8 años en India, incrementos medios anuales de  $15,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (cuadro 18).

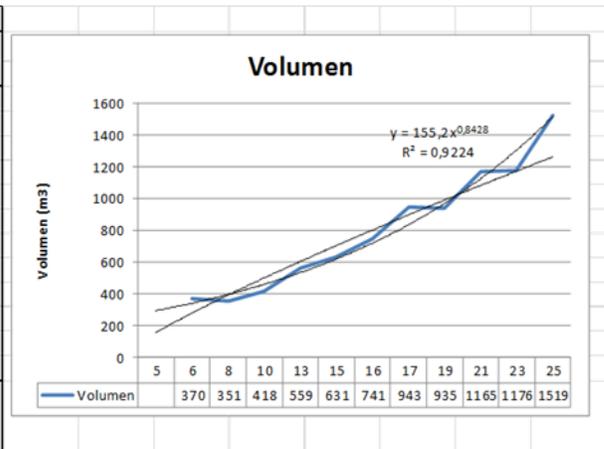
Rodal	m x m	Arb $\text{ha}^{-1}$ al corte	Edad (años)	Altura (m)	Area basal $\text{m}^2$	Volumen árbol $^{-1}$	Vol $\text{m}^3$ rodal	IMA ( $\text{m}^3$ )
1	3 x 3	996	7	23,5	10,87	0,255885	254,81	14,78
2	3 x 3	956	8	23,8	12,26	0,312912	299,23	15,83
3	3 x 3	914	9	24,4	12,73	0,279395	255,44	12,57
4	3 x 3	558	11	25,6	13,47	0,313332	174,98	11,53

Fuente: Adaptado de Freezaillah and Sandrasegaran (1966). citado por Lamb (1969).

Onyekwelu *et al.* (2003) informan sobre el crecimiento de melina en el suroeste de Nigeria, indicando sobre incrementos de hasta  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (cuadro 19). Los datos muestran que la especie tiene un incremento rápido del diámetro (3,0 a 2,1  $\text{cm año}^{-1}$ ) hasta el año 8 y a partir de este momento va disminuyendo hasta estabilizarse en  $1,4 \text{ cm año}^{-1}$ ; en cuanto al desarrollo en altura la especie muestra un crecimiento rápido hasta los 10 años y a partir de allí el crecimiento es más lento.

Edad (años)	Densidad (N/ha)	DAP (cm)			Altura media (m)	Área basal $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$	Volumen $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$	IMA $\text{m}^3$ $\text{año}^{-1}$
		Mínimo	Medio	Máximo				
5	1232	5,0	15,1	31,4	14,1	21,4	242,7	48,5
6	1291	3,8	15,6	33,0	16,4	28,4	370,3	61,7
8	1259	4,3	16,4	34,7	15,8	30,8	350,7	43,8
10	1147	5,0	18,0	37,5	17,0	33,8	418,0	41,8
13	1189	3,8	18,8	41,4	18,0	39,8	559,0	43,0
15	1184	6,0	21,1	53,0	18,0	48,3	630,7	42,0
16	1024	4,7	23,3	47,7	17,8	51,9	741,3	46,3
17	992	4,5	25,5	62,3	20,6	60,7	943,0	55,5
19	837	9,8	28,7	57,0	21,4	61,0	935,3	49,2
21	864	7,1	30,2	61,3	22,9	71,5	1165	55,5
23	891	6,9	31,6	63,6	22,7	79,1	1176,3	51,1
25	874	7,0	33,6	71,2	23,2	89,5	1519,3	60,8

Fuente: Onyekwelu, J.C.; Peter Biber; Bernd Stimm. 2003. Thinning scenarios for *Gmelina arborea* plantations in south western Nigeria using density management diagrams. Food, Agriculture & Environment Vol. 1(2), April 2003. pp. 320-325



Arias y Arguedas (2004), citando a Cubero y Rojas (1999), presentan información sobre crecimiento de melina en el área de Hojanca (cuadro 20), la cual muestra diferencias entre sitios, pero incrementos inferiores a los indicados por Onyekwelu *et al.* (2003), mostrando una de las características de la especie: respuesta diferenciada en crecimiento de acuerdo a las condiciones de los sitios.

Edad (años)	Sitio	Árboles ha <sup>-1</sup>	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Incremento medio		
					dap (cm año <sup>-1</sup> )	altura (m año <sup>-1</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
4	A	570	16,17	89,68	4,76	4,2	22,42
4	B	540	8,08	27,90	3,21	2,94	6,97
8	A	230	20,55	246,81	4,19	3,66	30,85
8	B	373	16,31	121,47	3,11	2,51	15,18
10	B	260	14,93	119,03	2,65	2,16	11,90
12	B	307	18,63	146,09	2,33	2,33	12,17

Fuente: Cubero y Rojas (1999) citado por Arias y Arguedas (2004)

Un inventario de existencias en la finca Guaycará, en Río Claro, Puntarenas, propiedad de la desaparecida Plywood Costarricense, en plantaciones de 20 años, sobre una topografía desde plana y suavemente ondulada, hasta ondulada, en entisoles con pH de 6,2, en plantaciones de 20 años de edad, mostró que las mismas tuvieron un incremento promedio anual varió entre 10,8 y 12 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> (Camacho, 2008); el cuadro 21 muestra la evaluación de los activos biológicos realizada en 2009.

Estimación del valor de madera en pie en Guaycará						Valor madera en pie \$
Sitio	Área (ha)	<20 cm	20-30 cm	> 30 cm	TOTAL	Inventario
La Mona	30	1.224,00	629	5.397,00	7.250,00	166.404,53
Plano	60	2.183,70	2.200,00	8.445,00	12.828,70	364.424,78
Semi-Ondulado	35	1.110,30	1.119,00	4.814,00	7.043,30	253.337,59
Total	125	4.518,00	3.948,00	18.656,00	27.122,00	784.166,90
Valor madera en pie \$/m <sup>3</sup>		31,21	34,33	37,45		
PMT¢		50,00	55,00	60,00		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Camacho (2008)

La evaluación de parcelas de melina en dos sitios de Costa Rica mostró que el incremento medio anual en diámetro varía desde 1,8 cm año<sup>-1</sup> hasta 6,7 cm año<sup>-1</sup>, dependiendo de las condiciones locales (cuadro22).

Cuadro 22. Crecimiento de plantaciones de melina en dos sitios de Costa Rica

Sitio	Edad	Diámetro	Altura	IMA d	IMA h
Hojancha	1,8		3,6		2,1
Hojancha	1,8	9,0	7,3	4,9	4,0
Hojancha	2,0	13,4	11,9	6,7	5,9
Hojancha	2,0	15,6	13,9	7,8	7,0
San Carlos	2,0	6,1	4,9	3,1	2,5
San Carlos	2,0	5,3	4,6	2,6	2,3
San Carlos	2,0	6,2	5,8	3,1	2,9
San Carlos	2,0	8,1	7,0	4,1	3,5
San Carlos	2,0	6,3	5,7	3,2	2,9
Hojancha	2,2	7,8	6,6	3,6	3,1
Hojancha	2,2	10,1	8,6	4,7	4,0
Hojancha	2,8	13,1	11,0	4,6	3,9
Hojancha	2,9	6,0	6,5	2,1	2,2
Hojancha	3,0	16,0	14,7	5,3	4,9
San Carlos	3,0	14,0	11,1	4,7	3,7
Hojancha	3,1	10,9	11,4	3,5	3,7
Hojancha	3,9	9,8	8,8	2,5	2,2
Hojancha	3,9	13,9	11,4	3,6	2,9
Hojancha	4,0	18,1	16,4	4,5	4,1
Hojancha	4,1	12,7	13,8	3,1	3,4
Hojancha	5,1	15,2	14,9	3,0	2,9
San Carlos	9,0	20,6	15,5	2,3	1,7
San Carlos	9,5	15,0	15,8	1,6	1,7
San Carlos	9,5	12,7	13,2	1,3	1,4
San Carlos	9,5	17,5	10,7	1,8	1,1
San Carlos	9,5	26,6	10,5	2,8	1,1

Fuente: elaboración propia

Hughel (1991), con base en información de América Central, desarrolló una tabla preliminar de rendimientos para melina (cuadro 23), tomando como base tres índices de sitio: IS = 28 m, en sitios planos, con suelos profundos, bien drenados y pH mayor a 6,0 o más; IS = 21, en sitios ondulados, suelos profundos pero con imperfecciones en drenaje o presencia de impedimentos para el desarrollo de las raíces, pendientes de hasta 20% y pH de 5,0; IS = 14 en sitios con limitaciones para el desarrollo de la especie. De acuerdo al modelo desarrollado por Hughell, la especie puede alcanzar incrementos medios anuales de  $33,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en los mejores sitios, solo  $19,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en sitios intermedios y  $7,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en sitios con problemas.

**Cuadro 23. Tabla de rendimiento para Gmelina arborea en América Central para índices de sitio 28, 21, 14.**

Edad (años)	Árboles ha <sup>-1</sup>	Altura (m)	dap (cm)	Área basal (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Árboles ha <sup>-1</sup>	Área basal (m <sup>2</sup> )	dap (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Vol acum (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	IMA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	ICA (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
Índice de Sitio = 28												
2	989	7,9	11	9,5	28,9					29,9	14,4	14,4
4	549	14,7	19,4	16,2	72,8	440	9,5	16,5	49,1	121,9	30,5	46,5
6	549	19,3	23,7	24,1	154,5					203,6	33,9	40,9
8	399	22,4	29,9	28	177	150	5,9	22,4	43,9	270	33,7	33,2
10	399	24,4	31,6	31,3	239,3					332,3	33,2	31,2
12	299	25,7	36,8	31,8	221,5	100	5,5	26,6	45,6	360	30	13,9
14	299	26,4	39,9	32	258,1					396,7	28,3	18,3
Índice de Sitio = 21												
2	989	5,9	8,3	5,3	12,9					12,9	6,4	6,4
4	989	11	14,4	14,4	58,6					58,6	14,6	22,8
6	609	14,5	17,1	17,1	76,6	380	7,3	15,7	38	114,6	19,1	28
8	609	16,8	21,2	21,2	120,7					158,8	19,8	22,1
10	409	18,3	20,5	20,5	109,6	200	6,4	20,1	39,6	187,3	18,7	14,2
12	409	19,2	21,5	21,5	135,4					213	17,7	12,9
14	409	19,8	24,6	24,6	157,8					235,4	16,8	11,2
Índice de Sitio = 14												
2	989	3,9	5,5	2,4	4,1					4,1	2,1	2,1
4	989	7,3	9,1	6,4	18,8					18,8	4,7	7,3
6	989	9,7	11,8	10,9	40					40	6,7	10,6
8	639	11,2	14,9	11,2	40,7	350	4,1	12,2	17,1	57,8	7,2	8,9
10	639	12,2	15,8	12,5	55					72,1	7,2	7,2
12	439	12,8	18,4	11,7	46,7	200	3,3	14,4	15,3	79,1	6,6	3,5
14	439	13,2	18,5	11,7	54,4					86,8	6,2	3,9

Fuente: Hughell 1991

## 5.5 Plagas y enfermedades

Se ha reconocido la susceptibilidad de melina al ataque de plagas y enfermedades; ya desde mediados de la primera mitad del siglo XX se habían detectado ataques (Homfray, 1937; Allsop, 1945, citados por FAO 2009). en América Latina las hormigas defoliadoras (de los géneros *Atta* spp. y *Acromyrmex* spp.) son los mayores problemas a calidad del fuste y el crecimiento de los mismos en las primeras etapas de las plantaciones (Greaves, 1981; Arguedas (2004); Arguedas (2007) indica que larvas de gran tamaño de satúrnidos (*Eacles imperialis decoris*) producen severas defoliaciones en forma esporádica en *G. arborea*.

Un patógeno que afecta regularmente las hojas en el área de distribución natural es el *Pseudocercospora rangita*. El hongo pertenece a un grupo de patógenos que parasitan hospederos específicos de Mycosphaerella, que han sido reportados en África, Brasil (Gibson 1975; Shanna et al. 1985; Ferreira 1989). Evaluaciones realizadas en México, Colombia y Venezuela han identificado la presencia del hongo en estos países (Wingfield, sin publicar); Arguedas (2007) agrega los ataques provenientes de *Cercospora rangita*.

*Aepytus* sp. es la plaga más común en el fuste de la melina, durante los primeros años de establecimiento. Su presencia se detecta por la presencia de un vestíbulo o bolsón, adherido al tronco y a menudo asociado con las axilas de las ramas. Al levantar el vestíbulo se observa un área de la corteza consumida y la perforación de entrada del túnel, el cual se extiende en el xilema o en la médula hacia arriba y puede medir hasta 15 cm de longitud. La larva madura puede medir hasta 5,5 cm de longitud; es de color crema, con la cabeza redondeada y muy oscura, tiene una especie de placa rojiza en la parte superior del

protórax. Pupa dentro de la galería. El adulto tiene una envergadura alar de 4,2 cm; las alas anteriores son color pardo anaranjado y las posteriores anaranjado claro (CATIE, 1991; Ford, 1981; Moreno, 1989).



Figura 19. *Aepytus* sp.: bolson y larva (Tomado de Arguedas 2004).

Arguedas (2007) ha identificado gran cantidad de insectos, patógenos y algunos vertebrados que han producido daños en plantaciones de melina en diferentes partes del país (cuadro 24); una de los mayores problemas que afectan las plantaciones en la actualidad es *Nectria*, sobre la que se está trabajando en el diseño de medidas preventivas y de control.

Cuadro 24. Plagas y enfermedades que atacan a melina (Arguedas, 2007)					
Especie	Familia	Orden	Parte atacada	Sitio	Provincia
<i>Insectos</i>					
Aeptytus sp	Hepialidae	LEP	Fuste	Cañas	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
				Buenosaires	P
Apatelodes sp.	Apatelodidae	LEP	Follaje	San Carlos	A
Atta sp.	Formicidae	HY	Follaje	Pérez Zeledón	SJ
				San Mateo	A
				Orotina	A
				San Carlos	A
				Upala	A
				Los Chiles	A
				Guatuso	A
				Liberia	G
				Bnicoya	G
				Santa Cruz	G
				Carrillo	G
				Cañas	G
				Abangares	G
				Tilarán	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
Punta Arenas	P				
Buenosaires	P				
Osa	P				
Pococí	L				
Siquirres	L				
Guácimo	L				
Automeris rubescens	Saturnidae	LEP	Follaje	Siquirres	L
Coptotermes testaceus	Rhinotermitidae	ISO	Fuste	Pérez Zeledón	SJ
				San Carlos	G
				Los Chiles	G
				Nicoya	G
				Cañas	G
				Tilarán	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
				Buenosaires	P
				Pococí	L
Siquirres	L				

<b>Cuadro 24. Plagas y enfermedades que atacan a melina (Arguedas, 2007) -continuación-</b>					
<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>Orden</b>	<b>Parte atacada</b>	<b>Sitio</b>	<b>Provincia</b>
Eacles imperialis decoris	Saturnidae	LEP	Follaje	Pococí	L
Hylesia sp.	Saturnidae	LEP	Follaje	Turrialba	C
Nasutitermes corniger	Termitidae	ISO	Fuste	Pérez Zeledón	SJ
				San Carlos	G
				Los Chiles	G
				Nicoya	G
				Cañas	G
				Tilarán	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
				Buenosaires	P
				Pococí	L
				Siquirres	L
Lonomia electra	Saturnidae	LEP	Follaje	Siquirres	L
Phyllophaga sp.	Sacarabaeidae	COL	Raíz	Abangares	G
				Hojancha	G
Schistocerca piceifrons	Acrididae	SALT	Follaje	Santa Cruz	G
Tarchon sp.	Lymantriiidae	LEP	Follaje	Paraiso	C
Zanola impedita	Apatelodidae	LEP	Follaje	Paraiso	C
Especie no identificada	Cossidae	LEP	Fuste	Palmar Sur	P
Especie no identificada	Scolytidae	COL	Fuste-corteza	Sarapiquí	H
Especie no identificada	Microlepidoptera	LAP	Follaje	Turrialba	C

Cuadro 24. Plagas y enfermedades que atacan a melina (Arguedas, 2007) -continuación-					
Especie	Familia	Orden	Parte atacada	Sitio	Provincia
<i>Patógenos</i>					
Agrobacterium tumefaciens			Fuste	Turrailaba	C
Aspergillus sp.			Semilla		
Botryodiplodia sp.			Fuste	Orotina	A
				San Carlos	A
				Sarapiquí	H
				Hojancha	G
Botryosphaeria sp.			Fuste	Los Chiles	A
Colletotritrum sp.			Follaje	Los Chiles	A
				Sarapiquí	H
Corticium salmonicolor			Fuste	Upala	A
Nectria sp.			Fuste	Pérez Zeledón	SJ
				San Carlos	A
				Upala	A
				Los Chiles	A
				Sarapiquí	H
				Buenosaires	P
				Osa	P
				Pococí	L
Penicillium sp.			Semilla		
Phomosis sp.			Plántula	Los Chiles	A
Pseudocercospora rangita			Follaje	Siquirres	L
				Pococí	L
				Guácimo	L
				Puntarenas	P
				Buenosaires	P
				Osa	P
				San Mateo	A
				Orotina	A
				San Carlos	A
				Upala	A
				Los Chiles	A
				Guatuso	A
				Liberia	G
				Nicoya	G
				Santa Cruz	G
				Carrillo	G
				Cañas	G
				Abangares	G
				Tilarán	G
				Nandayure	G
				La Cruz	G
				Hojancha	G
Rosellinia sp.			Raíz	Turrailaba	C
				Nicoya	G
				Hojancha	G
Especie no identificada	(bacteria)		Fuste	Siquirres	L

Cuadro 24. Plagas y enfermedades que atacan a melina (Arguedas, 2007) -continuación-					
Especie	Familia	Orden	Parte atacada	Sitio	Provincia
<i>Vertebrados</i>					
Aloutta palliata	Cebidae	PRI	Follaje	Sarapiquí	H
				Santa Cruz	G
				Hojancha	G
Aratinga canicularis	Psittacidae	AVE	Semilla	Hojancha	G
Basiliscus basiliscus	Iguanidae	SAU	Pseudoestacas	Sarapiquí	H
				Santa Cruz	G
Coendou mexicanum	Erethizontidae	ROD	Fuste-corteza	Siquirres	L
Dasypus vovemcintus	Dasypodidae	EDE	Pseudoestacas	Sarapiquí	H
Odocoileus virginianus	Cervidae	ART	Fuste-corteza	Hojancha	G
				Sarapiquí	H
Sigmodon hispidus	Cricetidae	ROD	Fuste-corteza	Hojancha	G
Sylvilagus brasiliensis	Leporidae	LAG	Pseudoestacas	Sarapiquí	H

## 5.6 Cosecha

El aprovechamiento o cosecha forestal incluye la corta, extracción o arrastre de los fustes comerciales a un lugar de carga (patios intermedios y/o orillas de caminos), troceo y apilado de trozas, carga de las mismas (normalmente de igual longitud) y transporte de las trozas en camiones, para su posterior industrialización y comercialización. La planificación previa al aprovechamiento debe tomar en cuenta el área a aprovechar, la pendiente y disponibilidad de maquinaria y mano de obra. Aspectos importantes a tomar en cuenta en esta fase son:

- a. Red vial: primera etapa operativa del sistema de aprovechamiento, concebida antes de establecer la plantación; está compuesta por todos los caminos y pistas de extracción entre el bosque y la industria. Su objetivo es hacer el transporte de los productos de la plantación a la industria. Compuesta, además de los caminos principales, por los caminos secundarios o
- b. Pistas de arrastre, trochas temporales distanciadas 100-150 metros. Deben establecerse antes de iniciar la corta ya que esta debe dirigirse con base en la localización de estas pistas y la red vial de caminos existente. Las pistas de arrastre deben marcarse en función de:
  - Tipo de raleo; sistemático (en hileras) o selectivo.
  - Concentración de la madera.
  - Forma del terreno.
  - Dirección del arrastre.
  - Método de arrastre a utilizar (manual, animal, mecanizado).
 Estas pistas de arrastre deben ser del ancho del método de extracción (bueyes, tractor agrícola) y libres de obstáculos como troncos, ramas grandes, piedras, etc. (figura 9, caso C).
- c. Las pistas de saca (sólo la carga viaja por la pista -como en los métodos de arrastre con winches o cable y winches-) pueden ser menos anchas que las pistas de arrastre (ancho de la carga).

d. Patios de acopio: dado que la red de caminos internos, generalmente, es de tipo “parte alta de la loma o cima”, es decir, sobre las partes altas y más planas del terreno, los patios en su mayoría se deberían establecer en las orillas de los caminos y tomando en cuenta los siguientes aspectos.

Actualmente, en plantaciones de diferentes especies en Costa Rica, dependiendo del tamaño de la operación (área a aprovechar, tipo de producto, volumen, distancia, topografía, disponibilidad de maquinaria) se utilizan diferentes sistemas de extracción: bueyes, tractores agrícolas, o sistema combinados de estas formas.

El uso de bueyes se ha popularizado para distancias cortas de arrastre (de 60 a 80 m, aunque en ocasiones pueden ser 150 a 200 m). Los bueyes usados en la práctica forestal se caracterizan por ser de contextura fuerte, cuello corto y grueso. El peso de cada buey fluctúa entre 500 y 700 kilogramos. De acuerdo a Otavo y Gayoso (1984) los bueyes se desplazan a una velocidad de 1,4 a 1,8 km/hora tanto en viaje vacío como cargado, con una fuerza de tiro de 11 a 29% del peso corporal, lo que en arrastre ladera abajo se traduce en una capacidad de carga de hasta 1,5 toneladas.

El arrastre con bueyes tiene la ventaja de disminuir el impacto sobre los suelos, se dispone de boyeros y personal entrenado para extracción y sus costos es accesible en operaciones medianas y pequeñas (figura 20).



Figura 20. Utilización de bueyes en extracción de melina

Otra forma de extracción utilizada es el arrastre con tractores agrícolas (adaptados a las operaciones forestales. En Costa Rica se está incrementando el uso de tractores agrícolas, a los que se les hacen adaptaciones como sulkys (triángulos para elevar las trozas y evitar el arrastre directo sobre los suelos), para facilitar la extracción, uso de winches para arrastre, uso de garras o palas cargadoras adaptadas, para desempeñar una doble función; adicionalmente sirven para el arrastre de carretas para cargue de madera de dimensiones pequeñas. Las ventajas del tractor agrícola, adaptado a las operaciones forestales son su relativo bajo costo, facilidad de operación y ductilidad para adaptarse a condiciones difíciles.

Las ventajas de la utilización de tractores agrícolas son su gran versatilidad, habilidad para trabajar en terrenos con pendientes suaves a ondulados, presencia de lluvias, disponibilidad de maquinaria en el medio local y necesidad de extracción rápida. También se utilizan tractores forestales (skidders), aptos para trabajos en pendientes y altas tasas de rendimiento, aunque sus costos de adquisición y operación es alto, la operación forestal puede combinarse con el uso de retroexcavadores para cargue o arrastre de madera.

Los tractores se combinan con la utilización de otra maquinaria para cargue y extracción (figura 21).



Figura 21. Utilización de maquinaria en extracción de melina (trozas)



## 5.7 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión

El establecimiento de plantaciones de melina, una vez se ha seleccionado el sitio adecuado, el material a utilizar (semillas de huertos semilleros, clones desarrollados por la propia empresa o proveniente de productores especializados) y se dispone del conocimiento sobre las propiedades de los suelos en el sitio, incluye actividades comunes a otras especies: limpieza y protección del área, preparación del suelo (incluyendo limpieza, drenajes, subsolado, arado, rastrillado, alomillado, si fueren necesarios); corrección de acidez (si necesaria), fertilización, preparación de hoyos para establecimiento de las plántulas, etc.

No se dispone de información pública sobre costos específicos de establecimiento de plantaciones de melina en Costa Rica. La Oficina Nacional Forestal, con datos de 2004, calculaba que establecimiento de plantaciones (de melina y especies similares) alcanzaba los \$2455,0 en la zona norte del país (que equivale a \$3040,0 actualmente).

Un estudio reciente de costos de establecimiento en Colombia (2012) para las especies más plantadas en este país con apoyo de los Certificados de Inversión Forestal (el equivalente al apoyo PSA de Costa Rica) encontró los costos indicados en el cuadro 25, comparados con los costos indicados por ONF para Costa Rica.

Costos promedio de establecimiento y mantenimientos consolidados (2012)					CR 2012	
Actividad	Eucaliptos	Pinos	Teca	Gmelina		
Establecimiento	1213,97	1172,51	1263,81	1355,01	1271,77	
Valor CIF 2012	483,85	483,85	483,85	483,85	459,47	
% cubierto por CIF	39,9%	41,3%	38,3%	35,7%	36,1%	PSA
Mantenimiento año 1	290,81	279,87	276,38	323,07	330,80	
Mantenimiento año 2	362,93	332,06	366,95	344,31	255,89	
Mantenimiento año 3	296,35	298,62	270,51	234,43	303,21	
Mantenimiento año 4	246,03	184,35	159,27	169,26	135,95	
Subtotal mantenimiento	1196,12	1094,91	1073,11	1071,06	1025,85	
Valor CIF 2012	389,84	389,84	389,84	389,84	459,47	
% cubierto CIF	32,6%	35,6%	36,3%	36,4%	44,8%	PSA
Subtotal establecimiento + mantenimiento años 1-4	2410,09	2267,42	2336,93	2426,08	2297,62	
Costo mantenimiento año 5 en adelante	488,46	1143,83	1200,15	759,93	493,86	
Total costos del ciclo	2898,54	3411,25	3537,08	3186,01	2791,48	
Administración + asistencia técnica	189,15	226,09	502,29	185,39	245,65	
Costo total	3087,69	3637,34	4039,38	3371,40	3037,13	

Fuente: Adaptado de CONIF 2012

El anexo 1 presenta una experiencia conducida por el autor en Puerto Viejo de Sarapiquí, aunque se hace necesario disponer de datos concretos en condiciones concretas, que no han estado disponibles para esta investigación.

## Literatura consultada

ADEKUNLE, V.A.J.; ALO, A.A.; ADEKAYODE, F.O. 2011. Yields and nutrient pools in soils cultivated with *Tectona grandis* and *Gmelina arborea* in Nigerian rainforest ecosystem. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2011) 10, 127–135.

ADU-ANNING, C.; SAFO, E.Y.; ABENEY, E.A. 2005. Litter-fall and nutrient return in *Gmelina arborea* short rotation woodlot: Implications for site productivity. *Ghana Journal of Forestry* Vol. 17 & 18 2005: pp. 44-55

AGUS, C. 2001. Net primary production and nutrient absorption of fast growing *Gmelina arborea* Roxb. (yemane) at tropical plantation forest. *Indonesian Journal of Agricultural Sciences* (2001), 1, 46-52. Green Digital Press.

AGUS, C.; KITA, S.; HAIBARA, K.; TODA, H.; KARYANTO, HARDIWINOTO, S. 2001. Nutrient Circulation Characteristics with Different Site Index for Fast Growing Species of *Gmelina arborea* Roxb. Plantation Forest in Tropical Region. Proceeding Seminar on Forest Biomass. GMU-JIFPRO. Yogyakarta.

ALFARO, M. M.; De CAMINO, R.V.; 2002. Melina (*Gmelina arborea*) in Central America. Forest Plantations Working Paper 20. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome (*unpublished*).

ALI, A.; ESAYAS, A.; BEYENE, S. 2010. Characterizing soils of delbo wegene watershed, wolaita zone, Southern Ethiopia for planning appropriate land management. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 1 (8) (2010), pp. 184–191.

ARIAS A, D.; ARGUEDAS, M. 2004. Manejo de plantaciones. In ROJAS R., F. et al. 2004. Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico. pp. 163-202

AZOFEIFA, M.; MURILLO, O.; BADILLA, Y. 2003. Síntomas de deficiencias nutricionales en especies forestales utilizando sistemas hidropónicos. IV Congreso Forestal Nacional, 17-19 de septiembre, 2003. Ponencia 5. San José, Costa Rica. 19 p.

BARRIOS, A.; LOPEZ, A.M.; NIETO, V.; BURGOS, N.; YAYA, M.; GONZALEZ, I. 2011. Efecto del control de malezas y fertilización sobre el crecimiento inicial de *Gmelina arborea* Roxb. en el departamento del Tolima, Colombia. *Colombia Forestal* Vol. 14(1): 31-40 - Enero-Junio, 2011.

CALVO, J.C.; ARIAS, D; RICHTER, D.D. 2007. Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 242:227–235.

CAMACHO, M. 2008. Evaluación de las plantaciones de Botica Francesa en Guaycará, Rio Claro Puntarenas. Tibás, Costa Rica, Plywood Costarricense, informe interno.

CENTENO, J. C. 1997. El manejo de las plantaciones de teca. OIMT. *Actualidad forestal tropical* 5: 10-12.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA. 1986. Silvicultura de especies promisorias para la producción de leña en América Central; resultados de cinco años de investigación. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnicos No. 86. 220 p.

CONIF (Corporación Nacional de Investigación Forestal Colombia). 2012. Apoyo a los componentes de evaluación del CIF (Costos de establecimiento de plantaciones forestales). Bogotá, Colombia, CONIF, Compilado por Francisco Torres Romero. 38 p.

COMMONWEALTH FORESTRY INSTITUTE. 1968. *Gmelina arborea*. Compilado por Lamb, A. F. A. Oxford, Inglaterra, CFI Commonwealth Forestry Institute, Department of Forestry, University of Oxford. Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics No. 1. 31 p

DANIEL, P.W.; HELMS, U.E.; BAKER, F.S. 1975. Principles of silviculture. New York, USA, Mc-Graw Hill Book Co.

ESPIÑOZA, J. A. 2003. Site selection, Site Preparation, and Weed Control for *Gmelina arborea* in Western Venezuela. In Recent advances with *Gmelina arborea* (eds. W. S. Dvorak, G. R. Hodge, W. C. Woodbridge and J. L. Romero). CD-ROM. CAMCORE, North Carolina State University, Raleigh, NC. USA.

EVANS, J. 1979. The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *Gmelina arborea*. Plant and Soil 52:547-552

EVANS, J. 1992. Plantation forestry in the tropics. Oxford university Press, Oxford. 2<sup>nd</sup> edition. 403 p.

EVANS, J.; TURNBULL, J.W. 2004. Plantation forestry in the tropics. Oxford University Press, Oxford. 3<sup>th</sup> edition. 467 p.

FAO Global . FAO Forestry Papers (Book 156)

FLORIDO, L.V.; CORNEJO, A.T. 2002. Yemane *Gmelina* arborea Roxb. In Issues and Facts on Yemane. Compiled by Concepcion M. Palaypayon and Jose M. Batalon. Research Information Series on Ecosystems. Volume 14 No. 3 September – December 2002.

GALLOWAY, G., UGALDE, L. and VÁSQUEZ, W. 2001. Importance of density reductions in tropical plantations: Experiences In Central America. Forests, Trees and Livelihoods Vol. 11, p. 217-232.

HAAG, H.P. (ed.) 1983. Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil. Fundação Cargill. Campinas, Brasil. 202 p.

HAWLEY, R.C; SMITH, D.M. 1972 Silvicultura práctica. Barcelona, España; Ediciones Omega

HIJOYO, S. 1993. Applied procedure in vegetative propagation of *Gmelina arborea*. In: Proceedings of the regional symposium on recent advances in mass clonal multiplication of forest trees for plantation programmes; 1992 December 1-8; Cisarua, Bogor, Indonesia. Food and Agriculture Organization/ RAS/91/004 Field Document 4. Manila, Philippines: [Publisher unknown]: 305-309

HOR, Y. L.; PUKITTAYACAMEE, P. 1993. Seed testing for selected tropical trees in ASEAN region. Review Paper 3. Muak-Lek, Saraburi, Thailand: Association of Southeast Asian Nations Canada Forest Tree Seed Centre Project. 83 p.

HUGHELL, D. 1991. Modelo preliminar para la predicción del rendimiento de *Gmelina* arborea Roxb. en América Central. Silvoenergía (C.R.) no. 44: 1-4.

- JIMENEZ A., L.D.; VAZQUEZ, W.; VIQUEZ, E. 2008 Gmelina arborea: una especie con amplias posibilidades para el desarrollo de reforestaciones industriales. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Presentación en diapositivas. 27 diapositivas
- JIMENEZ A., L.D. 2014. Manejo de plantaciones forestales: énfasis en *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), Seminario Internacional: Avances en el manejo y mejoramiento genético de teca y melina. Presentación en diapositivas. 39 diapositivas.
- JUAREZ G., V.M.; RAMÍREZ M., H. 1985. Crecimiento de Gmelina arborea Roxb. en cuatro espaciamientos. Centro de Investigaciones Forestales del Trópico Húmedo CIFTROH-INIF-SF-SARH, Escárcega, Mexico. 17 p.
- KIJKAR, L. 2004. Gmelina arborea Roxb. Familia Verbenacea. Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN). Centro de Semillas Forestales, Tailandia. 3 p.
- LAMB, A.F.A. 1968. Gmelina arborea, Fast Growing Timber Trees of the Lowland Tropics. Oxford. UK, University of Oxford, Commonwealth Forestry Institute. 42 p.
- LAURIDSEN, E. B.; KJAER, E. D. 2002. Provenance research in *Gmelina arborea* Linn., Roxb. A summary of results from three decades of research and a discussion of how to use them. International Forestry Review 4(1) 15 p.
- MARTINEZ H., H. 1981. Evaluación de ensayos de especies forestales en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE 172 p.
- MATTHEWS, J.D. 1989. Silvicultural systems. Oxford, England. Clarendon Press. Oxford Science Publications. 284 p.
- MURILLO. R.; ALVARADO, A. 2012. NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DE Gmelina arborea. In Alvarado, A.; raigosa, J. 2012 (eds). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Asociación Costarricense de la Ciencia de Suelo. pp. 385-298
- MUZIOL, C.; SÁNCHEZ, O. 1992. Manejo de plantaciones forestales. Manual técnico del proyecto COSEFORMA. Costa Rica. 24 p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. 1980. Firewood Crops; Shrub and Tree Species for Energy Production. Washington, D.C. pp 46-47
- NIEMBRO R., R.A. 1983. Estructura y clasificación de semillas de especies forestales mexicanas. In Reunión sobre problemas en semillas forestales tropicales (Ciudad de México, 1983). Subsecretaría Forestal/Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Publicación Especial No. 40 p. 77-119
- NWOBOSHI, L.C. 1981. Growth and biomass production of *Gmelina arborea* in conventional plantations in Ghana. Ghana Journal of Forestry Vol.1 1994.
- NWOBOSHI, L.C. 2000. The Nutrient Factor in Sustainable Forestry. Ibadan University Press, Ibadan, Nigeria (2000) p. 303.
- OGBONNAYA, C. I. 1993. Effects of nitrogen sources on the wood properties of *Gmelina arborea* relevant to pulp and paper production. Forest Ecology and Management 56:211-223.

OGBONNAYA, C. I.; KINAKO, P.D.S. 1993. Growth and mineral nutrition of *Gmelina arborea* Roxb. Seedlings fertilized with four sources of nitrogen on a latosolic soil. *Tree Physiology* 12(3):291-299.

OGBONNAYA, C. I.; NWALOZIE, M. C.; NWAIGBO, L. C. 1992. Growth and wood properties of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) seedlings grown under five soil moisture regimes. *American Journal of Botany* 79(2):128-132.

OGUNYEBI, A. O.; OMOLE, A. O.; BADA, S. O. 2012. Seasonal variation in litterfall in an age series *Gmelina arborea* plantation in a Nigerian rain forest. *Asian Journal of Science and Technology* Vol. 4, Issue, 11, pp.001-005, November, 2012.

OHLAND, C. 2000. Recomendaciones para el manejo de *Gmelina arborea*. MINAE-ITCR COSEFORMA- CCF-GTZ. Costa Rica. 53 p.

ONYEKWELU, J.C. 2002. Growth characteristics and management scenarios for plantation-grown *Gmelina* and *Nauclea* in SW Nigeria. Hieronymus Verlag, Munich, Germany (2002) p. 196

OTSAMO, A.; ÅDJERS, G.; HADI, T.S.; KUUSIPALO, J.; TUOMELA, K.; VUOKKO, R. 1995. Effect of site preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. Dominated grasslands. *Forest Ecology and Management* 73(1):271-277.

PINEDA, N. M. 1990. Métodos de raleo cuantitativo para determinar la intensidad de raleo en plantaciones de *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugan y *Tectona grandis* Linn. Práctica de especialidad. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 56 p.

ROJAS R., F.; ARIAS A., D.; MOYA R., R.; MEZA M., A.; MURILLO G., O.; ARGUEDAS G., M. 2004. Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico. 320 p.

SALAZAR, L. A.; PEREIRA, M. 1998. Resumen: El fortalecimiento de una empresa forestal en base de la producción de *Gmelina arborea* en la Zona Norte de Costa Rica. Procedimientos del Primer Congreso Latinoamericano IUFRO, El Manejo Sostenible de los Recursos Naturales: Retos para el Siglo XXI. Valdivia, Chile. 7 p.

SOERIANEGARA, R.H.; LEMMENS, M.J. 1993. Plant resources of South-East Asia No 5(1). Timber trees: Major commercial timbers. Prosea. Bogor.215-220.

STUHRMAN, M.; BERGMANN, C.; ZECH, W. 1994. Mineral nutrition, soil factors and growth rates of *Gmelina arborea* plantations in the humid lowlands of northern Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 70(1-3):135-145

TEWARI, D. N. 1995. A monograph on Gamari (*Gmelina arborea* Roxb.). International Book Distributions, Dehra Dun, India, 125 p.

TROUP, R.S. 1921. The silviculture of Indian trees. Oxford, UK, Oxford University Press. Vol 2, leguminosue (Caesalpinieae) to Verbenaceae. 778 p.

VALLEJOS, B.O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, Edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Gmelina*

*arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 147 p.

VALLEJOS, J.; MOYA, R.; SERRANO, R. 2015. Effects of thinning on diameter, heartwood, density and drying defects of *Gmelina arborea*. *Maderas-Cienc Tecnol* 17(3):2015

VASQUEZ W.; UGALDE, L. A. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinata* y *Pinus caribaea*, en Guanacaste, Costa Rica. CATIE/ IDA/ FAO/ HOLANDA. Proyecto Madelaña-3. Turrialba, Costa Rica. 33 p. Serie Técnica, Informe Técnico, Nº 256

WEBB, D.B, WOOD PJ, SMITH JP, HENMAN GS. 1984. A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. Trop. For. Pap. 15. Oxford, UK: Oxford University, Commonwealth Forestry institute, Unit of Tropical Silviculture. 256 p.

WIJOYO, F. S. 2000. A Study of Genetic Parameters of *Gmelina arborea* Roxb. From Thailand Growth in 5 Countries and Financial Consideration for Operational Deployment of *Gmelina arborea* in Indonesia. Thesis of Degree of Master of Science. Forestry Department. NCSU. Raleigh – USA.

YAP, S. K.; WONG, S. M. 1983. Seed biology of *Acacia mangium*, *Albizia falcataria*, *Eucalyptus* spp, *Gmelina arborea*, *Maesopsis eminii*, *Pinus caribaea*, and *Tectona grandis*. *Malaysian Forester*. 46:26-45.

ZEAZER, D. 2000. La utilización de nutrientes por melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en plantaciones industriales en el Pacífico Sur de Costa Rica. In: CONARE/OPES. Memorias Taller de Nutrición Forestal. San José, Costa Rica., junio 2000. pp. 26-38.

ZEAZER, D.; MURILLO, R. 1992. Evaluación de los factores limitantes al crecimiento temprano de melina (*Gmelina arborea*) plantado en Inceptisoles en la Región Brunca de Costa Rica. In II Congreso Nacional Forestal. San José, agosto 1992. San José, Costa Rica. pp. 55-57.

ZECH, W. 1994. Metodología práctica para la identificación de sitios para reforestación en la Zona Norte de Costa Rica en especial con melina y laurel. COSEFORMA. 53 p. Documento del Proyecto, Nº 39.

ZECH, W; DRECHSEL, P. 1992. Multiple mineral deficiencies in forest plantations in Liberia. *Forest Ecology and Management* 48:121-143.

### Anexo 1. Costos y rendimientos estimados en una plantación de melina

Costos establecimiento ha <sup>-1</sup>	Unitario	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Total							
Habilitación terreno																		
Desmalezado (jornales)	11,42	137,01									137,01	Jornales /ha para limpias; costo considerando cargas sociales						
Subsolado (horas tractor)	35,43	106,30									106,30	Costo tractor/hora; 3 horas de tractor para apertura de 29 surcos de 100 m						
Arado y alomillado(horas tractor)	35,43	141,73									141,73	29 surcos de arado y alomillado						
Herbicida pre-emergente (jornales)	11,42	22,83									22,83	Valor de aplicación						
Herbicida pre-emergente (lt)	60,00	24,00									24,00	Costo del herbicida/ha						
Plántulas	0,25	224,40									224,40	Costo de plántulas+10% para reposiciones (producción propia)						
Plantación (jornales)	11,42	46,58									46,58	Jornales para establecimiento plantación (apertura hoyos y siembra)						
Replante (jornales)	11,42	4,66									4,66	Jornales para replante						
Costo tractor traslado plántulas	29,53	44,29									44,29	Costo uso de tractor para traslado plántulas						
Traslado de plántulas	11,42	6,42									6,42	Jornales para traslado planta (en tractor)						
Control hormigas (jornales)	11,42	22,83									22,83	Jornales control de hormigas/año						
Formicidas (l)	16,00	16,00									16,00	Costo de insecticida/ha						
Encalado 1 (jornales)	11,42	62,11	37,27	18,63							118,01	Jornales para primera encalada (corona)						
Mezcla cal (300 gm/planta)	0,06	30,60	18,36	18,36							67,33	Costo de cal/ha (mezcla; 2 veces año 1; 2 veces año 2, 1 vez año 3)						
Control malezas 1 (jornales)	11,42	37,27									37,27	Costo de control de malezas/ha manual (plateo)						
Control malezas 2 (jornales)	11,42	37,27									37,27	Costo de control de malezas/ha manual (plateo)						
Costo uso tractor chapeas	29,53	59,06	59,06	29,53							147,64	Costo tractor/ha con guadaña; 3 horas de tractor limpieza entre surcos						
Poda (jornales)	11,42	93,17	46,58	46,58							186,33	Jornales poda árboles remanentes						
Raleo (árboles que salen)	0,07		186,97		609,05		995,06		4349,08	6140,16	Jornales raleo							
Vigilancia	11,42	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	246,61	Jornales vigilancia/ha/año						
Transporte	0,09		240,39		783,06		1279,37		5591,67	7894,50	Costo transporte/m3 producto aserrado							
Total costos		459,28	712,06	616,03	140,51	1419,52	27,40	2301,84	27,40	9968,15	15672,18	Sumatoria de costos						

Costos y beneficios de plantaciones forestales															
Especie: melina		Rotación	8 Año		2012 IMA		Nha <sup>-1</sup> inicial	816							
<b>Tierra</b>		Primer raleo productivo a edad				2		Cosecha final a edad				8			
Valor de la tierra (US\$ha <sup>-1</sup> )		Intensidad	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen %	US\$ ha <sup>-1</sup>	Transporte	Intensidad	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen %	US\$ ha <sup>-1</sup>	Transporte				
Area disponible (ha)		326	12,335	100	587,62	100	240	286,926	100	20875,58	100				
Valor total tierra		Segundo raleo productivo a edad				4		Costo de aprovechamiento US\$ m <sup>3</sup>							
% área plantable		Intensidad	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen %	US\$ ha <sup>-1</sup>	Transporte	Operación	R1	R2	R3	Cosecha				
		147	40,181	100	2714,62	100	Extracción	186,97	609,05	995,06	4349,08				
							Transporte	240,39	783,06	1279,37	5591,67				
							Total	427,36	1392,11						
<b>Costos establecimiento plantación</b>		Tercer raleo productivo a edad				6		Volumen m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>							
Preparación previa	431,87	Intensidad	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen %	US\$ ha <sup>-1</sup>	Transporte	Edad	Plantación	Raleo %	Poda	Raleo	Remanente	Total	Extraído	Remanente
Establecimiento	365,19	103	65,648	100	4776,31	100	0								
Encalado 1	92,72						1			816			6,16		
Desmalezado 1	133,59						2		40%	408	326	490	34,26	12,57	21,69
Vigilancia inicial	27,40						3			408			61,52		
Vigilancia anual	27,40						4		30%		147	343	133,94	36,93	97,01
Encalado 2	55,63						5						166,29		
Desmalezado 2	105,64						6		30%		103	240	218,83	61,09	157,74
Encalado 3	37,00						7						212,24		212,24
Desmalezado 3	76,11						8						286,93		
Poda 1	93,17														
Poda 2	46,58														
Poda 3	46,58														
Raleo 1	186,97														
Raleo 2	609,05														
Raleo 3	995,06														
Cosecha	4349,08														
Transporte 1	240,39														
Transporte 2	783,06														
Transporte 3	1279,37														
Transporte 4	5591,67														

Costos anuales		Actividad	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Manejo	90,66	Adquisición tierra	0									0
Arrendamiento tierra	500,00	Costo desarrollo	459,28									459,28
Mantenimiento	64,13	Establecimiento		365,19								365,19
Seguro incendios y otros	32,07	Encalado		92,72	55,63	37,00						185,34
Protección	32,07	Desmalezado		133,59	105,64	76,11						315,34
Cercado	20,00	Vigilancia		27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	27,40	219,21
Inventarios y medición	15,00	Podas		93,17	46,58	46,58						186,33
Certificación	12,00	Costo anual		830,93	830,93	830,93	830,93	830,93	830,93	830,93	830,93	6647,44
Investigación y desarrollo	15,00	Extracción			186,97		609,05		995,06		4349,08	6140,16
Apoyo social	20,00	Transporte			240,39		783,06		1279,37		5591,67	7894,50
Costos legales y adminst	30,00	Total costos	459,28	1542,99	1493,54	1018,02	2250,45	858,33	3132,77	858,33	10799,08	22412,79
TOTAL	830,93	Ingresos										
		PSA	918,95	459,47	183,79	137,84	91,89	45,95				918,95
		Venta madera			587,62		2714,62		4776,31		20875,58	28954,1363
		Otros ingresos										
		Total ingresos		459,47	771,41	137,84	2806,52	45,95	4776,31	0,00	20875,58	29873,09
		Ingresos-Costos	-459,28	-1083,51	-722,13	-880,18	556,07	-812,38	1643,55	-858,33	10076,49	7460,30
		IRR										22%
		VPN	(\$ 51,03)	(\$ 120,39)	(\$ 80,24)	(\$ 97,80)	\$ 61,79	(\$ 90,26)	\$ 182,62	(\$ 95,37)	\$ 1.119,61	\$ 828,92

## Anexo 2. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas

### 1. Antecedentes

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), es el responsable legal del financiamiento del sector forestal costarricense. Esta labor la realiza a través de dos modalidades a saber: pago por servicios ambientales y el crédito dirigido a pequeños y medianos productores. De acuerdo con los Términos de Referencia (TdR)<sup>11</sup> el FONAFIFO es el punto focal del REDD + y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP); se ha definido como una de las acciones estratégicas para REDD+, el aumento de la producción y consumo sostenible de madera, como una forma, entre varias, de aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

Por su lado, la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país, está constituida por 40 organizaciones de pequeños y medianos productores, industriales y comerciantes de la madera, grupos ecologistas, artesanos y productores de muebles.

Las dos instituciones han aunado sus esfuerzos para la ejecución de las tareas del RP y dentro de éste, la consultoría orientada a identificar los aspectos relevantes para estimular la reforestación comercial, ya sea mediante el empleo de prácticas tradicionales o el uso de sistemas agroforestales (SAF), incluyendo los sistemas silvopastoriles (SSP) para aumentar la producción de madera y por tanto la captura de carbono, necesario para la formación y acumulación de madera. Como resultado de la consultoría indicada, la estrategia REDD+ financiaría la ejecución de un proyecto coordinado por FONAFIFO y dirigido por la Oficina Nacional Forestal, (ONF) para el **“Fomento de la Reforestación comercial para la mejora y conservación de las Reservas de carbono”**, como parte de la estrategia para aumentar los acervos de carbono, una acción estratégica de REDD+.

### Objetivos

De acuerdo con los TdR, la consultoría tiene como objetivo general “Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono”, lo cual implica conocer las motivaciones de los productores actuales y potenciales para el establecimiento y manejo de plantaciones, utilizando diferentes métodos de plantación, incluyendo los sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Los objetivos específicos son:

- Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.

---

<sup>11</sup> FONAFIFO/FCPF/Donación TF012692. 2014. Términos de referencia para la contratación de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, San José, Costa Rica, FONAFIFO. 7 p.

- Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

Dentro del objetivo dirigido al desarrollo de paquetes tecnológicos, una de las tareas de la consultoría es la elaboración de un mapa de áreas potenciales para el cultivo de madera, para lo que se han planteado las siguientes tareas:

- a. Recopilar información cartográfica: suelos y fertilidad, lluvias y duración de sequía, uso actual y potencial, infraestructura, desarrollo social y desarrollo humano, PEA y disponibilidad de PEA;
- b. Elaborar diferentes capas con información cartográfica a escala 1:200.000 para obtener zonificación para las especies seleccionadas;
- c. Elaborar los mapas escala 1:200.000 con la zonificación para especies priorizadas

Una tarea previa a la elaboración del mapa fue el análisis de las especies utilizadas para proyectos de reforestación en Costa Rica. Se elaboró el documento “Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, que hizo el análisis de las principales especies utilizadas en el país para los diferentes proyectos de reforestación, desde los de carácter industrial (de tamaño grande y especies con mercado relativamente establecido) hasta pequeños proyectos familiares; el análisis incluyó los proyectos financiados tanto por la iniciativa privada, como aquellos que han contado con el pago por servicios ambientales por parte del FONAFIFO, o con financiamiento mixto.

Paralelo a la preselección de las especies se inició un estudio para evaluar la disponibilidad de madera en las plantaciones forestales establecidas hasta la fecha, mediante un muestreo de campo.

Un segundo análisis previo a la elaboración del mapa fue la determinación de las barreras para el establecimiento de plantaciones y reforestación a nivel nacional, dando como resultado el documento “Barreras que desalientan el cultivo de madera”.

Un tercer nivel de análisis fue una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre las especies seleccionadas por el Comité Evaluador del Proyecto, tanto en el ámbito nacional como a nivel externo.

Con la información aportada por estas etapas previas, se seleccionaron los principales indicadores para las especies, que permitieran priorizar áreas para el establecimiento de plantaciones (comerciales, sistemas agroforestales y silvopastoriles). Los indicadores seleccionados fueron: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas protegidas y otras áreas con bosque; no fue posible obtener información cartográfica de la tenencia (catastro); con la información se espera disponer de un mapa preliminar del área potencia para cada una de las especies seleccionadas (5 mapas a escala 1:200.000), los cuales, complementados con la información en paquetes tecnológicos diseñados para cada una de las especies, permitirían tomar decisiones respecto a la factibilidad de una especie en un sitio determinado. El trabajo de análisis cartográfico fue realizado con el apoyo del Ingeniero Freddy Argotty, consultor privado.

## Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en la consultoría, fue necesario diseñar un modelo de pesos ponderados el cual permite desarrollar un análisis multicriterio entre varios rasters. Análisis de este tipo generan resultados más robustos puesto que permiten darle mayor importancia a variables de significativa importancia que definen el establecimiento de las especies.

Se trabajó con ocho variables (altitud, pendiente, capacidad de uso, temperatura, precipitación, pH, suborden de suelos y meses secos). Todas las capas vectoriales se convirtieron en rasters manteniendo un marco de trabajo similar en todas las capas<sup>12</sup>. La resolución espacial fue seleccionada de acuerdo al raster con resolución más fina (altitud: 30 m).

### 1. Capa de información: Altitud

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM V2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model).

Descripción: La información fue obtenida a partir del modelo de elevación digital (DEM), de 30 metros de resolución espacial actualizado a 2011. Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y se proyectó a coordenadas CRTM05. Datos de elevación faltantes fueron calculados a partir de interpolación espacial zonal.

### 2. Capa de información: Pendiente

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model)

Descripción: A partir del DEM y bajo la herramienta “*slope*” del analista espacial de ArcGis fue generada esta capa para Costa Rica. Se determinó como unidad de medida de salida el porcentaje de pendiente.

### 3. Capa de información: Capacidad de Uso del Suelo 2004

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Se hizo una revisión de las categorías de capacidad de uso de suelo para Costa Rica. Las categorías VII y VIII se consideraron como limitante para el establecimiento de plantaciones puesto que se caracterizan por ser tierras que no reúnen las condiciones mínimas requeridas para cultivo o pastoreo, y solo se pueden utilizar en protección total. En esta capa existe el parámetro de áreas protegidas el cual fue restringido en el modelo. Esta información ha cambiado respecto a su distribución en el país, por lo que análisis posteriores permitirán extraer información más actualizada.

### 4. Capa de información: Temperatura

Formato: shape

---

<sup>12</sup> Un marco de trabajo en común es jerárquicamente significativo cuando se trabaja con rasters provenientes de diferentes fuentes y escalas, siendo a menudo prerrequisito para mejorar tareas de geo-procesamiento

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 5. Capa de información: Precipitación

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 6. Capa de información: pH

Formato: shape

Fuente: Harmonized World Soil Database V1.0

Descripción: el HWSD es un raster (30 arc-segundo) con cerca de 15000 diferentes unidades de mapeo de suelo que combina información actualizada a nivel regional y nacional y a escala 1:5000000. Las fuentes de esta capa son SOTER, ESD, Soil Map of China, ISRIC-WISE, FAO/UNESCO Soil Map of the World (FAO, 1971-1981). Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y proyectados a coordenadas CRTM05.

#### 7. Capa de información: Mapa digital de suelos de Costa Rica 2013

Formato: shape

Fuente: CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas)

Descripción: en 2009 empieza el cambio de información de suelos de formato analógico al digital y en 2013 se lanza el mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a escala 1:200000, el cual cuenta con una base de dato de 450 perfiles de suelo.

#### 8. Capa de información: Meses secos

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo, pero bajo el proyecto TERRA el número de meses secos para Costa Rica se separa y transforma a formato shape.

Fue necesario reclasificar todas las variables convirtiendo la información en datos “enteros”.

Para determinar el número de clases, se optó por conservar la información fuente, esto debido principalmente a que se quiso mantener las características de las capas originales bajo la resolución más fina (30 m).

Bajo parámetros técnicos, se asignó a cada variable y para cada especie diferentes pesos de acuerdo a su importancia relativa usando una escala común<sup>13</sup> (cuadro 1).

Para mejorar la distribución de la condición bajo la cual se establecen las especies, además de incluir las ocho variables y sus pesos de acuerdo a su importancia relativa, se determinó tres escenarios bajo los

---

<sup>13</sup> Según las características ecológicas y rangos de ocupación de cada especie

cuales se desarrollarían las especies (optimo, medio y deficitario) (Anexo 1). Cabe aclarar que los pesos para los tres escenarios se mantienen.

Cuadro 1. Pesos de acuerdo a la importancia relativa de las variables para teca.

Especie	Variable	Peso
Tectona grandis	Altitud	20
	Meses secos	15
	pH	13
	Sub orden de suelos	12
	Pendiente	11
	Capacidad de uso	11
	Precipitación media anual	10
	Temperatura media anual	8
Total		100

La selección de la mejor condición para Teca (*Tectona grandis*) se visualiza para cada variable de acuerdo a la figura 1 (se realizó el mismo procedimiento para cinco especies diferentes, incluyendo melina). Cabe aclarar que las áreas seleccionadas para reforestación con teca, no pueden sustituir áreas cubiertas con bosques (primarios o secundarios), así como tampoco estarán en áreas protegidas, razón por la cual este informe preliminar es una orientación de las áreas potenciales y a partir de un análisis posterior se permitirá conocer y seleccionar las áreas efectivas que representen la condición respectiva para cada especie.

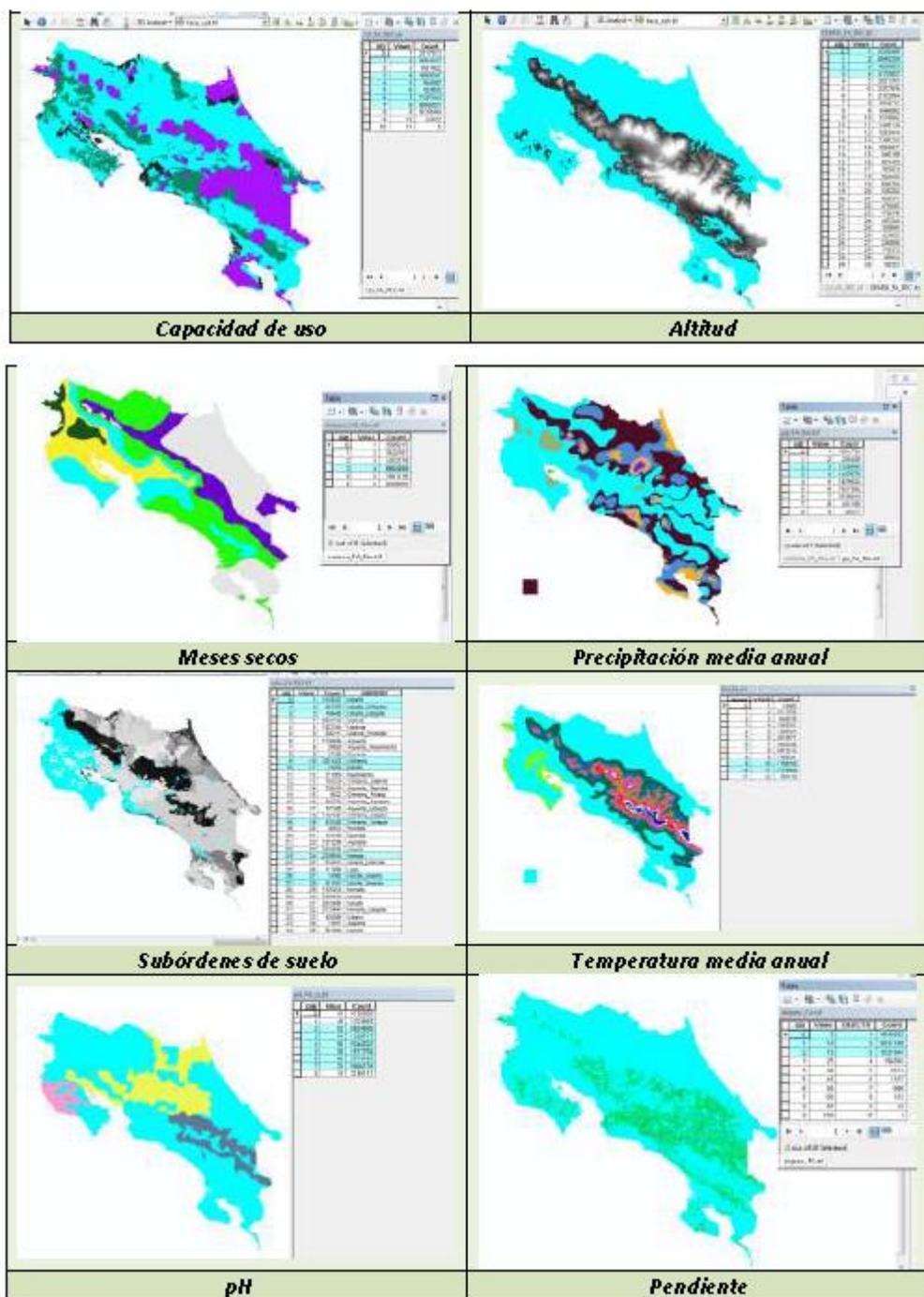


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Optima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica

Condición		Optimista						Medio						Deficitario							
Especie	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Teca	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24
Melina	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults, Humulfs	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23
Pino	sin restricción	5,0-6,5	<30%	<500	1000-2000	4	24-30	sin restricción	4,0-6,5	<35%	<800	1000-3200	2-6	22-30	sin restricción	<4,0	>35%	>800 hasta 1000	<1000 o >3200	>6	<22
Eucalipto	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	5,0-6,5	<25%	<600	1000-2500	1-3	22-30	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	4,8-6,5	25%-30%	500-800	1500-3000	1-3	22-32	sin restricción	<4,8	30-35	<1000	<1500 o >3000	>4	<22
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults, Humulfs	>5,2	<25	<600	1200-1800	2-4	22-28	Aquents, Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults,	5,0-6,2	25%-30%	400-800	1800-2500	3-4	20-30	sin restricción	<5,0	30%-35%	<1000	<1200 o >2500	>4	<20

**Fondo Nacional de Financiamiento Forestal  
Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica**

**Pino (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*): condiciones para su cultivo  
“Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las  
reservas de carbono”**

**Héctor A Martínez H  
Consultor**

**Moravia, Mayo de 2015**

## **Acrónimos**

ACT:	Área de Conservación Tempisque
AFE:	Administración Forestal del Estado
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BM:	Banco Mundial
CACH:	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha
CAF:	Certificado de Abono Forestal
CAFA:	Certificado de Abono Forestal por Adelantado
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CODEFORSA:	Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos
COOPEAGRI:	Cooperativa Agrícola Industrial y de Servicios Múltiples El General
CRUSA:	Fundación Costa Rica - USA
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FSC:	Forest Stewardship Council
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
IMA:	Incremento Medio Anual
ISO:	International Standard Organization
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
OET:	Organización para Estudios Tropicales
ONF:	Oficina Nacional Forestal de Costa Rica
PIB:	Producto Interno Bruto
PNUF:	Plan Nacional de Desarrollo Forestal
PSA:	Pago por Servicios Ambientales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TIR:	Tasa Interna de Retorno

## Contenido

Acrónimos.....	ii
Resumen ejecutivo .....	5
1. Antecedentes.....	6
<b>1.1 Marco de referencia</b> .....	6
<b>1.2 ¿Por qué pinos?</b> .....	7
2. Requerimientos biofísicos .....	7
2.1 Precipitación anual .....	7
2.2 Temperatura media.....	8
<b>2.3 Altitud</b> .....	9
2.4 Suelos .....	9
2.4.1 Textura .....	9
2.4.2 Drenaje .....	9
2.4.3 Reacción del suelo .....	9
2.4.4 Profundidad .....	9
3. Formas de reproducción y producción en vivero .....	12
<b>3.1 Reproducción por semillas y otras formas</b> .....	12
3.2 Tiempo en vivero.....	12
3.3 Fertilización y controles químicos .....	13
3.4 Preparación y envío.....	13
4. Establecimiento.....	14
4.2 Protección de las plantaciones .....	15
4.3 Selección del sitio .....	15
4.4 Preparación del suelo .....	16
4.5 El sitio y comportamiento de pino caribe.....	17
4.6 El fenómeno de la “cola de zorro” .....	21
4.7 Acidificación de los suelos como efecto de plantación de pinos .....	24
5. Manejo .....	26
5.1 Densidad de plantación .....	26
5.2 Control de malezas .....	27
5.3 Fertilización .....	27

5.4 Podas .....	27
5.5 Raleos .....	28
5.6 Crecimiento .....	29
5.7 Plagas y enfermedades .....	34
5.8 Cosecha .....	36
5.9 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión .....	36
<b>Literatura citada .....</b>	<b>37</b>
<b>Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas</b>	<b>41</b>

## Resumen ejecutivo

*Pinus caribaea* Morelet incluye tres variedades: *Pinus caribaea* Mor. var *caribaea* (típica) de Cuba y las Isla de los Pinos (de la Juventud), *Pinus caribaea* Mor. var *hondurensis* Barr. y Golf. nov. var en América Central y *Pinus caribaea* Mor. var *bahamensis* Barr. y Golf. nov. var. en Bahamas e Islas de Caicos; en la segunda mitad del siglo XX fue una de las especies más ampliamente plantadas a nivel mundial no solo para producción de madera para aserrío y producción de pulpa, sino para el control de erosión, como cortinas rompe vientos y como ornamental; la especie ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

La madera se utiliza en construcción (en Costa Rica como formaleta), manufactura de muebles y tableros y la fabricación de enchapados. Es una especie de crecimiento relativamente rápido, que crece bien en diferentes condiciones de suelos, aunque prefiere los suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas hasta arcillosos, profundos, planos o con pendientes inferiores al 30% y con pH entre 5,0 y 6,5, localizados a menos de 500 msnm, temperaturas entre 24º C y 30º C, precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya. Buena parte de la costa pacífica en la Provincia de Puntarenas y la costa caribe costarricense; el área óptima para el establecimiento de la especie en Costa Rica se puede estimar 756.768 ha de las cuales 39858 ha no presentan limitación alguna.

La silvicultura de la especie es conocida y existe experiencia técnica nacional y disponibilidad de información sobre la investigación realizada por centros especializados y universidades nacionales. Se propaga fácilmente por semillas y el germoplasma puede obtenerse fácilmente de bancos de semillas nacionales o regionales (Nicaragua, Honduras, Guatemala), provenientes de rodales seleccionados, por lo que no hay problemas para consecución de semillas.

Comúnmente se planta se recomiendan espaciamientos de 3,0 m x 3,0 m para una población inicial de 1100 árboles ha<sup>-1</sup>. En Costa Rica se ha propuesto regímenes de raleo de alrededor del 50% de intensidad a los 8 y 12 años en plantaciones de 15-25 años de rotación, manteniendo un índice de densidad de rodal de entre 483 y 759 árboles hasta el segundo raleo, cuando el índice baja a 207-483 árboles (Rojas y Ortiz 1991); en otras regiones con mayor experiencia en el manejo de la especie se han propuesto diferentes regímenes de raleo: en Queensland, Australia, en turnos de 30 años se recomiendan dos raleos, uno de carácter fitosanitario, con una intensidad de 30% - 34% a los 2-3 años y un segundo raleo sistemático del 40% a los 22 años; en Uganda, para ciclos de corta de 18 años se utiliza un primer raleo con intensidades entre 35% y 37% a los 4-6 años de edad y un segundo de carácter sistemático a los 8-9 años con una intensidad de 30%; en la Orinoquía colombiana, con ciclos de corta de 15 años la propuesta es un primer raleo de 50% de intensidad a los 8 años y un segundo de 50% al año 12, con cosecha final al año 15.

# **Pino (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W.H.G. — PINACEAE — Barrett et Golf. ): condiciones para su cultivo**

Héctor A Martínez H  
Consultor

## **1. Antecedentes**

### **1.1 Marco de referencia**

Los “Términos de Referencia para la contratación de la consultoría Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (TdR) establecen que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) es el responsable, según asignación legal, del financiamiento del sector forestal costarricense, mediante el financiamiento a través de dos modalidades: pago por servicios ambientales y crédito dirigido a pequeños y medianos productores. FONAFIFO es, además, el punto focal de REDD+ y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP), el cual ha definido como una de las acciones estratégicas para Redd+ el aumento de la producción y el consumo sostenible de madera, como una de las formas para aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

La consultoría indicada ha sido contratada por el FONAFIFO y responde ante un Comité Evaluador, nombrado por el Director Ejecutivo de FONAFIFO, del que forma parte la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país.

El objetivo general de la consultoría es: Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono.

El logro de este fin requiere el alcance de los siguientes objetivos específicos:

- a) Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- b) Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.
- c) Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

La promoción del establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera requiere, como paso previo, la identificación de las principales barreras a la actividad. Los términos de referencia para el presente trabajo de consultoría solicitan la elaboración de paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades, para cinco especies prioritarias. Previamente se elaboró un documento para la priorización de las especies<sup>1</sup> y entre ellas se seleccionó *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (pino).

---

<sup>1</sup> Martínez H., H.A. 2014. Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Moravia, Costa Rica, FONAFIFO (Fondo Nacional de Fomento Forestal). 39 p.

## 1.2 ¿Por qué pinos?

Los pinos son, después del eucalipto, el género más ampliamente plantado a nivel mundial y en América. La madera se utiliza en construcción (en Costa Rica como formaleta), manufactura de muebles y tableros y la fabricación de enchapados. Es una especie de crecimiento relativamente rápido, que crece bien en diferentes condiciones de suelos, aunque prefiere los suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas hasta arcillosos, profundos, planos o con pendientes inferiores al 30% y con pH entre 5,0 y 6,5, localizados a menos de 500 msnm, temperaturas entre 24° C y 30° C, precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya. Buena parte de la costa pacífica en la Provincia de Puntarenas y la costa caribe costarricense; el área óptima para el establecimiento de la especie en Costa Rica se puede estimar 756.768 ha de las cuales 39858 ha no presentan limitación alguna.

La silvicultura de la especie es conocida y existe experiencia técnica nacional y disponibilidad de información sobre la investigación realizada por centros especializados y universidades nacionales. Se propaga fácilmente por semillas y el germoplasma puede obtenerse fácilmente de bancos de semillas nacionales o regionales (Nicaragua, Honduras, Guatemala), provenientes de rodales seleccionados, por lo que no hay problemas para consecución de semillas.

## 2. Requerimientos biofísicos

### 2.1 Precipitación anual

*P. caribaea* Morelet es una especie de árbol ampliamente comercializada por su madera, introducida intencionalmente en todo el mundo para establecer plantaciones forestales desde la segunda mitad del siglo XIX. Se clasifica como una especie invasora que causa graves problemas a los hábitats naturales en Bangladesh, Brasil, Australia, las Islas Cook, Hawái, Guam, Nueva Caledonia y la Polinesia Francesa (Oppenheimer, 2003; Afrin et al, 2010;. Departamento de Agricultura de Queensland, Pesca y Silvicultura, 2010; Simberloff et al, 2010; PIER, 2013).

Lückhoff (1964) concluyó que la especie debe subdividirse en tres taxa para cubrir las proveniencias de (a) Cuba, (b) América Central y (c) Las Bahamas y las Islas de Caicos; adicionalmente propone el uso del término “subespecies” en lugar de variedades.

Barrett y Golfari (1962), en forma paralela a Lückhoff, llegaron a la misma conclusión que éste, pero proponen el uso de variedades (aceptado actualmente):

- a) *Pinus caribaea* Mor. var *caribaea* (típica) de Cuba y las Isla de los Pinos (de la Juventud);
- b) *Pinus caribaea* Mor. var *hondurensis* Barr. y Golf. nov. var en América Central;
- c) *Pinus caribaea* Mor. var *bahamensis* Barr. y Golf. nov. var. en Bahamas e Islas de Caicos.

*Pinus caribaea* se extiende desde los 27° 25' N en Gran Bahamas y Gran Abaco, hasta 12° 13' N al norte de Bluefields en Nicaragua, y desde 71° 40' W en las Islas de Caicos, hasta 89° 25' W en Poptun en Guatemala.

*P. caribaea* var. *hondurensis* forma los bosques naturales de pino de Belice, desde la costa en la vecindad de Stann Creak, hasta 200 km dentro del territorio, en alturas entre 460 m y 760 m, principalmente en el área de Mountain Pine Ridge. En Guatemala la misma variedad forma pequeños bosquetes naturales abiertos, pero particularmente de gran calidad a elevaciones de aproximadamente 460 m, principalmente en la vecindad de Poptún (en el departamento de El Petén, Guatemala). La ocurrencia en estas áreas representa la penetración más al oeste de la especie (CABI 2014).

Bosques puros de la variedad *hondurensis* ocupan grandes área a lo largo de de la Mosquitia hondureña. Ocasionalmente pueden llegar a 900 msnm en las montañas interiores. En Nicaragua los bosques de *P. caribaea* están mayormente confinados a la Mosquitia y son prolongación de los bosques de la llanura costera hondureña (Poynton, 1977). *P. caribaea* y sus variedades fueron introducidas en forma intencional en plantaciones forestales en más de 50 países tropicales y subtropicales durante los siglos XIX y XX (Richardson, 1998).

La precipitación en la que se desarrolla la especie varía entre 660 y 4.000 mm (CABI 2014); de acuerdo con Lamb (1973) la especie se presenta en forma natural en sitios con 1060 mm anuales en la costa sur de Cuba hasta 1794 mm en Nueva Gerona (Isla de los Pinos o la Juventud); en las Bahamas se desarrolla en sitios con precipitaciones de 1.200 a 1.500 mm año<sup>-1</sup>; en América Central se localiza en Belice (Mountain Pine Ridge) en áreas con precipitación de 1.500 mm año<sup>-1</sup>, mientras en Poptun, Guatemala, la precipitación es de 1.690 mm, en el interior de Honduras y Nicaragua la precipitación de las áreas de distribución natural de la especie tienen 1.200 y 1.500 mm anuales. A medida que la especie se acerca a la costa caribe se incrementa la precipitación llegando a 3.900 mm en el extremo sur de la distribución natural, cerca de Bluefields.

En buena parte de la distribución natural se presenta una estación seca (menos de 75 mm) que puede extenderse de 2 a 5-6 meses, mientras que los sitios con mayor precipitación tienen periodos de menor precipitación (no inferior a 75 mm) de dos meses o menos. La excepción es la parte alta del valle de Choluteca en Honduras (700 m sobre el nivel del mar) con menos de 660 mm anuales y hasta seis meses con menos de 40 mm de precipitación.

## **2.2 Temperatura media**

La temperatura anual promedio del área de distribución en las Bahamas es de 25° C. En Cuba, en los sitios con pino caribeño, la temperatura anual promedio varía entre 24,5° C y 25,5° C y en la América Central entre 20° C y 27° C (Bega y Henderson 1962). No hay heladas en la totalidad de su área de distribución. En la América Central, la especie crece en las zonas de vida (sensu Holdridge 1967): bosque tropical seco, bosque tropical húmedo, bosque premontano húmedo y bosque premontano muy húmedo (Borota 1971). En el Caribe, los rodales nativos se encuentran confinados casi por completo a la zona de vida del bosque subtropical húmedo. En las zonas costeras los extremos son menos pronunciados variando entre 15,6° C y 32,3° C (Lamb 1973).

Las temperaturas medias oscilan entre 22° C y 28° C. En las islas donde *P. caribaea* crece en forma natural, en lugares donde la temperatura varía desde 22,1° C en el mes más frío (enero), hasta 28,3° C durante el mes más caliente (agosto); en Cuba este rango varía entre 12,3° C y 34,1° C. En el interior de América Central las temperaturas generalmente varían entre 22° C y hasta 28° C (Lamb 1973).

## 2.3 Altitud

La especie crece desde el nivel del mar hasta los 700 msnm (Barret y Golfari 1962; Lückhoff 1964; Lamb 1973); CABI (2014) indica que la especie se alcanza los 850 msnm en algunos lugares de América Central.

## 2.4 Suelos

### 2.4.1 Textura

Los bosques naturales de la especie se desarrollan sobre suelos de origen calcáreo con pH superior a 5,0; Simmons, citado por Lückhoff (1964) indica que en Poptún, en rodales naturales de la especie, en los primeros 50 cm de profundidad los suelos son arcillosos, con concreciones de manganeso y reacción ligeramente ácida; a más de 50 cm y hasta un metro el subsuelo es arcilloso, con mayor presencia de manganeso y poca reacción ácida.

En la costa caribe de Belice, Honduras y Nicaragua los suelos son generalmente limosos o limo-arenosos, generalmente con presencia de grava y bien drenados (Lamb 1973).

Los suelos son generalmente arcillosos o arcillo arenosos, a veces con grandes cantidades de grava y generalmente bien drenados. El pH es por lo general entre 5,0 y 5,5.

### 2.4.2 Drenaje

La especie presenta el mejor crecimiento en suelos profundos, húmedos, bien drenados y con buen suministro de nutrimentos. Sin embargo en los bosques naturales de la costa de la Mosquitia hondureña y nicaragüense se pueden encontrar áreas parcialmente inundables durante periodos cortos (CABI 2014).

### 2.4.3 Reacción del suelo

Los mejores crecimientos se dan en suelos con pH arriba de 5,0, generalmente arriba de 5,5. La especie se ha plantado en diversidad de suelos, aunque sus mejores crecimientos se han presentado en suelos sueltos, bien drenados, incluyendo mollisoles, inceptisoles, ultisoles y oxisoles (Barret y Golfari 1962; Lamb 1973; Alvarado et al. 2012; CABI 2014).

### 2.4.4 Profundidad

La especie requiere suelos profundos (> 80 cm), sueltos y bien drenados. El cuadro 1 presenta un resumen de los requerimientos biofísicos de la especie.

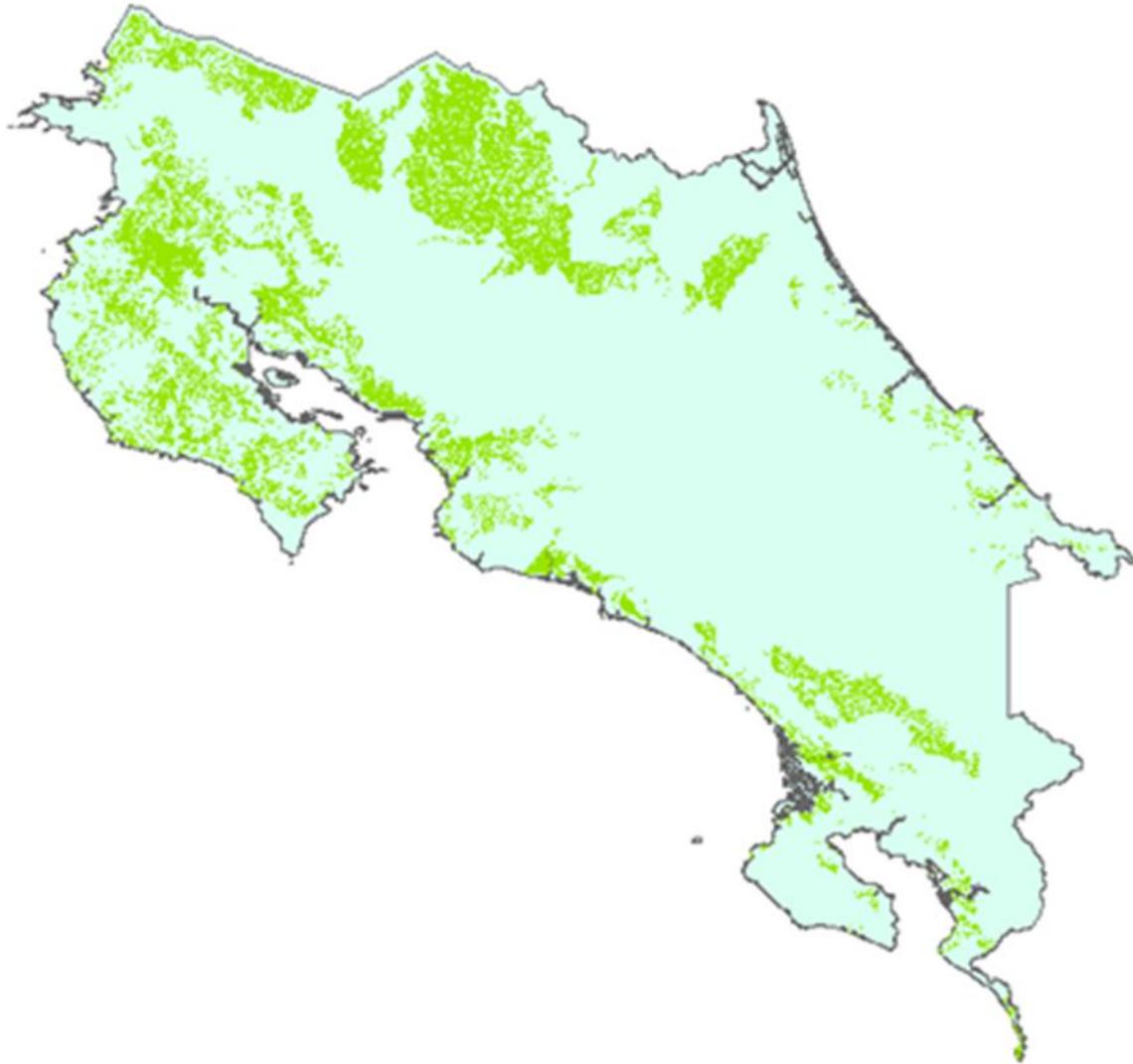
Cuadro 1. Requerimientos biofísicos, rendimiento y producción de <i>Pinus caribaea</i> en Costa Rica											
Rango	Requerimientos biofísicos						Incremento medio anual				
	pH	Pendiente (%)	Altitud (msnm)	Precipit (mm año <sup>-1</sup> )	meses secos	Rango temp °C	dap (cm año <sup>-1</sup> )	Altura (m año <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Área basal (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Alto	5,0-6,5	< 30	< 500	1000-2000	4	24-30	≥ 2,0	≥ 1,5	≥ 30	≥ 3,0	≥ 20,0
Medio	4,0-6,5	< 35	< 800	1000-3200	2-6	22-30	1,6 - 1,9	1,1 - 1,9	20,1 - 29,9	2,1 - 2,9	12,1 - 19,9
Bajo	≤ 4,0	> 35	>800 - 1000	<1000 o >3200	>6	< 22	≤ 1,5	≤ 1,0	≤ 20	≤ 2,0	≤ 12

Fuente: Elaboración propia; rendimientos tomados de Vazquez y Ugalde, 1995

Crece bien en diferentes condiciones de suelos, aunque prefiere los suelos sueltos, bien drenados, de texturas livianas francas, franco-arenosas, franco-arcillo arenosas hasta arcillosos, profundos, planos o con pendientes inferiores al 30% y con pH entre 5,0 y 6,5, localizados a menos de 500 msnm, temperaturas entre 24º C y 30º C, precipitaciones entre 1000 y 2000 mm anuales y cuatro meses secos. Estos sitios se distribuyen en Guanacaste, incluyendo la Península de Nicoya, buena parte de la costa pacífica en la Provincia de Puntarenas y la costa caribe (Mapa); el área óptima para el establecimiento de la especie en Costa Rica se puede estimar 756.768 ha de las cuales 39858 ha no presentan limitación alguna.

Con menos suceso en el comportamiento de las plantaciones se pueden considerar las áreas hasta 800 msnm y pendientes de hasta 35%, con precipitación que varía entre 1000 y 3200 mm anuales con estación seca de 2-6 meses y temperaturas entre 22º C y 30º C. al área anterior se puede sumar un área de 84.145 ha adicionales.

Otras áreas en las que la especie puede crecer con muchas limitaciones corresponde a zonas con pH < 4,0, más de 35% de pendiente, que puede extenderse hasta los 1000 msnm, con precipitaciones menores a 1000 mm anuales o superiores a 3200 mm; estas condiciones adicionan 146.430 ha al área de posible plantación.



**Áreas con potencial para el establecimiento de plantaciones de *Pinus caribaea* (áreas consideradas óptimas).**

Fuente: elaboración propia a partir de capas de información geográfica.

### 3. Formas de reproducción y producción en vivero

#### 3.1 Reproducción por semillas y otras formas

La especie se reproduce comúnmente por semillas provenientes de rodales seleccionados o adquiridas a través de Bancos de Semillas especializados.

Los frutos son conos oblongos, de color café claro, asimétricos, de 6 a 14 cm de largo y 2,8 a 4,8 cm de ancho cuando cerrados y 6 a 7,5 cm cuando abiertos, con pedúnculo corto de hasta 1,0 cm de largo, caedizos, con escamas delgadas y flexibles (Greaves 1978). En su área de distribución natural los conos alcanzan la madurez entre junio y julio en sitios costaneros y de julio a agosto en las tierras altas del interior. Los conos almacenados en forma inadecuada son fácilmente susceptibles de infestaciones con mohos fungosos, que pueden causar problemas durante la germinación. La infestación con hongos es común en las semillas provenientes de áreas con alta precipitación.

Las semillas son ligeramente ovoides, de 6,5 mm de largo y 3,5 mm de ancho con 2 mm de grosor; su color varía de pardo claro a castaño y hasta negruzco. Poseen un ala membranosa que se desprende fácilmente y los embriones poseen cinco a nueve cotiledones. Generalmente hay entre 50.000 y 60.000 semillas por kg; se han reportado porcentajes de germinación de 80 a 95% y porcentajes de pureza de 95 a 99%.

Se ha reportado la presencia de hongos como *Mucor*, *Curvularia*, *Botryodiplodia*, *Trichoderma* y *Fusarium roseum* en lotes de semillas. En el vivero es común el “mal de talluelo” (Damping off).

Hay varios hongos conocidos que causan manchas en las acículas de los pinos, probablemente el más peligroso es *Scirrhia acicola*, que causa pérdidas muy grandes en los viveros y plantaciones jóvenes de *P. caribaea*; para su control se usa Caldo Bordelés (sulfato de cobre y cal viva) en solución de 2% en agua. En Honduras se ha observado la decoloración de las acículas, la enfermedad aparece de 6 a 8 semanas después de la germinación, el crecimiento de la plántulas cesa, las acículas primarias se vuelven de color amarillento, las acículas inferiores se ponen de color castaño rojizo y finalmente mueren; asociado con estos síntomas se identificó el hongo *Pestalotia*, sp. (saprófito oportunista).

#### 3.2 Tiempo en vivero

En las zonas tropicales generalmente la producción de plántulas se realiza en recipientes (bolsas de polietileno, tubetes de cartón o papel kraft, o, últimamente, la utilización de pellets de turba), aunque en condiciones controladas se puede utilizar la producción a raíz desnuda.

Aun cuando se considera que la poda de raíces eleva los costos de producción, la práctica permite producir plantas de mejor calidad, mejor adaptadas que garantizan una mejor plantación y por tanto mayores rendimientos en el largo plazo.

Al utilizar la producción a raíz desnuda, debe ponerse cuidado a la calidad de las plantas, el método de embalaje y la manipulación al plantar; el secamiento de las raíces es uno de los mayores retos. Las plántulas requieren de un periodo de endurecimiento fisiológico que permita la lignificación adecuada

del tallo; las plántulas deben ser seleccionadas por su sanidad, forma y coloración (no mostrar síntomas de deficiencias).

La germinación es de tipo epigea y se inicia a los siete días después de la siembra, en la mayoría de los casos al cabo de 15 días el 80% de la semilla ha germinado; las semillas pueden sembrarse directamente en bolsas plásticas, con una o dos semillas por bolsa, o en cajas germinadoras. Las semillas no son inactivas, pero en algunos lugares se utiliza la inmersión de las semillas en agua limpia por periodos de 12 horas, seguidos de una estratificación en frío (4-5º C) para obtener una germinación abundante y uniforme (CATIE 2000).

El proceso de germinación tarda se 12 a 15 días. En los germinadores, una vez las plántulas alcanzan 3 a 4 cm de altura y adquiere la forma de fosforito, son trasplantadas a bolsas. Para el mejor desarrollo de la especie se recomienda utilizar sustratos moderadamente ácidos (pH 5,0-5,5). La producción de plántulas en viveros requiere de 4-6 meses, para favorecer el endurecimiento de las plántulas. Al inicio es necesario aplicar micorrizas provenientes de suelos de plantaciones maduras para estimular el desarrollo de las plántulas (Vega 1964). Las plantas están listas para ir al campo definitivo cuando alcancen los 25-30 cm (Napier y Willan 1983).

### **3.3 Fertilización y controles químicos**

Estudios sobre fertilización de coníferas en Andisoles de Colombia a partir de 1971 (Ladrach 1980, citado por Alvarado et al 2012), comprobaron la enorme respuesta que estas especies tienen a la aplicación de P>B>N, elementos que permiten aumentar el crecimiento de los árboles y el volumen de madera producido. En el caso del B, su deficiencia se reconoce porque los árboles de pino y ciprés presentan una apariencia achaparrada y porque su aplicación reduce la bifurcación y la incidencia del secamiento terminal.

La adición de 4 aplicaciones de fertilizante foliar al 1% de 10 macro y micro nutrientes con intervalos de un mes en plántulas de *P. caribaea* en dos tipos de suelo (rojos y derivados de pizarras), aumentó el peso de las plántulas y duplicó el Mg foliar, efecto que es más notorio en los suelos derivados de pizarras. En suelos ácidos, franco arcillosos y poco profundos de Pinar del Río, Cuba, la adición de 1 g por plántula de 8-10-10 después de germinada la semilla favoreció el desarrollo de los arbolitos (Herrero et al. 1985). Si la especie se introduce a un sitio nuevo, debe inocularse con micorrizas, para lograr su prendimiento y un mejor crecimiento (Vega 1964).

### **3.4 Preparación y envío**

En bandejas de hasta 30 plántulas (en bolsas de polietileno de 4" x 6" o 4" x 8") o de 96 a 150 plántulas en "jiffys"; cada vivero define la cantidad y arreglos necesarios para garantizar la cantidad adecuada, de acuerdo al método de plantación seleccionado. Las plántulas criadas en bolsa generalmente salen con una altura de 20 cm -30 cm, mientras que plántulas en jiffys pueden tener entre 10 cm y 30 cm. A menor altura de las plántulas, mayor exigencia con el control de malezas en el campo.

## 4. Establecimiento

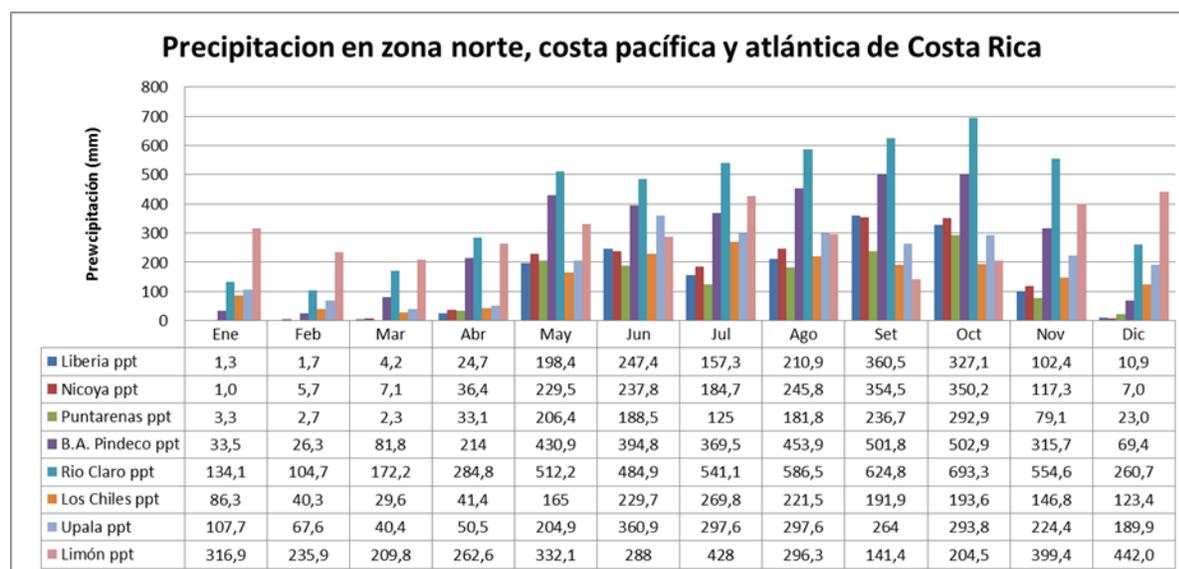
### 4.1 Época de establecimiento

Las plántulas y el sitio deben estar listos para el establecimiento de la plantación al inicio de la época de lluvias, para aprovechar toda la estación de crecimiento. En Costa Rica este periodo inicia regularmente a finales de mayo o inicios de junio y se extiende hasta noviembre (Guanacaste, costa pacífica y zona norte).

El establecimiento debe realizarse en días frescos, preferentemente en la mañana, y con altas posibilidades de lluvia, que reduzcan la transpiración de las plantas. Cuando se utiliza el método de raíz desnuda, la plantas deben protegerse con musgo, papel periódico o granza de arroz, para evitar la desecación y la exposición directa al sol.

Plántulas en envases pueden crecer inicialmente más rápido que las de raíz desnuda, sin embargo el crecimiento puede igualarse al cabo de un tiempo. Cualquiera sea el método de producción, las plantas deben alcanzar los 25 – 30 cm de altura al ir al campo; el mayor limitante para el uso de plantas en envases es el costo (adquisición de sustrato, transporte, plantación en campo).

En el área de Buenos Aires las lluvias sobrepasan los 100 mm mensuales a partir de abril y la estación seca se extiende de diciembre a marzo; en el área de Río Claro todo el año la precipitación es superior a 100 mm (febrero es el mes de menos lluvias con 105 mm), por lo que se podría plantar en cualquier época al igual que en el área de Limón, donde hay una estación de menos lluvias en los meses de septiembre y octubre, aunque con precipitaciones superiores a 140 mm (figura 1).



**Figura 1. Distribución mensual de las lluvias en sitios seleccionados de la zona norte, costa pacífica y atlántica de Costa Rica.**

Fuente: Elaboración propia a partir de, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. En línea.

[http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?\\_EVENTTARGET=LinksInfoClimatica](http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?_EVENTTARGET=LinksInfoClimatica)

Los sitios para plantación deben estar listos al inicio de las lluvias. Normalmente en los sitios donde crece naturalmente la especie, en la llanura atlántica centroamericana, se presentan incendios que estimulan el crecimiento inicial de la regeneración, por lo que algunos autores han sugerido que el uso del fuego como herramienta para preparar los sitios de plantación es una herramienta adecuada, teniendo el cuidado de controlar adecuadamente el fuego.

#### **4.2 Protección de las plantaciones**

Como con todas las plantaciones forestales, se hace necesario proteger a las nuevas plantaciones del fuego, especialmente en la época seca, mediante el establecimiento de rondas cortafuegos, así como del ingreso de animales que pueden no solo pisotear sino, además quebrar los plántones recién establecidos.

La protección contra el fuego se hace estableciendo “rondas o barreras cortafuego” (camino de hasta 4 m de ancho) bordeando las plantaciones, para disminuir el riesgo de ingreso del fuego desde el exterior, facilitar el movimiento de vehículos y personal de control, así como personal de bomberos. La presencia de guardias, especialmente en la época de mayor riesgo, constituye una práctica adecuada de protección.

#### **4.3 Selección del sitio**

La especie se ha empleado en planes de reforestación en diferentes países latinoamericanos debido a su plasticidad ecológica, adaptabilidad a condiciones adversas (desde suelos ácidos, pobres y pedregosos), fácil manejo y crecimiento rápido. Como conífera, habita en suelos poco fértiles, aunque las plantaciones establecidas en sitios muy degradados y marginales no presentan los rendimientos que corresponden al potencial de la especie (Herrero *et al.* 2004).

En diferentes regiones del trópico americano se ha correlacionado la incidencia de variables ambientales sobre el índice de sitio de *P. caribaea*, incluyendo las características físicas y químicas de los suelos (Isolán 1972; Tobar 1976; Ortega 1986; Vázquez 1987; Vázquez y Ugalde 1994). En general, se considera que la productividad de la especie disminuye conforme aumenta la altura sobre el nivel del mar (Vázquez 1987; Vázquez y Ugalde 1994) y algunas propiedades físicas del suelo, como el mal drenaje, nivel freático cercano a la superficie, densidad aparente alta, o poca profundidad efectiva (< 80 cm) pueden limitar su crecimiento (Isolán 1972; Ortega 1986; Vázquez 1987; Zamora 1986). Márquez *et al.* 1994 mencionan que texturas gruesas, son la causa de la baja retención de humedad del suelo, lo que aunado a la escasa precipitación pluvial desencadenan la muerte súbita en plantaciones de pino en Monagas, Venezuela.

Las condiciones óptimas para el crecimiento de la especie incluyen un pH de entre 5,0 y 5,5, altitud menor a 500 msnm, 1000 a 2000 mm de precipitación anual y con hasta 4 meses secos y temperatura promedio entre 24° C y 30° C. El cuadro 2 presenta los promedios de temperaturas máximas y mínimas en zonas seleccionadas de Costa Rica.

**Cuadro 2. Promedios de temperaturas máximas y mínimas mensuales en ocho estaciones meteorológicas de Costa Rica.**

Meses	Liberia		Nicoya		Puntarenas		B.A. Pindeco		Río Claro		Los Chiles		Upala		Limón	
	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max	t min	t max
Ene	20,7	33,4	22,5	33,8	23,7	30,2	19,3	31,9	21,1	32,3	20,8	29,9	21,0	29,2	20,7	28,9
Feb	21,2	34,4	22,7	35,3	24,2	30,9	19,1	33,1	21,4	33,2	20,5	30,9	20,7	30,5	20,7	29,1
Mar	21,6	35,4	23,4	36,1	25,0	31,5	19,9	33,5	21,9	33,6	20,6	32,6	20,9	31,8	21,3	29,7
Abr	22,7	35,9	24,1	36,6	25,3	30,8	21,1	32,4	22,5	32,8	22,0	33,8	21,7	33,2	22,0	30,1
May	23,4	33,9	24,0	34,5	24,7	29,9	21,3	31,0	22,4	31,8	22,8	32,9	22,6	32,6	22,8	30,4
Jun	23,2	32,0	23,5	33,0	23,9	29,2	21,2	30,5	22,2	31,4	23,1	31,7	22,9	31,5	22,9	30,3
Jul	22,8	32,1	23,3	32,9	23,6	29,1	20,9	30,3	22,0	31,2	22,9	30,8	22,8	30,7	22,6	29,6
Ago	22,6	32,1	23,3	32,8	23,7	29,2	20,9	30,5	21,9	31,3	23,1	31,5	22,7	31,2	22,5	30,1
Set	22,4	31,3	23,1	32,3	23,4	28,8	20,7	30,5	21,9	31,3	22,7	32,3	22,5	32,1	22,5	30,6
Oct	22,3	30,9	23,0	31,4	23,3	28,0	20,8	29,7	22,0	30,6	22,6	31,8	22,4	31,4	22,3	30,4
Nov	21,5	31,6	22,9	31,7	23,5	28,5	20,9	29,8	22,1	30,6	22,0	30,5	22,1	29,7	22,0	29,4
Dic	21,0	32,5	22,6	32,8	23,6	29,4	20,3	30,8	21,6	31,4	21,9	29,9	21,5	29,0	21,2	28,9
Promedio	22,1	33,0	23,2	33,6	24,0	29,6	20,5	31,2	21,9	31,8	22,1	31,6	22,0	31,1	22,0	29,8

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

#### 4.4 Preparación del suelo

Para plantaciones de alto rendimiento se recomienda preparación completa del suelo (ruptura de capas endurecidas producidas por el uso anterior. mediante subsolado) arado, alomillado y ahoyado profundo para la postura de las plántulas. Algunos autores recomiendan el uso del fuego como método de preparación por los beneficios derivados de la presencia de cenizas, el control de plagas (Rojas y Ortiz 1991).

En sitios con suelos profundos es recomendable la utilización de hoyos de 20-30 cm de profundidad; en sitios en pendiente se debe utilizar medidas de prevención de la erosión (curvas a nivel y plantación al tresbolillo), además de medidas como terracetos individuales; estas últimas prácticas elevan los costos de establecimiento.

Loaiza (1967) citado por Alvarado et al. (2012), observó que en suelos de baja fertilidad en Turrialba, Costa Rica, la adición de 30 g por árbol del fertilizante 14-14-14 cada 15 días después del trasplante en plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis*, alcanzaron un crecimiento promedio acumulado en altura fue de 52 cm con fertilización y 42 cm sin fertilizante en seis meses (ganancia neta de 7%). De manera similar, en Colombia, Kane (1992) observó que en suelos ácidos, infértiles y bien drenados, con eliminación de malezas con herbicidas, la aplicación de 80 g por árbol de 12-24-12 a los dos meses después del trasplante, causó un volumen tres veces mayor y un aumento en altura, en comparación con otras parcelas a las que no se les fertilizó, a los 20 meses después de la aplicación; sin embargo, la fertilización en franjas con 90 g de N por árbol en forma de urea causó mortalidad. En Colombia, si los suelos son de muy baja fertilidad, además se recomienda la adición de 40 g de cal dolomítica y 5 g de bórax por árbol (4,2 kg ha<sup>-1</sup>) a la siembra o inmediatamente después de la misma.

El efecto de la adición de P a esta especie en suelos ácidos, también fue estudiado por Kane y Vale (1994). En este caso, a los dos meses después de la siembra, se aplicó y se incorporó con rastra el P en una franja de 1 m de ancho; 20 meses después se encontró que la adición de superfosfato a razón de 50 kg ha<sup>-1</sup> duplicó el volumen de madera (1,78 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), mientras que el testigo solo alcanzó un volumen de 0,92 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Cuando el tratamiento consistió en adicionar la roca fosfórica a razón de 50 kg ha<sup>-1</sup> el

volumen fue de 1,33 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (45% superior al testigo). La aplicación de P causó una baja concentración foliar de K, lo que sugiere la necesidad de aplicar K con el P.

#### 4.5 El sitio y comportamiento de pino caribe

Francis (1989) indica que dentro de ciertos límites climáticos aceptables, el pino caribeño es notablemente insensible a las condiciones del suelo. A pesar de que esta especie crece mejor en suelos fértiles, puede crecer bien en tierras agotadas de nutrientes y erosionadas, tales como los campos petroleros. En las Bahamas y en las Islas Caicos, los árboles de esta especie crecen en suelos de ligeramente alcalinos a moderadamente alcalinos (pH de 7.5 a 8.5) (10). En Cuba y la América Central, el pino caribeño crece en suelos de intensamente ácidos a ligeramente ácidos (pH de 4.5 a 6.5). Los árboles de fuentes centroamericanas crecen de manera pobre o mueren en suelos con un pH arriba de 7.0. El pino caribeño puede crecer de manera aceptable en suelos que tienen subsuelos saturados por parte del año, pero no prosperará en los sitios pantanosos.

Dentro de las plantaciones de pino caribeño de Puerto Rico, el tipo de suelo (Inceptisoles, Ultisoles y Oxisoles) evidentemente no tiene ningún efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento (Peña y Castillo 1981). Sin embargo, en las arenas profundas de las sabanas en el área este de Venezuela que reciben 1000 mm por año de precipitación (>120 cm de profundidad antes de encontrar un aumento en el contenido de arcilla) y en suelos con un nivel de agua subterránea mantenido por un estrato impermeable durante la temporada lluviosa, el pino caribeño perece o crece de manera muy pobre (Franco y Acosta 1984).

Ortega 1986 y Vázquez 1987 indican que el crecimiento de *P. caribaea* es influenciado positivamente por la presencia de niveles adecuados de Cu y valores de pH neutros (Vázquez 1987). En Costa Rica se ha observado una correlación positiva entre el aumento en la altura de los árboles y los contenidos de Ca y Mg en el suelo (Zamora 1986). En Oxisoles y Ultisoles de Venezuela las variables que más se asociaron positivamente con el índice de sitio fueron el porcentaje de arena (A) y la conductividad eléctrica (B) del horizonte B y en forma negativa, el contenido de N en el horizonte A (C), de acuerdo a la ecuación  $IS = 9,056 + 0,106A + 0,852B - 52,737C$  (Tobar 1976).

Waterloo (1994), trabajando en Mollisoles y Oxisoles del Pacífico Polinesio, indica que los requerimientos nutricionales de *P. caribaea* son mayores antes del cierre del dosel de la plantación, reduciéndose marcadamente entre los 6 y 11 años. Lo anterior se atribuye a la liberación de nutrimentos, producto de la muerte del sotobosque que ocurre al cerrarse el dosel (especialmente K), así como al reciclaje de nutrimentos proveniente de la adición de hojarasca (5-9 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) que puede aportar cantidades significativas de Ca, Mg y B. Más del 70% de los residuos de *P. caribaea* se descomponen sobre el suelo entre los 18 y 20 meses, liberándose el 60% del K en los primeros 3 meses y menos del 50% del N, Ca, P y Mg hasta los 18 meses después por lo que estos elementos tienden a acumularse en el suelo.

Los niveles foliares de deficiencia, marginales y adecuados para la especie, definidos por Boardmann et al. (1997) se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Valores tentativos para interpretar niveles foliares de nutrimentos en plantaciones de *P. caribaea* (adaptado de Boardmann *et al.* 1997).**

Elemento	Deficiente	Marginal	Adecuado
N (%)	< 0,80	0,9	1,29
P (%)	< 0,06		0,17
K (%)	< 0,3		
S (%)		0,03	0,089
Ca (%)	< 0,11		
Mg (%)	< 0,80		
Cu (ppm)	< 2,0		7,3
Zn (ppm)			21,55
B (ppm)	4,5	< 10	33

Fuente: tomado de Alvarado *et al.* 2012

**Absorción de nutrimentos:** El cuadro 3, tomado de Alvarado *et al.* 2012, presenta la cantidad de nutrimentos inmovilizados en diferentes partes de la biomasa y mantillo de plantaciones de *Pinus caribaea* en Brasil y Nigeria. De acuerdo con Waterloo (1994), la extracción de nutrimentos de *P. caribaea* en plantaciones de Fiji fue del orden de 235 N, 30,5 P, 132,6 K, 102,6 Ca, 66,7 Mg, 1,6 Zn, 14,4 Mn y 0,30 B kg ha<sup>-1</sup>; en general, el máximo de absorción de los elementos Mg y P se alcanza al año 11, mientras que el de N, K, Ca no se logra aún al año 16. Para la misma especie, Graff (1982) menciona que la extracción de 200 t ha<sup>-1</sup> (71% del total) de madera como pulpa para papel en Surinam puede remover 576 kg N (6%), 36 kg P (22%), 506 kg K (30%), 1218 kg Ca (37%) y 99 kg Mg (24%).

Como puede verse en la información, la remoción de la madera producida durante la cosecha (fustes y ramas gruesas) remueve parte de los nutrimentos del suelo. Una forma de disminuir el impacto consiste en dejar las hojas y ramas en el sitio, para propiciar la reincorporación de nutrimentos; para compensar las salidas se puede utilizar la adición de nutrimentos mediante fertilizantes.

**Fertilización de mantenimiento en plantaciones:** En suelos ácidos (pH 4,2 en agua), franco arcillosos y poco profundos de Pinar del Río, Cuba, Herrero *et al.* (2004) mencionan que la especie responde favorablemente a la aplicación de P, aunque los mejores rendimientos se obtienen con la adición de fórmulas con N, P y K. Se adicionaron niveles crecientes del fertilizante 8-10-10, bajo dos modalidades: adición cada año y adición alteña (año de por medio) por 5 años; se midió el diámetro y la altura y se estimó el volumen a las edades de 6, 8, 15 y 33 años de plantado; hubo una respuesta estadísticamente significativa a la fertilización (cuadro 4), con un máximo de respuesta a los 15 años de edad y disminución de la respuesta al año 33, posiblemente por falta de raleo.

Las dosis más altas permitieron obtener mayores volúmenes de madera. La adición de fertilizantes no causó diferencias significativas sobre la altura de los árboles a los 6 años, sin embargo dos años después se presentó un incremento significativo en la altura con la aplicación de 800 g NPK por árbol, lo que indica que la absorción de nutrimentos en los primeros años de crecimiento es lenta. A cualquier edad, la mejor respuesta en diámetro ocurre con la adición de 1.000 g de NPK, tanto en aplicaciones continuas como alternas. La constancia de los incrementos (promedios anuales del volumen) con la aplicación 800

g en forma alterna y la de 1,000 g de las dos maneras, indica que la competencia limitó el aumento de los rendimientos acorde con la mejoría del sitio.

Edad plantación	Componente	Peso seco	N	P	K	Ca	MG
		(kg ha <sup>-1</sup> )					
6 años Brasil	Hojas	7200	87	10	13	60	6
	Ramas	5100	11	2	2	3	2
	Fuste	46800	84	19	30	19	16
	Corteza	6900	15	2	1	6	1
6 años Nigeria	Hojas	9836	92	4	71	33	17
	Ramas	8287	26	2	12	17	6
	Fuste	35958	83	4	36	40	14
	Corteza	7893	20	1	6	8	3
	Raíces	15600	39	2	31	22	9
	Mantillo	3700	18		9	7	4
	Total	81274	279	12	137	126	62
10 años Nigeria	Hojas	20233	126	6	152	71	36
	Ramas	16752	52	2	30	32	8
	Fuste	76488	138	8	61	61	23
	Corteza	20951	59	2	15	23	6
	Raíces	34149	82	7	68	65	27
	Ramas muertas	2704	7		2	4	
	Mantillo	19710	86	2	47	39	14
	Total	190990	598	27	375	296	116

Fuente: tomado de Alvarado et al.

Edad (años)	Parámetro	Dosis fertilizante 8-10-10 (g por árbol)							
		0	300	600C	600A	800C	800A	1000C	1000A
6	Altura (m)	4,8	4,8	5,5	5,4	5,5	5,3	5,7	5,1
	Diámetro (cm)	7,2b	7,9ab	8,6ab	8,4ab	8,9ab	8,3ab	9,2a	8,5ab
	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )								
8	Altura (m)	5,6b	5,6b	6,8ab	6,6ab	7,1ab	6,8ab	6,7ab	6,6ab
	Diámetro (cm)	8,7b	8,6b	10,1ab	10,0ab	10,3ab	9,6ab	10,8ab	10,3ab
	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )								
15	Altura (m)	11,0b	10,7b	12,4a	12,8a	12,9a	13,0a	13,1a	12,9a
	Diámetro (cm)	14,1b	14,1b	15,9ab	16,4ab	16,9a	17,3a	17,4a	16,9a
	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	79,8b	82,0b	125,3ab	144,6a	137,5a	143,0a	157,3a	145,9a
33	Altura (m)	14,4a	13,2b	15,8ab	15,9ab	15,9ab	16,7a	17,8a	16,3ab
	Diámetro (cm)	21,8	20,3	21,9	22,2	22,3	23,8	23,7	23,5
	Volumen (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	253,4ab	178,4b	276,7	293,8ab	258,7ab	311,0a	335,3a	305,2a
C = aplicaciones continuas (todos los años); A = aplicaciones en años alternados									

Fuente: tomado de Alvarado et al. 2012

En plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis* en la Yeguada, Panamá en latosoles (oxisoles) muy degradados y con serios problemas de erosión, se demostró que una dosis de fertilizante 15-15-15 (57g por árbol) más elementos menores (28 g por árbol) y boro (14 g por árbol) aumenta un 40% la sobrevivencia y un 244% el crecimiento de los árboles hasta el cuarto año. El diámetro responde más que la altura a la fertilización fosfatada; el mejor volumen (45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), se encontró con la adición de 340 g de roca fosfórica por árbol a los 8 años y 8 meses de evaluación (Dyson 1995). Lim y Sundralingman (1974) también encontraron en Malasia una respuesta significativa del pino caribeño de 6 años a la adición de P y más aún a la de NP, la cual se reflejó con mayor amplitud en términos de área basal que de altura dominante de los árboles 4 años después de aplicados los tratamientos. Resultados parecidos se encontraron cuando se aplicó tratamientos similares a plántulas de 10 meses y luego a los 19 meses de edad en el mismo sitio (Sundralingman y Ang 1974).

Síntomas foliares de deficiencias de nutrimentos Empleando cultivos hidropónicos, Hernández y Lombardo (1987) describen los niveles foliares y los síntomas de deficiencia asociados a los mismos en acículas de *P. caribaea* var. *hondurensis* (cuadro 5). Debe recordarse que estos síntomas son ciertos para plántulas bajo condiciones de invernadero de la especie mencionada y por tanto no deben utilizarse para condiciones de plantaciones ya establecidas.

**Cuadro 5. Síntomas de deficiencias de nutrimentos en hojas de *Pinus caribaea***

N	La deficiencia de nitrógeno en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza por un amarillamiento simultáneo y generalizado en toda la planta. La clorosis se observan en las acículas simples, extendiéndose luego a los fascículos. Las acículas inferiores presentan una coloración que varía de rojo tenue a intenso y las superiores con desecamiento apical. Las plantas son raquílicas y achaparradas.
P	La deficiencia de fósforo en <i>P. caribaea</i> se presenta como amarillamiento tenue de las acículas de la parte inferior del tallo, que pueden disponerse en forma de mosaico o extenderse homogéneamente, luego, las acículas adquieren coloraciones violáceas, grisáceas hasta alcanzar una coloración morada. A medida que continúa el crecimiento de la planta, la coloración progresa apicalmente afectando las acículas situadas en las partes superiores. Así mismo, un considerable número de las acículas de la parte inferior y media se vuelven rojizas y se secan manteniendo esa coloración. El tallo adquiere también una coloración roja a morada. Se observan defectos en el despliegue de las acículas en fascículo, presentándose los fascículos enrollados y semejando la cabeza de un ave.
K	La deficiencia de potasio en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza porque las acículas situadas en la parte inferior de la planta muestran un amarillamiento hacia el ápice, el cual se torna posteriormente rojizo. La clorosis puede progresar hasta cubrir la mitad distal de las acículas, permaneciendo la región basal de color verde. A medida que progresa la deficiencia, la clorosis se extiende hacia las acículas más jóvenes. Los síntomas agudos de esta deficiencia se caracterizan por un mosaico necrótico en las acículas que rodean el meristemo apical del tallo principal, formando una roseta de acículas con pérdida de la dominancia apical.
Ca	La deficiencia de Ca en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza porque las acículas presentan un color verde pálido, poseen áreas necróticas en la parte apical, sub-apical, basal o intermedia, de extensión variable que está asociada a exudación de resina. Algunas veces el ápice de la acícula se dobla en forma de gancho. Los fascículos de las acículas se pueden enrollar apicalmente, asimismo las acículas jóvenes se pueden retorcer sobre su eje longitudinal, semejando un tirabuzón. En fases avanzadas la deficiencia de calcio provoca la muerte de los

	meristemos apicales del tallo principal y de las ramas laterales.
Mg	La deficiencia de magnesio en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza porque las acículas basales presentan un color amarillo intenso, que inicialmente ocupa la zona apical de la acícula, progresando hacia la parte basal, ocupándola homogéneamente. Al progresar la deficiencia, la clorosis se extiende hacia las acículas más jóvenes, tanto simples como en fascículo, hasta que en un estado avanzado todas las acículas de la planta presentan un amarillamiento intenso. Las acículas situadas en la parte media y superior del tallo, presentan bandas marrón rojizas, que se tornan necróticas.
S	En <i>P. caribaea</i> la deficiencia de S se caracteriza por un amarillamiento generalizado y uniforme de todas las acículas, aunque cuando se forman las acículas en fascículos, éstas pueden presentar una clorosis más acentuada que el resto. En numerosas acículas basales de la planta, se presenta un amarillamiento, cerca del punto de inserción de éstas al tallo, que luego se torna rosado, más tarde la anomalía termina por ocupar toda la acícula, que toma un color rosado. Cuando los síntomas son más agudos, los tallos en las partes terminales adquieren una coloración que varía de crema a rosado claro.
Fe	La deficiencia de Fe en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza porque las acículas terminales presentan una clorosis acentuada, que se torna de un amarillo pálido, mientras que las acículas basales permanecen verdes. Las zonas más jóvenes del tallo muestran un color crema claro que se puede tornar blanquecino. Se observa en algunas acículas necrosis apical. Las plantas muestran raquitismo y en la fase más avanzada, se afecta todo el desarrollo de la planta.
B	Las plantas con deficiencias presentaron una forma arbustiva, muerte regresiva del meristemo apical, rebrote de las yemas laterales, que permanecían enanas sin alcanzar un buen desarrollo, muriendo posteriormente. Las acículas presentaron clorosis que se iniciaba en las puntas, extendiéndose hacia la base. La deficiencia de B en <i>P. caribaea</i> , se caracteriza por la presencia de bandas necróticas en las acículas. Las acículas en fascículo se reducen. Se evidencia la exudación de resina en diferentes partes de la planta. El meristemo apical toma la forma de un bulbo, siguiendo la muerte regresiva que se acentúa al transcurrir el tiempo. El crecimiento en longitud de las plantas cesa y se achaparran.
Mn	La deficiencia de Mn se caracteriza porque las acículas terminales y en fascículo presentan una clorosis ligera. Las acículas situadas cerca del meristemo apical muestran un mosaico necrótico progresivo, con una coloración que varía de crema a gris. En un estado avanzado de deficiencia se desecan las acículas de la mitad de la planta hacia arriba, esta necrosis puede comenzar de la parte media de la acícula, avanzando luego en ambas direcciones. Las plantas deficientes en Mn se marchitan y tienen aspecto raquítico.
Zn	Los primeros síntomas de deficiencia de Zn observados en el campo son la hoja pequeña y en roseta de los árboles frutales, lo que resulta en la reducción en tamaño de las hojas y de la longitud de los entrenudos. El pino de Monterrey de Australia presenta un síntoma bien definido de esta deficiencia, la que consiste en el tope aplastado.

Fuente: tomado de Hernández y Lombardo 1987

#### 4.6 El fenómeno de la “cola de zorro”

El crecimiento normal en el trópico de las ramas de los pinos es semejante al de las zonas templadas. El eje se alarga gracias a la formación de yemas sucesivas en la guía terminal del tallo principal. Después de un período de dilatación, cesa brevemente el crecimiento del tallo y se forma un nuevo racimo de yemas

terminales. Poco después, las yemas recién formadas se dilatan para hacer crecer aún más la guía terminal y producir un verticilo de ramas laterales. Se presentan de dos a cuatro períodos vegetativos al año, alargándose la guía terminal en promedio de 30 a 60 mm en cada uno.

Según Kowzloski y Greathouse (1970) la cola de zorro de los pinos tropicales parece ser un fenómeno debido, en gran parte, a la herencia, cuya expresión se ve muy modificada por los factores de la estación y del clima. En Australia, una plantación de *P. caribaea* var. *hondurensis*, procedente de progenitores noseleccionados, presentó una frecuencia mucho mayor de cola de zorro que las de var. *caribaea* o var. *bahamensis*; pero los descendientes de genitores seleccionados de la var. *hondurensis*, presentaron mucha menor incidencia, dependiendo su disminución del grado de conocimiento de su genealogía (Slee y Nikles 1968). En Malasia, el porcentaje de cola de zorro en *P. caribaea* var. *hondurensis* presentó grandes diferencias, de una estación a otra, tendiendo a aumentar (hasta en un 40 por ciento), en algunas de poca altitud, donde la frecuencia de temperaturas elevadas y precipitaciones copiosas e irregulares en su distribución entre las distintas épocas del año (aproximadamente 254 cm/año) crean condiciones favorables para el desarrollo ininterrumpido de las ramas. La frecuencia de la cola de zorro es, al parecer, menor en las montañas de Camerón, en Malasia, a unos 1.520 m de altitud, que en las estaciones bajas, debido probablemente a que, en las altas, el crecimiento es más lento.



**Figura 4. Cola de zorro en *Pinus patula***

Fuente: elaboración propia

Hay, por el contrario, algunos pinos que presentan un desarrollo anormal porque no producen yemas capaces de alargarse para formar las ramas laterales. Lloyd (1914) dio a este fenómeno el nombre de «cola de zorro», por la forma cónica de la parte superior de la rama que ha crecido de manera anormal (figuras 4 y 5). Constituye una forma sorprendente de predominio apical y suele presentarse en árboles que tienen hasta 6 y, en algunas ocasiones, 12 m de tallo sin ramas. Esta respuesta ambiental plantea un problema más o menos grave en todos aquellos lugares del trópico donde se plantan pinos. Entre las especies que presentan el fenómeno de la cola de zorro se encuentran: *P. canariensis*, *P. caribaea*, *P. cembroides*, *P. echinata*, *P. elliotii*, *P. kesiya* (insularis), *P. merkusii*, *P. oocarpa*, *P. palustris*, *P. radiata*, *P. taeda* y *P. tropicalis*.



Figura 5 (tomada de Unasyuva Vol 24 (4) FAO 1970)

Kowzloski y Greathouse (1970) indican que diversas fuentes confirman una notable influencia del clima sobre la respuesta en cola de zorro. En Sudáfrica, Lückhoff (1964) observó que la cantidad presente disminuye en *P. caribaea*, a grandes alturas y latitudes, lo que se relaciona con las bajas temperaturas. Por otra parte, en Zululandia (KwaZulu-Natal) a una altitud media 45 a 60 m, la cola de zorro en *P. caribaea* var. *hondurensis* era, por término medio, del 43%; en Ntsubane, Africa del Sur, a 460 m de altitud, del 26%, y, en Dargal, Natal Central (1.200 m de altitud aproximadamente), del 13%. Se encontró también una correlación entre el porcentaje de tallos torcidos y la altura sobre el nivel del mar (régimen de temperaturas). En Queensland (Australia), Slee y Nikles (1968) observaron en *P. caribaea* mayor frecuencia de cola de zorro en Beerwah que en Bowenia y atribuyeron la diferencia al medio más favorable de esta última estación. El clima parece tener gran influencia sobre la cola de zorro en *P. radiata*, siendo escasa su frecuencia en Australia, donde el año se divide en épocas bien diferenciadas, y muy grande en Hawaii, donde sucede lo contrario (Fielding 1960; Lanner 1966).

La competencia intensa puede inhibir el desarrollo de las ramas y anular el de la cola de zorro que, por ejemplo, en Belice, no se presenta en muchos rodales naturales de *P. caribaea* pero sí en algunos suelos donde la competencia de las malas hierbas es leve y desaparecen las limitaciones que se oponen al desarrollo ininterrumpido, poniéndose así de relieve el hecho de que el fenómeno no depende sólo del factor clima.

En Australia, se ha logrado hacer disminuir la frecuencia de la cola de zorro mediante una selección fenotípica intensa, seguida de otra por ensayos de descendencia. En Queensland, en el aclareo precoz de los rodales de *P. caribaea* var. *hondurensis*, de 6 a 9 m de alto, se cortaron los árboles que tenían cola de zorro sin que apareciera en los restantes.

Musalem (1973) comparando la incidencia de cola de zorro entre procedencias insulares (Bahamas y Cuba) y continentales (Belice y Nicaragua) encontró menor incidencia en las variedades insulares, pero un crecimiento mucho menor (estadísticamente significativo) que las procedencias continentales (cuadro 6); a los 5 años de edad, no hay diferencias altamente significativas en la incidencia de cola de zorro de acuerdo a la distancia de plantación (densidad), aunque sí en el crecimiento diamétrico y volumétrico; estos resultados concuerdan con los obtenidos por Kowzloski y Greathouse (1970) en Malasia.

En un estudio sobre la incidencia de cola de zorro en *P. caribaea*, Liegel (1981) realizó un estudio en Ultisoles de Puerto Rico. El autor encontró que la mayoría de los nutrimentos en el suelo se encontraban sobre el nivel crítico requerido por la especie, mientras que el contenido de B se redujo durante la estación seca y parece asociarse con este tipo de daño. Al establecerse regresiones entre los contenidos de los elementos y el incremento medio anual en altura, se encontró que las concentraciones de Al, B, Ca, Mn y P son las que mejor predecían el comportamiento de esta variable.

<i>Pinus caribaea</i>	Procedencia	sobrevivencia (%)	Cola zorro (%)	Diámetro medio		Altitud media		Vol estimado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	IMA volumen
				con cola	sin cola	con cola	sin cola		
var hondurensis	Belice	90,2	14,6	12,5	12,7	8,8	8,6	91,2	22,8
var hondurensis	Nicaragua	94,2	31,7	11,5	11,7	7,7	7,3	70,4	17,6
var bahamensis	Bahamas	88,1	8,0	10,2	10,2	6,9	6,8	52,8	13,2
var caribaea	Cuba	84,0	0,0		10,0		6,2	44,8	11,2

Fuente: Musalem 1974

Espaciamiento plantación	Cola zorro (%)	Altura 1a rama	Diámetro medio		Altitud media		Vol estimado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	IMA volumen
			con cola	sin cola	con cola	sin cola		
2,0 x 2,0	12,3	3,6	13,3	13,4	10,2	6,6	180,0	36,0
2,5 x 2,5	27,4	3,4	16,4	16,8	11,7	11,3	196,5	39,3
3,0 x 3,0	18,0	2,7	17,2	17,8	10,8	10,8	137,7	27,5
3,5 x 3,5	18,3	2,8	16,7	16,9	10,0	9,6	91,3	18,3

Fuente: Musalem 1974

#### **4.7 Acidificación de los suelos como efecto de plantación de pinos**

Es común escuchar en diferentes círculos ambientalistas frases como “plantar pinos acidifica y esteriliza el suelo” o “los pinos acaban con los suelos por cuanto producen acidificación, lo que impide el desarrollo de cualquier otro tipo de vegetación”, conceptos de este tipo surgen en Europa al comparar las características de suelos en bosques sin coníferas con suelos plantados con coníferas, en vez de comparar el suelo antes y después de plantar este tipo de especies arbóreas (Urrego 1996).

Según Urrego (1996) la acidificación de los suelos no es un proceso inducido exclusivamente por las coníferas, es un proceso natural producto de la acción conjunta y simultánea de la cantidad de lluvia, la hidrólisis del aluminio, la actividad radicular, la nitrificación y la acumulación de la materia orgánica sobre el material parental. Lo anterior puede observarse en los bosques naturales húmedos tropicales (de Colombia) que crecen sobre suelos con pH entre 3,6 y 4,8, sin que por ello se les responsabilice de la acidificación. El efecto empobrecedor que las coníferas tienen sobre los suelos, sugieren, a nivel mundial que en la mayoría de los casos, la reforestación es una alternativa que no solo permite detener el deterioro de los suelos sino que constituye una herramienta para su recuperación. Muchos de los resultados que soportan la hipótesis del empobrecimiento son producto de comparaciones que carecen de validez, dado que se presentan en condiciones bajo bosques naturales vs condiciones bajo bosques plantados.

Reforestar es plantar con árboles un terreno no cubierto por bosque; por tanto las comparaciones deben hacerse entre las condiciones que existían bajo el uso del suelo previo al establecimiento de la plantación (potreros, cultivos, rastrojos, etc.) y aquellas presentes después de una o más rotaciones del bosque plantado. La podsolización de los suelos (proceso de separación o lixiviación de materiales orgánicos que genera una serie de capas típicas de suelos boscosos de climas fríos y húmedos), se presenta de manera indiscriminada tanto para los bosques plantados como en los naturales, un ejemplo de ello es la amazonia, que presenta varios millones de hectáreas con suelos podsólicos a lo largo del río

Negro bajo vegetación de selva tropical; se pone en evidencia que el proceso de podsolización no es causado por las coníferas y es el resultado de un conjunto de factores bióticos (cobertura), climáticos (alta precipitación) y edáficos (texturas arenosas), interactuando en el tiempo.

De acuerdo con Ladrach (2005), “la creencia de que las coníferas acidifican los suelos parece estar basada en la historia de Europa Occidental en donde durante los siglos XV, XVI y XVII los bosques naturales fueron eliminados casi en su totalidad para obtener leña y madera para la construcción o fueron talados para convertirlos en zonas agrícolas. Durante los siglos XVII y XVIII, viendo que los bosques desaparecían y junto con ellos sus beneficios como la caza, la madera para la construcción y para leña se comenzó a plantar coníferas (abetos, alerce y pinos) mezclados con robles y hayas. Los campesinos comúnmente iban a las plantaciones a recoger las ramas caídas para leña y la hojarasca de acículas de las coníferas como paja para los animales. Después de muchas décadas de esta práctica de eliminación de hojarasca y sus nutrimentos, los investigadores del siglo 20 encontraron que los suelos debajo de las coníferas estaban empobrecidos y que el pH era inferior al encontrado en los suelos de los bosques adyacentes”.

Ladrach (2005) también menciona que bajo condiciones de suelos ácidos y básicos, tanto en Borneo como en México y Centro América, se encuentran pinos creciendo de la misma manera y adaptados a las condiciones ambientales, sin que tienda a cambiarse las propiedades de los suelos, sino más bien adaptándose a las mismas. Lilienfein et al. (2000) mencionan que la sustitución de vegetación de Cerrado por *P. caribaea* Morelet en Oxisoles de Brasil no permite observar cambios en la fase sólida del suelo, aunque las concentraciones de metales en la solución del suelo bajo pino indican que con este tipo de cobertura se lavan más elementos, lo que puede conducir eventualmente a la acidificación del suelo.

En Nueva Zelanda, donde las plantaciones de *P. radiata* se ha establecido desde los comienzos de siglo en suelos cuyo pH fluctúa entre 4,8 y 5,5, se ha determinado, después de 40 a 60 años (dos a tres rotaciones) y cuando éstos han sido inferiores a 4,0 que la especie es capaz de aumentar estos valores, atenuando la acidez existente (Hill 1984, mencionado por Urrego 1996).

En Chile *P. radiata* crecen en suelo de pH entre 4,2 y 5,8, sin que después de tres rotaciones se haya detectado incrementos en la acidez o disminuciones en la productividad (Urrego 1996).

En latosoles ácidos e infértiles, profundos, arenosos y bien drenados de acuerdo con Fernández y Moraes 1976, mencionados por Carvalho et al. (1983), la aplicación de 6 t cal ha<sup>-1</sup> a plantaciones de *P. caribaea* var *bahamensis* causa un efecto significativo en el crecimiento de los árboles entre el segundo y noveno año de la plantación, mientras que cantidades mayores de cal causaron un efecto negativo. Simões et al. 1970, mencionado por Carvalho et al. (1983), indica que dosis de 3 t ha<sup>-1</sup> de cal tuvieron un efecto significativo sobre el crecimiento de los árboles, tanto en ausencia como en presencia de la aplicación de fósforo.

En Uverito (Venezuela) se establecieron plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis* sobre suelos extremadamente pobres, los cuales presentan bajos contenidos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, muy baja capacidad de intercambio catiónico, de reacción extremadamente ácida, déficit de cationes básicos, media a alta saturación por aluminio en el complejo de intercambio catiónico; con texturas

predominantemente arenosas y baja reserva de humedad. Estas características determinan un bajo rendimiento de las plantaciones en el área de estudio (Lugo et al. 2006).

## 5. Manejo

### 5.1 Densidad de plantación

El número de árboles a establecer depende del objetivo final de la plantación y la calidad del sitio. En el siglo anterior era muy común el establecimiento en espaciamientos de 2,0 m x 2,0 m, 2,5 m x 2,5 m y 3,0 m x 3,0 m; cuando el objetivo es la producción de postes de conducción eléctrica o telefónica, o producción de madera para aserrío o formaleta, se utilizan espaciamiento de 3,0 m x 3,0 m a 4,0 m x 4,0 m y variaciones entre ellos.

Evans y Turbull (2004) presentan un ejemplo del efecto de la densidad de plantación y los rendimientos de *P. caribaea* en Queensland, en plantaciones sin ralea (cuadro 8). Aunque el volumen total a menores densidades es mayor, por efecto del mayor número de árboles, la relación con el volumen comercial (hasta 10 cm) es menor que en los espaciamientos mayores, donde, además el diámetro es mayor; esto significaría un mayor retorno económico para las densidades menores, con árboles de mejor calidad.

Espaciamiento inicial (m)	Sobrevivencia (%)	Árboles a la evaluación	Altura dominante (m)	diámetro a 1,3 m (cm)	Volumen		
					V <sub>10</sub>	V <sub>t</sub>	V <sub>10</sub> /V <sub>t</sub> (%)
2,13 x 2,13	88	1940	18,7	16,6	146,14	205,39	71%
2,44 x 2,44	83	1394	18,6	17,8	137,12	181,51	76%
2,74 x 2,74	89	1185	18,6	18,6	126,85	159,84	79%
3,05 x 3,05	90	967	18,7	20,1	130,33	155,28	84%
3,66 x 3,66	92	687	18,1	20,9	102,6	119,25	86%
V <sub>10</sub> = volumen hasta un diámetro mínimo de 10 cm ha <sup>-1</sup>							
V <sub>t</sub> = Volumen total ha <sup>-1</sup>							
Fuente: Evans y Turnbull (2004)							

Espaciamientos amplios implican mayor cantidad de operaciones de control de malezas, especialmente en las primeras etapas de crecimiento, aumentando el costo de mantenimiento. *P. caribaea* es una especie poco exigente en cuanto al tipo de suelos, pero prefiere suelos profundos, fértiles, de topografía plana, con pH de 5,0 a 5,5. No tolera la sombra, por lo que se deben controlar las malezas, eliminando, en la preparación, toda la vegetación existente. Para mejorar el control se recomienda un plateo de 80-100 cm de diámetro alrededor de las plántulas.

## 5.2 Control de malezas

*P. caribaea* es una especie heliófila, que no acepta competencia de malezas mediante chapas; en áreas de alta precipitación se requieren 3-4 intervenciones durante los dos a tres primeros años, hasta que los árboles alcancen 2-3 m de altura.

Dependiendo de la precipitación y duración de las lluvias se prescriben las limpiezas de las plantaciones. En zonas con estación seca de más de 5 meses se podrían requerir dos a tres limpiezas, una de ellas al salir de la estación de lluvias.

## 5.3 Fertilización

Los pinos responden menos a la fertilización que los eucaliptos, aunque pueden mostrar incrementos del 20% cuando se fertilizan en suelos pobres, sobre todo cuando se adicionan P, K, Ca y Mg en suelos de Brasil; en algunos casos, la aplicación de N puede ser perjudicial en el crecimiento y desarrollo de los árboles ya que resulta en una reducción y compresión de las traqueídas y fi brotraqueidas (Hagg 1983). La adición de P y K tiene efectos positivos en el crecimiento y la concentración de la celulosa (Malavolta *et al.* 1966, mencionado por Ferreira *et al.* 2001).

Según Rojas y Ortiz (1991) la aplicación de superfosfato triple en dosis de 30 g a 100 g por árbol, durante el año de establecimiento y 100 kg ha<sup>-1</sup> al voleo durante el quinto año, influyen positivamente en el crecimiento de los árboles.

*P. caribaea*, según Rojas y Ortiz (1991), como otras especies del género *Pinus*, pueden crecer bien en suelos con bajos contenidos de nitrógeno; la adición de fertilizantes nitrogenados raramente produce una respuesta de los árboles; la especie reacciona bien a la adición de potasio y a la fertilización con abonos fosforados (Wolffsohn 1983).

## 5.4 Podas

La especie no presenta elevada capacidad de autopoda, por lo que regularmente se requiere poda artificial para la producción de madera de calidad, libre de nudos muertos.

En zonas secas los árboles deben podarse para reducir el riesgo de incendio, mejorar la calidad de las primeras trozas, facilitar el acceso a la plantación y reducir el tamaño de los nudos, lo que mejora el valor del producto.

Evans y Turbull (2004) proponen un régimen de podas (cuadro 8) desarrollado para diferentes especies de coníferas. La poda se realiza previo a los raleos, podando exclusivamente los árboles remanentes. De acuerdo con Evans y Turbull (2004) en coníferas las podas deben realizarse entre los 6 y 12 años, en rotaciones de 25 años, para la producción de madera de aserrío.

Podas	Altura	Altura media del rodal	Época
Baja	2,5	6	Despues de cierre del vuelo
Alta	5	9	Previo al primer raleo
Alta	7,5	12	Inmediatamente antes del primer raleo
Alta	10	15	Previo al segundo raleo

Fuente: Evans y Turbull 2004

### 5.5 Raleos

*P. caribaea*, como puede verse en los cuadros 7 y 8, responde de manera clara a la densidad de plantación (resultante de la distancia de plantación). Wolffsohn (1983) concluyó que debido a esta característica se hacen necesarios los raleos en plantaciones de la especie; sugiere que para obtener árboles de 20-25 cm en periodos de 12 años se requieren densidades de entre 650 y 100 árboles ha<sup>-1</sup>; Ortiz y Camacho (1986) sugieren que la densidad del rodal requerida para maximizar el crecimiento debe mantenerse entre 483 y 789 árboles ha<sup>-1</sup>.

De acuerdo con Rojas y Ortíz (1991) se deben aplicar raleos en las plantaciones de *P. caribaea* para mejorar la calidad del rodal, disminuir la posibilidad de incendios, estimular la producción de semillas y disminuir los riesgos de ataques de plagas y enfermedades y aumentar el tamaño y calidad de los productos.

Rojas y Ortíz (1991) para la producción de madera para aserrío o contrachapado proveniente de *P. caribaea* se recomienda plantar 1100 árboles ha<sup>-1</sup> (3,0 m x 3,0 m) para realizar un primer raleo (sanitario) al momento del cierre del dosel, realizando otros dos raleos para obtener 250 a 400 árboles ha<sup>-1</sup> con diámetros de entre 28 y 37 cm, a los 15-25 años., dependiendo de la calidad del sitio.

Evans y Turnbull (2004) presentan la prescripción de raleos utilizada en Queensland en plantaciones de *P. caribaea* partiendo de una plantación inicial de 12' x 12' (3,66 m x 3.66 m) y una densidad de 746 árboles ha<sup>-1</sup>, con tres intervenciones para obtener una densidad final de 300 árboles ha<sup>-1</sup> al año 30 (cuadro 10); en Uganda se utiliza un esquema similar (cuadro 11).

Raleo	Edad años)	Existencias		Método de raleo
		antes de raleo	después de raleo	
Plantación	0	746	750	94% sobrevivencia
1	2-3	700	500	pre-comercial
2	22	500	300	selectivo
Cosecha	30	300		cosecha

Fuente: Evans y Turnbull (2004)

El raleo, normalmente se hace por lo bajo (generalmente seleccionando los árboles con defectos, mala forma, enfermos o con otros defectos); cuando el raleo se hace por lo alto, se extraen los mejores ejemplares y la calidad del rodal remanente disminuye.

Raleo	Edad	Existencias		Uso
		Inicial	Final	
1	4-6	1111	700	Madera de pequeñas dimensiones
2	6-9	700	500	Madera de baja calidad
3	9-12	500	300	Madera de calidad media
Cosecha	18-25	300		Madera industrial

Fuente: Tree planting guidelines for Uganda

En la Orinoquía colombiana el sistema silvicultural empleado con *P. caribaea* incluye la realización de dos raleos en un turno corta de 15 años (cuadro 12), partiendo de una densidad inicial de 1100 árboles (3,0 m x 3,0 m) y extracción final de 250 árboles.

Actividad	Edad	Árboles extraídos		Árboles remanentes	Volumen extraído (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Tipo de producto
		No.	%			
Primera entresaca (raleo)	8	600	55%	500	20	postes de cerca
Segunda entresaca	12	250	50%	250	27,8	madera de aserrío
Cosecha final	15	250	100%	0	215	madera de aserrío
Volumen extraído					262,8	
Volumen promedio anual					17,52	
Fuente:						

Fuente: CONIF 1998

## 5.6 Crecimiento

*P. caribaea* es una especie de crecimiento medio a alto (dependiendo de la calidad del sitio) en diferentes lugares, que puede superar los 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> a partir de los 15 años de edad (Lamb 1973). En una experiencia en Jamaica (Lamb 1973) se encontró que el incremento medio anual de volumen creció en forma constante y presenta tendencia a estabilizarse a partir del año 20 (cuadro 13); estos resultados son consistentes con los reportados por Evans y Turnbull (2004).

En varios estudios realizados en Turrialba en los años 70 y 80 del siglo XX (Reyna 1978) se encontró que *P. caribaea* que la especie presenta, a edades entre 9 y 12 años, incrementos medios anuales en diámetro entre 1,76 y 2,98 cm año<sup>-1</sup> e incrementos en altura entre 2,09 y 2,61 metros año<sup>-1</sup>, lo que hace pensar en que la especie tiene un crecimiento que puede clasificarse como mediano (cuadro 14), en tanto que en plantaciones de 16 a 18 años localizadas en Dos Ríos de Upala, Alajuela (Serforint, 1998), los incrementos variaron entre 1,34 y 1,60 cm anuales en diámetro y entre 1,02 y 1,38 m anuales en altura, mostrando la influencia de la edad y de la calidad de sitio (cuadro 15).

Un estudio reciente en República Dominicana (Körner 2013), en plantaciones con edades entre 3 y 36 años, en dos localidades diferentes, mostraron incrementos medios en diámetro que variaron entre 0,8 cm anuales en las edades mayores, y 3,5 cm anuales en la plantaciones de menor edad (figura 6 y

cuadro 16); estos resultados muestran consistencia con los reportados por Reyna (1978), Serforint (1998) y Evans y Turnbull (2004). La especie puede alcanzar un diámetro de 35 cm (14") a los 20 años.

**Cuadro 13. Crecimiento y rendimiento de *P. caribaea* en rodales densos, despues de un raleo, en Jamaica (IS = 27,4 m)**

Edad	Altura mayor (dominante) m	Características de la plantación antes de raleos						Incremento	
		# árboles ha <sup>-1</sup>	Area basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	dap árbol área basal media (cm)	Volumen bajo corteza hasta un diámetro mínimo (m3)			Volumen bajo corteza hasta diámetro mínimo (10 cm) sobre corteza	
					10 cm	15 cm	20 cm	Total (m <sup>3</sup> )	IMA (m <sup>3</sup> )
5	12,8	1235	14,46		48,2			48,2	9,6
6	14,3	1235	18,14		68,2	24,0	4,8	68,2	11,4
6	raleo	618	3,67		13,6				
después raleo			14,46	17,3	54,1	24,0	4,8		
7	15,5	618	17,91	19,3	74,9	53,9	19,8	88,5	12,6
8	16,8	618	21,35	21,1	98,0	77,4	37,4	111,7	14,0
9	18	618	24,57	22,6	121,7	101,0	56,2	135,3	15,0
10	19,2	618	27,55	23,9	147,5	125,4	77	161,2	16,1
11	20,1	618	30,54	25,1	174,9	152,1	99,5	188,5	17,1
12	21	618	33,29	26,2	202,2	179,9	122,1	215,8	18,0
13	22,2	618	36,05	27,2	229,9	206,9	145,5	243,5	18,7
14	23,2	618	38,57	28,2	257,8	234,6	169,3	271,4	19,4
15	23,8	618	40,87	29,0	285,4	262,5	193,2	299,1	19,9
16	24,7	618	42,94	29,7	313,7	291,7	217,7	327,3	20,5
17	25,6	618	45,00	30,5	341,1	317,3	241,5	354,8	20,9
18	26,2	618	47,07	31,2	366,6	344,6	263,9	380,2	21,1
19	26,8	618	48,67	31,8	392,1	368,6	286,2	405,8	21,4
20	27,4	618	50,51	32,3	416,2	391,2	307,5	429,8	21,5

Fuente: Lamb (1973)

**Cuadro 14. Incremento en diámetro y altura de *P caribaea* en la región de Turrialba**

Sitio	Árboles ha-1	Incremento Media Anual		
		dap (cm)	Altura media (m)	Altura mayor (m)
Florencia I	670	2,23	2,03	2,16
Florencia II	600	2,72	2,15	2,19
Coniferato	1360	1,76	1,87	2,09
Club	1170	2,01	2,09	2,33
Atirro	1430	2,01	2,03	2,30
Tres X	1200	2,58	2,15	2,44
Pavones	1260	2,26	2,00	2,29
Azul	1310	2,80	2,32	2,60
Turrialba	720	2,98	2,48	2,61
La Roncha	1310	2,29	2,07	2,33

Fuente: Reyna (1978)

Edad	Arboles ha <sup>-1</sup>	dap prom (cm)	Alt prom (m)	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	Incremento Medio Anual (ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )		
					dap (cm)	alt (m)	área basal
16	588	25,1	19,5	27,8	1,57	1,22	1,738
16	500	25,6	22,0	25,8	1,60	1,38	1,613
17	463	23,8	20,0	20,6	1,40	1,18	1,212
17	282	27,2	19,6	15,6	1,60	1,15	0,918
17	338	27,0	19,4	19,3	1,59	1,14	1,135
17	588	22,7	18,5	23,6	1,34	1,09	1,388
17	391	26,4	20,3	21,5	1,55	1,19	1,265
17	459	24,8	19,8	22,9	1,46	1,16	1,347
18	400	25,5	18,7	20,5	1,42	1,04	1,139
18	335	24,7	18,4	16,2	1,37	1,02	0,900
18	375	27,7	19,7	22,6	1,54	1,09	1,256
18	331	28,3	21,2	20,6	1,57	1,18	1,144
18	425	28,3	21,2	26,3	1,57	1,18	1,461
18	472	25,8	20,0	24,0	1,43	1,11	1,333

Fuente: Serforint (1998)

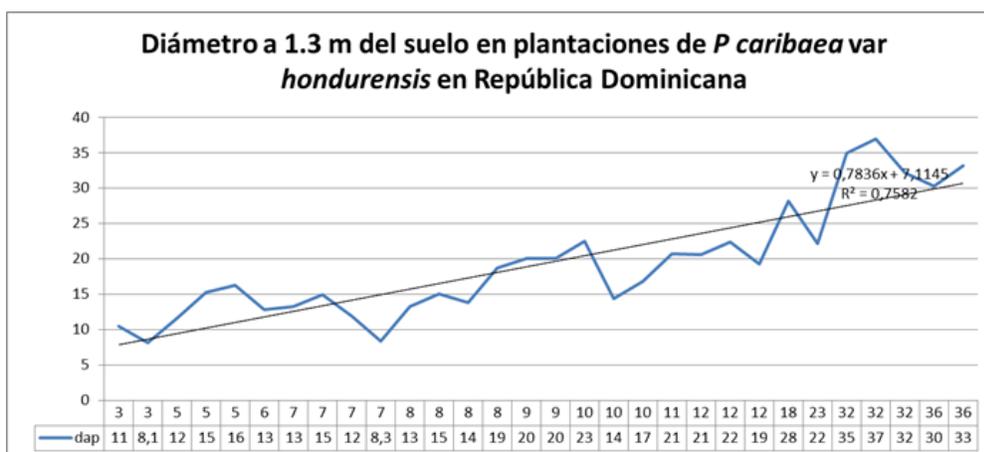


Figura 6. Crecimiento del diámetro de *P. caribaea* var. *hondurensis* en dos localidades de República Dominicana.

Fuente: elaboración propia con datos de Körner 2013

Cuadro 16. Características de parcelas de *P. caribaea* en dos localidades de República Dominicana (2013)

edad años	Características de las plantaciones individuales					Incremento Medio Anual			
	Arb ha <sup>-1</sup>	dap (cm)	altura media (m)	Area basal m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	Volumen calculado	dap (cm)	altura media (m)	vol calculado ha <sup>-1</sup> (m <sup>3</sup> )	Vol calculado árbol (m <sup>3</sup> )
3	1948	10,5	6,9	16,9	86,8	3,5	2,3	28,93	0,0149
3	4000	8,1	6,6	20,4	128,1	2,7	2,2	42,70	0,0107
5	1076	11,6	9,3	11,3	66,8	2,3	1,9	13,36	0,0124
5	1754	15,2	12,9	31,7	209,3	3,0	2,6	41,86	0,0239
5	875	16,3	11,4	18,3	108,3	3,3	2,3	21,66	0,0248
6	3022	12,8	13,4	38,8	289,6	2,1	2,2	48,27	0,0160
7	1291	13,2	10,9	17,6	112,0	1,9	1,6	16,00	0,0124
7	1170	14,9	13,0	20,5	142,6	2,1	1,9	20,37	0,0174
7	1510	11,9	9,0	16,9	94,3	1,7	1,3	13,47	0,0089
7	5672	8,3	6,9	30,6	194,2	1,2	1,0	27,74	0,0049
8	1446	13,2	10,7	19,9	119,6	1,7	1,3	14,95	0,0103
8	2012	15	12,9	35,7	245,2	1,9	1,6	30,65	0,0152
8	1718	13,8	12,3	25,5	171,8	1,7	1,5	21,48	0,0125
8	1329	18,7	15,0	36,6	266,8	2,3	1,9	33,35	0,0251
9	1025	20	19,6	32,3	296,1	2,2	2,2	32,90	0,0321
9	1021	20	17,0	32,0	261,3	2,2	1,9	29,03	0,0284
10	662	22,5	18,1	26,4	223,1	2,3	1,8	22,31	0,0337
10	1391	14,4	10,6	22,5	135,8	1,4	1,1	13,58	0,0098
10	1463	16,8	13,6	32,4	221,5	1,7	1,4	22,15	0,0151
11	717	20,7	14,2	24,1	166,7	1,9	1,3	15,15	0,0211
12	1083	20,6	19,2	36,1	323,9	1,7	1,6	26,99	0,0249
12	486	22,4	17,2	19,1	154,3	1,9	1,4	12,86	0,0265
12	566	19,3	14,2	16,6	114,2	1,6	1,2	9,52	0,0168
18	226	28,1	22,8	14,0	144,6	1,6	1,3	8,03	0,0355
23	1254	22,1	22,4	48,0	509,3	1,0	1,0	22,14	0,0177
32	321	34,9	30,6	30,6	415,6	1,1	1,0	12,99	0,0405
32	353	36,9	31,3	37,7	530,9	1,2	1,0	16,59	0,0470
32	779	32,1	32,6	63,0	905,0	1,0	1,0	28,28	0,0363
36	549	30,3	31,7	39,5	556,2	0,8	0,9	15,45	0,0281
36	376	33,2	33,9	32,5	488,6	0,9	0,9	13,57	0,0361

Volumen calculado usando la ecuación de Reynoso y García (1985)  
Fuente: Körner 2013

En Costa Rica ha disminuido el interés por la producción de documentación sobre la especie, aunque se dispone de información producida en la segunda mitad del siglo anterior. De acuerdo con Rojas y Ortiz (1991) en Costa Rica, en rodales sin manejo, en sitios de calidad promedio (con Índice de Sitio IS = 22 m), con 1100 árboles iniciales por hectárea, puede alcanzar una producción de 333 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de volumen total con corteza a los 14 años, mientras en Panamá, en La Yeguada solo alcanzaría 117 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en los peores sitios hasta 354 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> en los mejores.

- Liegel et al. (1987) desarrollaron un sistema de ecuaciones para el cálculo del índice de sitio de *P. caribaea* var. *hondurensis* en Costa Rica:

$$\ln(\text{IS}) = \ln(\text{hd}) + b(1/\text{SQR Eb} - 1/\text{SQR Ep})$$

Donde:

Ln = logaritmo natural de base e

IS = altura dominante a la edad base (índice de sitio)

Hd = altura dominante (promedio de los 100 árboles más altos ha<sup>-1</sup>)

Eb = edad base (15 años)

Ep = edad de la plantación

- El sistema desarrollado por Liegel et al. (1987) permite estimar el rendimiento futuro de la especie; el cuadro 17 presenta las estimaciones de volumen para *P. caribaea* partiendo de una plantación inicial de 1100 árboles ha<sup>-1</sup>.

edad (años)	Arboles ha <sup>-1</sup>	alt dominante (m)	diámetro cuadrático	Area basal ha <sup>-1</sup> (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	IMA	ICA
						vol (m <sup>3</sup> )	vol (m <sup>3</sup> )
2	1068	4,8	8,5	6,0	16	8,1	16,2
4	1038	9,7	13,9	15,8	69	17,5	53,1
6	1009	13,2	17,3	23,8	132	22,0	62,2
8	980	15,9	19,8	30,2	191	23,9	59,3
10	953	18,1	21,7	35,2	244	24,5	53,5
12	926	19,8	23,2	39,3	292	24,3	47,2
14	899	21,3	24,5	42,5	333	23,8	41,3
16	874	22,6	25,6	45,2	369	23,1	36,0

Fuente: tomado de Rojas y Ortiz (1991) derivado de Liegel et al. 1987

Rojas y Ortiz (1991) indican que con este sistema, un sitio se clasifica según su calidad, calculando su índice de sitio (IS), utilizando solamente la información de la edad de plantación y la altura dominante del rodal.

Ortega (1986) desarrolló una ecuación para determinar el índice de sitio en las condiciones del sitio Pavones (en Turrialba), utilizando como predictores el contenido de limo de los suelos en los primeros 20 cm de profundidad, la altitud sobre el nivel del mar, la profundidad efectiva del perfil del suelo y el microrelieve; la ecuación obtenida fue:

$$IS = -1.0215 + 0,1471L + 0,0187^a + 1,9402PE + 0,0377mr$$

Donde:

IS = Índice de Sitio en metros

L = contenido de limo en los primeros 20 cm del suelo (%)

A = Altitud sobre el nivel del mar del sitio

PE = profundidad efectiva del perfil del suelo en metros

Mr = micro-relieve (según Tschinkel 1972)

Vazquez (1987) desarrollo un Sistema de cálculo del Índice de Sitio para las plantaciones de La Yeguada (Panamá) utilizando la posición topográfica y el contenido de limo de los suelos:

$$IS = 155,7363 + 18,4412PT - 1,2354L$$

Donde:

IS = índice de sitio en decímetros (edad base de 15 años)

PT = Posición topográfica: cima = 1; pendiente superior = 2; pendiente inferior = 3; fondo plano = 4

L = contenido de limo en la segunda capa del suelo (30-50 cm de profundidad)

Reynoso y García (1985) desarrollaron, en plantaciones de *P. caribaea* var. *hondurensis* en Santiago, República Dominicana, una ecuación para calcular el volumen, con la que desarrollaron una tabla de volumen. La ecuación que mantiene su vigencia es:

$$V = 0,01755 + 0,34423(d^2h)$$

Donde:

V = volumen total con corteza (m<sup>3</sup>)

d = diámetro a 1,3 m sobre el suelo (cm)

h = altura total (m)

Salazar (1975) desarrolló un sistema de ecuaciones para la estimación del volumen, procedente de la medición de 45 árboles de 8 años de edad con diámetros entre 11 y 20 cm:

$$\text{Volumen total con corteza: } V = 0,0000638*(d)^{1,844} * (ht)^{1,007}$$

$$\text{Volumen total sin corteza: } V = 0,0000230*(d)^{1,968} * (ht)^{1,085}$$

$$\text{Volumen comercial con corteza hasta 10 cm: } V = 0,000219*(d)^{1,623} * (hc)^{0,891}$$

$$\text{Volumen comercial sin corteza hasta 10 cm: } V = 0,0000907*(d)^{1,703} * (hc)^{0,993}$$

En resumen, *P. caribaea* var. *hondurensis* es una especie que crece bien en suelos con pH entre 5,0 y 6,5 a menos de 500 msnm, con precipitaciones mayores a 1000 mm anuales y menores a 2000 mm y al menos 4 meses secos, con temperaturas arriba de 24° C. Estas condiciones, consideradas ideales se pueden encontrar en buena parte de la península de Nicoya, Guanacaste, la provincia de Puntarenas y la zona Huetar Norte.

## 5.7 Plagas y enfermedades

Los conos de la especie son atacados por la mariposa *Dioryctria majorella*, las larvas barrenan el interior de conos y ramas infestados por la roya *Cronartium*. En América Central los árboles de *P. caribaea* mayores de tres años son atacados por los patógenos: *Cercospora pinea*, *Lophodermium* sp, *Dothistroma septospora* y *Pleospora* sp. que afectan el follaje. *Cronartium* sp. ataca ramas; *Diplodia* sp. afecta ambas partes del árbol; *Phytophthora* sp. y *Rosellinia* sp. atacan la raíz (Arguedas 2007).

Arguedas (2007) ha identificado algunas de las plagas y enfermedades que afectan a *P. caribaea* var. *hondurensis* en Costa Rica (cuadro 18).

Cuadro 18. Plagas y enfermedades que atacan a <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> en Costa Rica					
INSECTOS					
Nombre del patógeno	Familia	Orden	Parte atacada	Donde se ha reportado	Provincia
<i>Acheta assimilis</i>	Gryllidae	SALT	Plántula	Pérez Zeledón	SJ
<i>Agrotis sp.</i>	Noctuidae	LEP	Plántula	Puriscal	SJ
				Turrialba	C
<i>Atta sp.</i>	Formicidae	HYM	Follaje	Puriscal	SJ
				San Carlos	A
				Sarapiquí	H
<i>Cinara sp.</i>	Aphididae	HOM	Ramillas	Puriscal	SJ
				Paraiso	C
				Turrialba	C
				Puntarenas	P
<i>Exophthalmus sp.</i>	Curculionidae	COL	Follaje	Turrialba	C
<i>Hansenia pulverulenta</i>	Flatidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
<i>Ips calligraphus</i>	Scolytidae	COL	Fuste	Naranjo	A
<i>Macunolla ventralis</i>	Cicadellidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
<i>Nodonota irazuensis</i>	Chrysomelidae	COL	Follaje	Turrialba	C
<i>Rhyacionia frustrana</i>	Tortricidae	LEP	Brotos	Puriscal	SJ
				Pérez Zeledón	SJ
				San Ramón	A
				Upala	A
				Sarapiquí	H
				Jiménez	C
				Turrialba	C
				Bagaces	G
				Tilarán	G
				Puntarenas	P
				Pococí	L
				Guácimo	L
<i>Sphenorhina conspicua</i>	Cercopidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
<i>Spodoptera sp.</i>	Noctuidae	LEP	Follaje	Buenos Aires	P
<i>Trigona corvina</i>	Apidae	HYM	Fuste	Turrialba	C
<i>Trigona cupira</i>	Apidae	HYM	Fuste	Turrialba	C
<i>Trigona ferricauda</i>	Apidae	HYM	Fuste	Turrialba	C
<i>Trigona silvestriana</i>	Apidae	HYM	Plántula	Turrialba	C
<i>Trigona sp.</i>	Apidae	HYM	Brotos	Buenos Aires	P
<i>Xyleborus volvulus</i>	Scolytidae	COL	Corteza	Naranjo	A
<i>sp no conocida</i>	Psyllidae	HOM	Ramillas	Turrialba	C
PATOGENOS					
<i>Cronartium sp.</i>			Fuste	Cartago	C
				La Unión	C
<i>Diplodia sp.</i>			Ramas	Santa Ana	SJ
			Follaje	Turrialba	C
<i>Dothistroma septospora</i>			Follaje	La Unión	C
				Jiménez	G
				Tilarán	G
				Puntarenas	P
				Esparza	P
<i>Fusarium sp.</i>			Raíz		
<i>Lophodermium sp.</i>			Follaje	Acosta	SJ
				Turrialba	C
<i>Phytophthora sp.</i>			Raíz		
<i>Rhizoctonia solani</i>			Raíz		
<i>Rosellinia sp.</i>			Raíz		

## 5.8 Cosecha

La madera de *P. caribaea* es utilizada comúnmente para la producción de madera de construcción, madera para pisos, carpintería, muebles, embalajes, tarimas y juguetes. También se utiliza como postes de conducción, durmientes y puntales de mina. También se utiliza para el cubrimiento de interiores, tableros, tableros de partículas, paneles de fibra y para la producción de leña y pulpa para papel.

Dada las dimensiones que alcanza la madera y la altura de los árboles, la extracción se realiza generalmente con maquinaria (tractores forestales y cables o tractores agrícolas adaptados). En pequeñas explotaciones se utilizan bueyes para extracción. Un cuidado especial al cosechar es la necesidad de sacar rápidamente la madera del bosque para evitar la presencia de mancha azul en la madera, que rebaja la calidad de la misma.



## 5.9 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión

No se dispone de información sobre el establecimiento de plantaciones de *Pinus caribaea*; un estudio reciente de costos de establecimiento en Colombia (2012) para las especies más plantadas en este país con apoyo de los Certificados de Inversión Forestal (el equivalente al apoyo PSA de Costa Rica) encontró los costos indicados en el cuadro 19, comparados con los costos indicados por ONF para Costa Rica.

**Cuadro 19. Costos de establecimiento**

Costos promedio de establecimiento y mantenimientos consolidados (2012)					CR 2012	
Actividad	Eucaliptos	Pinos	Teca	Gmelina		
Establecimiento	1213,97	1172,51	1263,81	1355,01	1271,77	
Valor CIF 2012	483,85	483,85	483,85	483,85	459,47	
% cubierto por CIF	39,9%	41,3%	38,3%	35,7%	36,1%	PSA
Mantenimiento año 1	290,81	279,87	276,38	323,07	330,80	
Mantenimiento año 2	362,93	332,06	366,95	344,31	255,89	
Mantenimiento año 3	296,35	298,62	270,51	234,43	303,21	
Mantenimiento año 4	246,03	184,35	159,27	169,26	135,95	
Subtotal mantenimiento	1196,12	1094,91	1073,11	1071,06	1025,85	
Valor CIF 2012	389,84	389,84	389,84	389,84	459,47	
% cubierto CIF	32,6%	35,6%	36,3%	36,4%	44,8%	PSA
Subtotal establecimiento + mantenimiento años 1-4	2410,09	2267,42	2336,93	2426,08	2297,62	
Costo mantenimiento año 5 en adelante	488,46	1143,83	1200,15	759,93	493,86	
Total costos del ciclo	2898,54	3411,25	3537,08	3186,01	2791,48	
Administración + asistencia técnica	189,15	226,09	502,29	185,39	245,65	
Costo total	3087,69	3637,34	4039,38	3371,40	3037,13	

Fuente: Adaptado de CONIF 2012

## Literatura citada

AFRIN, S.; SHARMIN, S.; MOWLA, QA, 2010. The environmental impact of alien invasive plants species in Bangladesh. In: Proceedings of International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh (ICEAB), September 2010. 62-64. <http://www.benjapan.org/iceab10/>

ALVARADO, A.; RAIGOSA, J.; OVIEDO, J. 2012. NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DE CONÍFERAS: *Pinus* spp., *Cupressus* spp. In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 221-245

ARGUEDAS G, M. 2008. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. 1ª ed. – San José, Costa Rica, Corporación Garro y Moya, 2008. 69 p.

BARRETT, W. H.G.; GOLFARI, L. 1962. Descripción de dos nuevas variedades del “pino del Caribe”. *Caribbean Forester*. 23(2): 59-71.

BAUER, J. 1982. Especies con potencial para la reforestación en Honduras: resúmenes. Tegucigalpa, Honduras: Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal. 42 p.

BEGA, R.U.; HENDERSON, F.F. 1962. Variation of monobasidiospore isolates of *Fomes annosus*. Abst. In *Phytopathology* 52 (1), 3.

BOARDMANN, R.; CROMER, R.N.; LAMBERT, M.J.; WEBB, M.J. 1997. Forest plantations. In: DJ Reuter, JB Robinson (eds.). *Plant analysis, an interpretation manual*. CSIRO Publishing. Australia. pp. 505-561.

BROTA, J. 1971. A preliminary volume table for *Pinus caribaea*. *Silvic. Res. Note* 17. Dar es Salaam, Tanzania: Ministry of Natural Resources and Tourism, Forest Division. 7 p.

CATIE (CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA). 2000. *Pinus caribaea* Morelet. Seed Leaflet No.40. Septiembre 2000.

CONIF (Corporación Nacional de Investigación Forestal Colombia). 1998. Guía para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales. Bogotá, Colombia, CONIF: Serie Documentación No. 38. 47 p.

CONIF (Corporación Nacional de Investigación Forestal Colombia). 2012. Apoyo a los componentes de evaluación del CIF (Costos de establecimiento de plantaciones forestales). Bogotá, Colombia, CONIF, Compilado por Francisco Torres Romero. 38 p.

COMMONWEALTH AGRICULTURAL BUREAU INTERNATIONAL. 2014 . *Pinus caribaea*. Disponible en <http://www.cabi.org/isc/datasheet/41573>

DYSON, W.G. 1995. Fertilización de plantaciones forestales en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. In: *Memorias del Seminario Técnico sobre Fertilización Forestal* realizado en Santiago, Veraguas, Panamá. CATIE /INRENARE. pp. 51-64.

EVANSJ, J.; TURNBULL, J.W. 2004. *Plantation forestry in the tropics*. Oxford University Press, Oxford. 3<sup>th</sup> edition. 467 p.

FIELDING, J. M. 1960. *Branching and flowering characteristics of Monterey pine*. Canberra, Forestry and Timber Bureau. Bulletin N° 37.

- FRANCIS, J.K. 1989. The Luquillo Experimental Forest Arboretum. Res. Note SO-358. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 8 p.
- FRANCO, W; COSTA, J. 1985. Avances en la clasificación de suelos con fines de plantación de *Pinus caribaea* en Chaguaramas, Edo, Monagas, Venezuela. Revista Forestal Latinoamericana. 3(85): 37-51.
- FERREIRA, C.A.; DA SILVA, H.D.; REISSMANN, C.B.; JURADO, A.F.; MARQUES, R. 2001. Nutrição de *Pinus* no sul de Brasil. Diagnóstico e prioridades de pesquisa. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, EMBRAPA. Documentos. 23 p.
- GREAVES, A. 1978. Descriptions of seed sources and collections for provenances of *Pinus caribaea*. Oxford, England. Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford. 116 p.
- HAAG, H.P (ed.). 1983. Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil. Fundação Cargill. Campinas, Brasil. 202 p.
- HERNANDEZ, R.; LOMBARDO, C. 1987. Deficiencias de macronutrientes en *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* Morelet. Barr. y Golf. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida. 109 p.
- HERRERO, J.A.; RENDA, A.; GONZALEZ, A; GRA, H; DE NASCIMENTO, J.; GONZALEZ, A.; PEÑA, A.; CASTILLO, E.; JIMENEZ, m.; HERRERO, G.; ALVAREZ, M.; PEREZ, M. 1985. Manejo del *Pinus caribaea* var. *caribaea* en las zonas de "Alturas de Pizarras", provincia de Pinar del Río. Centro de Investigación Forestal, Ministerio de Agricultura. La Habana, Cuba. Boletín de Reseñas Forestales Nº 3. 60 p.
- HERRERO, G.; GONZALEZ, M.; FUENTES, I.; HERRERA, P.; GARCIA, A.; COTO, O. 2004. Fertilización a Plantaciones de *Pinus caribaea* var. *caribaea* en su hábitat natural y diversidad vegetal asociada. In: Memorias del Primer Congreso sobre Suelos Forestales realizado del 25 al 27 de octubre del 2004. Universidad Nacional, INISEFOR. Heredia, Costa Rica. 18 p.
- HOLDRIDGE, L.R. 1967. Life zone ecology, San José, Costa Rica: Tropical Science Center. 206 p.
- KÖRNER, M.; 2013. Erfassung und Modellierung des Wachstums der Karibischen Kiefer (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*) in der Dominikanischen Republik. DVFFA, Sektion Ertragskunde: Beiträge zur Jahrestagung 2013. 8 p.
- KOZLOWSKI, T.T; T. E. GREATHOUSE. 1970. El crecimiento de las ramas de los pinos y su forma en el trópico. Roma, Italia. FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations) Unasyuva 24 (4)
- LADRACH, W.E. 1974. El efecto de la fertilización con fósforo y calcio en el crecimiento inicial del *Pinus oocarpa* y *Cupressus lusitanica*, después de tres años. Cartón de Colombia, S.A., Cali. 9 p. Informe de Investigación, Nº 3.
- LADRACH, W.E. 1980a. Efecto de la aplicación de diferentes niveles de bórax y N-P-K (10-30-10) en el crecimiento de *Cupressus lusitanica* al año de su establecimiento Cartón de Colombia, S.A., Cali. 5 p. Informe de Investigación, Nº 55.
- LADRACH, W.E. 1980b. Respuesta al crecimiento de algunos árboles con la aplicación de fósforo, Nitrógeno y boro al momento de la plantación en el Cauca y en El Valle. Cartón de Colombia, S.A., Cali. 17 p. Informe de Investigación, Nº 59.

- LAMB, A.F.A 1973. *Pinus caribaea*. Oxford, OX1, England. University of Oxford, Department of Forestry, Commonwealth Forestry Institute. FAST Growing Timber Trees of the Lowland Tropics, No. 6
- LANNER, R. M. 1966. *The phenology and growth habit of pines in Hawaii*. U.S. Forest Service Paper PSW-29.
- LIEGEL, L.H. 1981. Seasonal nutrition of 3 and 4-years old *Pinus caribaea* foxtails and normal-branched trees in Puerto Rico. Tesis de Doctorado. Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, Carolina del Norte. 141 p.
- LIEGEL, L.; CAMACHO, P.; PARRESOL, B.P.; DELL, T.R.; DOBELBOWER, K.R. 1987. Caribbeban pine plantations in Costa Rica. s.l. USDA Forest Service. 26 p.
- LIM, F.Y.; SUNDRALINGAM, P. 1974. Some preliminary results of fertiliser application on the growth of a 6 year old *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* stand. *The Malaysian Forester* 37(2):120-126.
- LÜCKHOFF, H.A. 1964. The natural distribution, growth and botanical variation of *Pinus caribaea* and its cultivation in S. Africa. *Annale Univ. van Stellenbosch* 39 Serie A, 1.
- LUGO, L.; MORA, A.; SUAREZ, C.; MONTARULLO, M. Relación entre la Mortalidad y los Suelos en las Plantaciones de Pino Caribe del Oriente de Venezuela. Leonardo Lugo S. *et. al.* Págs. 57-83. *Rev. For. Lat.* N° 39/2006.
- MALAVOLTA, E. 1984. Potássio, magnésio e enxofrenos solos e culturas brasileiras. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, São Paulo, Brasil. 120 p.
- MUSALEM, M.A. 1973. Estudio del comportamiento de *Pinus caribaea* Morelet en el trópico húmedo, Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. Tesis Mag. Sc. 120 p.
- NAPIER, I.A.; WILLAN, R.L. 1983. Nursery Techniques for Tropical and Subtropical Pines. DFSC Technical Note No. 4.
- OPPENHEIMER, HL. 2003. New plant records from Maui and Hawai'i Counties. Bishop Museum Occasional Papers, 73:3-30. [Records of the Hawaii Biological Survey for 2001-2002. Part 1: Articles.] <http://hbs.bishopmuseum.org/pubs-online/pdf/op73.pdf>
- ORTEGA, B. 1986. Factores edáficos y topográficos que determinan la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Pavones, Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Programa Recursos Naturales UCR/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 110 p.
- ORTIZ, E.; CAMACHO, P.; 1986. Aplicación de los estudios de forma de tronco en dos especies forestales. In Congreso Forestal Nacional, 1986, San José, Costa Rica.
- PEÑA, A; CASTILLO, E. 1981. Estudio sobre secado artificial de conos de la especie *Pinus caribaea* var. *caribaea*. *Revista Forestal Baracoa*. 11(1): 15-25.
- PIER, 2013. Pacific Islands Ecosystems at Risk. Honolulu, Hawaii, USA: HEAR, University of Hawaii. <http://www.hear.org/pier/index.html>

- POYNTON, R.J. 1977. Report to the Southern African Regional Commission for the Conservation and Utilisation of the Soil (SARCCUS) on Tree planting in southern Africa, Vol. 1, The Pines. Department of Forestry, Republic of South Africa.
- REYNOSO, F.; GARCIA, R. 1985. Tabla de volumen estándar y de forma para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Santiago, República Dominicana, ISA (Instituto Superior de Agricultura). Nota Técnica No. 12. 7 p.
- RICHARDSON, D.M, 1998. Forestry trees as invasive aliens. *Conservation Biology*, 12(1):18-26.
- ROJAS, F.E. 1984. Análisis de crecimiento de plántulas de diez especies del género *Pinus* bajo tres condiciones edáficas y dos regímenes de humedad. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 98 p.
- ROJAS, F.; ORTIZ, E. 1991. Pino caribe: *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Barret y Golfari), especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), Serie Técnica, Informe Técnico No. 175. 58 p.
- SIMBERLOFF, D.; NUÑEZ, M.A.; LEDGARD, N.J.; PAUCHARD, A.; RICHARDSON, D.M.; SARASOLA, M.; WILGEN, B.W. van; ZALBA, S.M.; ZENNI, R.D.; BUSTAMANTE, R.; PEÑA, E.; ZILLER, S.R. 2010. Spread and impact of introduced conifers in South America: lessons from other southern hemisphere regions. *Austral Ecology* 35(5):489-504 <http://www.blackwell-synergy.com/loi/aec>
- SERFORINT (Servicio Forestal Integral Ltda).1998. Evaluación dasométrica de las fincas El Ensayo, Hermosa y Mary en Upala. San José, Costa Rica. Informe técnico. 14 p.
- SLEE, M. U.; NIKLES, D. G. 1968. Variability of *Pinus caribaea* (Mor.) in young Queensland plantations. *Proc. ninth Commonwealth for Conf.*, 1-50.
- VASQUEZ, W. 1987. Desarrollo de índices de sitio y selección de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en la Reserva Forestal La Yeguada, Panamá. Tesis de Maestría. Programa Recursos Naturales UCR/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 113 p.
- VEGA, L. 1964. Efecto de las micorrizas en el crecimiento inicial de coníferas tropicales. *Turrialba* 14:151-155.
- WATERLOO, M.J. 1994. Water and nutrient dynamics of *Pinus caribaea* plantation forests on former grassland soils in southwest Viti Lavu, Fiji. Tesis de Doctorado. Universidad Vrije de Amsterdam EBODRUK B.V., Enschede, Holanda. 420 p.
- WOLFFSOHN, A. 1983. *Pinus caribaea* var. *hondurensis*: estudios sobre su manejo en sitios nativos. Siguatepeque, Honduras, ESNACIFOR (Escuela Nacional de Ciencias Forestales). Serie Miscelánea No. 3 66 p.
- ZAMORA, J. 1986 *Pinus caribaea* var *hondurensis* Barr et Golf. Revisión de Literatura. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 38 p.

## **Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas**

### **1. Antecedentes**

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), es el responsable legal del financiamiento del sector forestal costarricense. Esta labor la realiza a través de dos modalidades a saber: pago por servicios ambientales y el crédito dirigido a pequeños y medianos productores. De acuerdo con los Términos de Referencia (TdR)<sup>2</sup> el FONAFIFO es el punto focal del REDD + y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP); se ha definido como una de las acciones estratégicas para REDD+, el aumento de la producción y consumo sostenible de madera, como una forma, entre varias, de aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

Por su lado, la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país, está constituida por 40 organizaciones de pequeños y medianos productores, industriales y comerciantes de la madera, grupos ecologistas, artesanos y productores de muebles.

Las dos instituciones han aunado sus esfuerzos para la ejecución de las tareas del RP y dentro de éste, la consultoría orientada a identificar los aspectos relevantes para estimular la reforestación comercial, ya sea mediante el empleo de prácticas tradicionales o el uso de sistemas agroforestales (SAF), incluyendo los sistemas silvopastoriles (SSP) para aumentar la producción de madera y por tanto la captura de carbono, necesario para la formación y acumulación de madera. Como resultado de la consultoría indicada, la estrategia REDD+ financiaría la ejecución de un proyecto coordinado por FONAFIFO y dirigido por la Oficina Nacional Forestal, (ONF) para el **“Fomento de la Reforestación comercial para la mejora y conservación de las Reservas de carbono”**, como parte de la estrategia para aumentar los acervos de carbono, una acción estratégica de REDD+.

### **Objetivos**

De acuerdo con los TdR, la consultoría tiene como objetivo general “Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono”, lo cual implica conocer las motivaciones de los productores actuales y potenciales para el establecimiento y manejo de plantaciones, utilizando diferentes métodos de plantación, incluyendo los sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Los objetivos específicos son:

- Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.

---

<sup>2</sup> FONAFIFO/FCPF/Donación TF012692. 2014. Términos de referencia para la contratación de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, San José, Costa Rica, FONAFIFO. 7 p.

- Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

Dentro del objetivo dirigido al desarrollo de paquetes tecnológicos, una de las tareas de la consultoría es la elaboración de un mapa de áreas potenciales para el cultivo de madera, para lo que se han planteado las siguientes tareas:

- a. Recopilar información cartográfica: suelos y fertilidad, lluvias y duración de sequía, uso actual y potencial, infraestructura, desarrollo social y desarrollo humano, PEA y disponibilidad de PEA;
- b. Elaborar diferentes capas con información cartográfica a escala 1:200.000 para obtener zonificación para las especies seleccionadas;
- c. Elaborar los mapas escala 1:200.000 con la zonificación para especies priorizadas

Una tarea previa a la elaboración del mapa fue el análisis de las especies utilizadas para proyectos de reforestación en Costa Rica. Se elaboró el documento “Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, que hizo el análisis de las principales especies utilizadas en el país para los diferentes proyectos de reforestación, desde los de carácter industrial (de tamaño grande y especies con mercado relativamente establecido) hasta pequeños proyectos familiares; el análisis incluyó los proyectos financiados tanto por la iniciativa privada, como aquellos que han contado con el pago por servicios ambientales por parte del FONAFIFO, o con financiamiento mixto.

Paralelo a la preselección de las especies se inició un estudio para evaluar la disponibilidad de madera en las plantaciones forestales establecidas hasta la fecha, mediante un muestreo de campo.

Un segundo análisis previo a la elaboración del mapa fue la determinación de las barreras para el establecimiento de plantaciones y reforestación a nivel nacional, dando como resultado el documento “Barreras que desalientan el cultivo de madera”.

Un tercer nivel de análisis fue una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre las especies seleccionadas por el Comité Evaluador del Proyecto, tanto en el ámbito nacional como a nivel externo.

Con la información aportada por estas etapas previas, se seleccionaron los principales indicadores para las especies, que permitieran priorizar áreas para el establecimiento de plantaciones (comerciales, sistemas agroforestales y silvopastoriles). Los indicadores seleccionados fueron: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas protegidas y otras áreas con bosque; no fue posible obtener información cartográfica de la tenencia (catastro); con la información se espera disponer de un mapa preliminar del área potencia para cada una de las especies seleccionadas (5 mapas a escala 1:200.000), los cuales, complementados con la información en paquetes tecnológicos diseñados para cada una de las especies, permitirían tomar decisiones respecto a la factibilidad de una especie en un sitio determinado. El trabajo de análisis cartográfico fue realizado con el apoyo del Ingeniero Freddy Argotty, consultor privado.

## Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en la consultoría, fue necesario diseñar un modelo de pesos ponderados el cual permite desarrollar un análisis multicriterio entre varios rasters. Análisis de este tipo generan resultados más robustos puesto que permiten darle mayor importancia a variables de significativa importancia que definen el establecimiento de las especies.

Se trabajó con ocho variables (altitud, pendiente, capacidad de uso, temperatura, precipitación, pH, suborden de suelos y meses secos). Todas las capas vectoriales se convirtieron en rasters manteniendo un marco de trabajo similar en todas las capas<sup>3</sup>. La resolución espacial fue seleccionada de acuerdo al raster con resolución más fina (altitud: 30 m).

### 1. Capa de información: Altitud

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM V2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model).

Descripción: La información fue obtenida a partir del modelo de elevación digital (DEM), de 30 metros de resolución espacial actualizado a 2011. Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y se proyectó a coordenadas CRTM05. Datos de elevación faltantes fueron calculados a partir de interpolación espacial zonal.

### 2. Capa de información: Pendiente

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model)

Descripción: A partir del DEM y bajo la herramienta “*slope*” del analista espacial de ArcGis fue generada esta capa para Costa Rica. Se determinó como unidad de medida de salida el porcentaje de pendiente.

### 3. Capa de información: Capacidad de Uso del Suelo 2004

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Se hizo una revisión de las categorías de capacidad de uso de suelo para Costa Rica. Las categorías VII y VIII se consideraron como limitante para el establecimiento de plantaciones puesto que se caracterizan por ser tierras que no reúnen las condiciones mínimas requeridas para cultivo o pastoreo, y solo se pueden utilizar en protección total. En esta capa existe el parámetro de áreas protegidas el cual fue restringido en el modelo. Esta información ha cambiado respecto a su distribución en el país, por lo que análisis posteriores permitirán extraer información más actualizada.

### 4. Capa de información: Temperatura

Formato: shape

---

<sup>3</sup> Un marco de trabajo en común es jerárquicamente significativo cuando se trabaja con rasters provenientes de diferentes fuentes y escalas, siendo a menudo prerrequisito para mejorar tareas de geo-procesamiento

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 5. Capa de información: Precipitación

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 6. Capa de información: pH

Formato: shape

Fuente: Harmonized World Soil Database V1.0

Descripción: el HWSD es un raster (30 arc-segundo) con cerca de 15000 diferentes unidades de mapeo de suelo que combina información actualizada a nivel regional y nacional y a escala 1:5000000. Las fuentes de esta capa son SOTER, ESD, Soil Map of China, ISRIC-WISE, FAO/UNESCO Soil Map of the World (FAO, 1971-1981). Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y proyectados a coordenadas CRTM05.

#### 7. Capa de información: Mapa digital de suelos de Costa Rica 2013

Formato: shape

Fuente: CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas)

Descripción: en 2009 empieza el cambio de información de suelos de formato analógico al digital y en 2013 se lanza el mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a escala 1:200000, el cual cuenta con una base de dato de 450 perfiles de suelo.

#### 8. Capa de información: Meses secos

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo, pero bajo el proyecto TERRA el número de meses secos para Costa Rica se separa y transforma a formato shape.

Fue necesario reclasificar todas las variables convirtiendo la información en datos “enteros”.

Para determinar el número de clases, se optó por conservar la información fuente, esto debido principalmente a que se quiso mantener las características de las capas originales bajo la resolución más fina (30 m).

Bajo parámetros técnicos, se asignó a cada variable y para cada especie diferentes pesos de acuerdo a su importancia relativa usando una escala común<sup>4</sup> (cuadro 1).

Para mejorar la distribución de la condición bajo la cual se establecen las especies, además de incluir las ocho variables y sus pesos de acuerdo a su importancia relativa, se determinó tres escenarios bajo los

---

<sup>4</sup> Según las características ecológicas y rangos de ocupación de cada especie

cuales se desarrollarían las especies (optimo, medio y deficitario) (Anexo 1). Cabe aclarar que los pesos para los tres escenarios se mantienen.

Cuadro 1. Pesos de acuerdo a la importancia relativa de las variables para teca.

Especie	Variable	Peso
Tectona grandis	Altitud	20
	Meses secos	15
	pH	13
	Sub orden de suelos	12
	Pendiente	11
	Capacidad de uso	11
	Precipitación media anual	10
	Temperatura media anual	8
Total		100

La selección de la mejor condición para Teca (*Tectona grandis*) se visualiza para cada variable de acuerdo a la figura 1 (se realizó el mismo procedimiento para cinco especies diferentes, incluyendo *Pinus caribaea* var. *hondurensis*). Cabe aclarar que las áreas seleccionadas para reforestación con teca, no pueden sustituir áreas cubiertas con bosques (primarios o secundarios), así como tampoco estarán en áreas protegidas, razón por la cual este informe preliminar es una orientación de las áreas potenciales y a partir de un análisis posterior se permitirá conocer y seleccionar las áreas efectivas que representen la condición respectiva para cada especie.

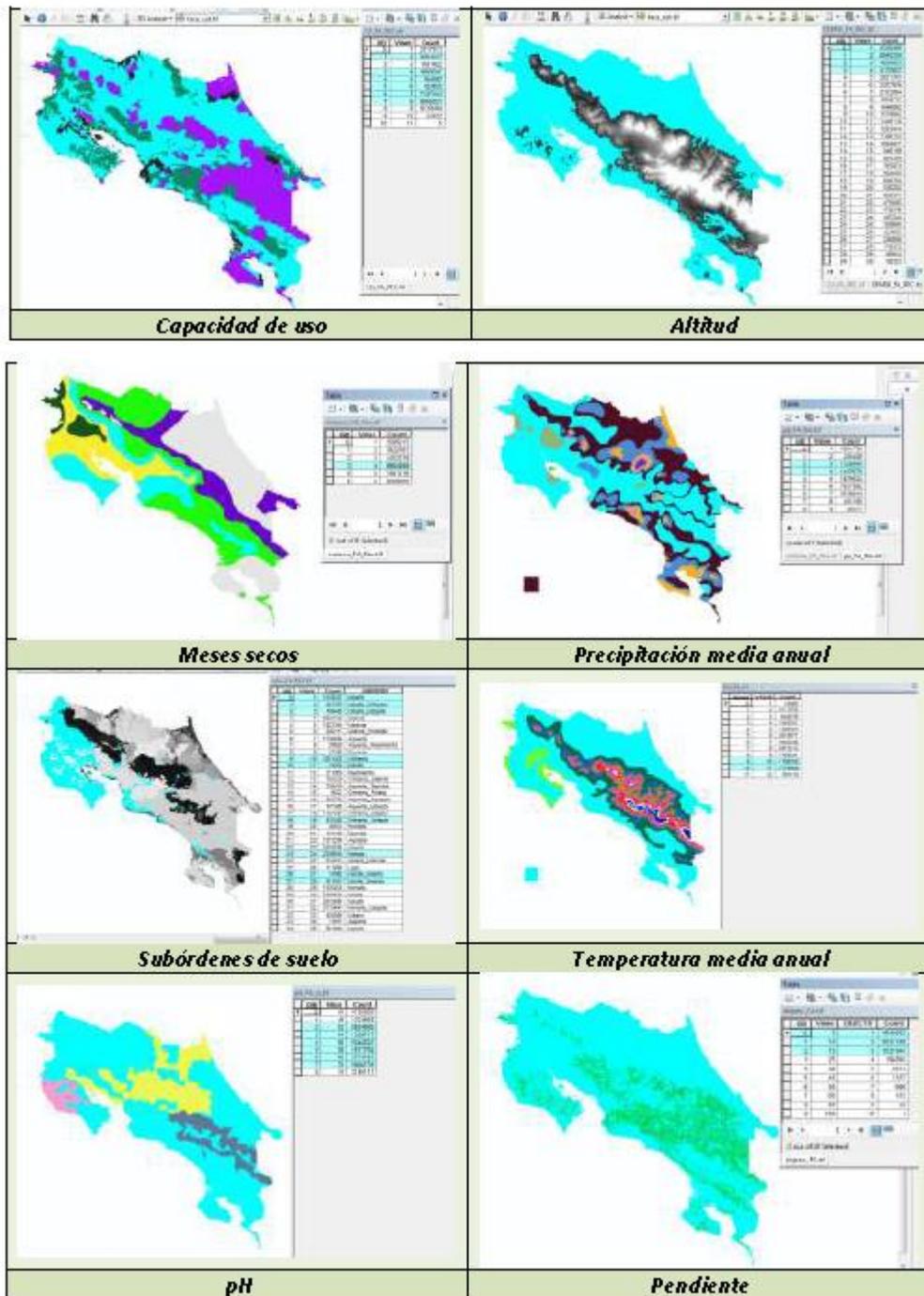


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Optima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica

Condición		Optimista						Medio						Deficitario							
Especie	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Teca	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24
Melina	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults, Humulfs	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udults	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23
Pino	sin restricción	5,0-6,5	<30%	<500	1000-2000	4	24-30	sin restricción	4,0-6,5	<35%	<800	1000-3200	2-6	22-30	sin restricción	<4,0	>35%	>800 hasta 1000	<1000 o >3200	>6	<22
Eucalipto	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	5,0-6,5	<25%	<600	1000-2500	1-3	22-30	Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents	4,8-6,5	25%-30%	500-800	1500-3000	1-3	22-32	sin restricción	<4,8	30-35	<1000	<1500 o >3000	>4	<22
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults, Humulfs	>5,2	<25	<600	1200-1800	2-4	22-28	Aquents, Ustolls, Ustalfs,Ustepts, Orthents, Udults,	5,0-6,2	25%-30%	400-800	1800-2500	3-4	20-30	sin restricción	<5,0	30%-35%	<1000	<1200 o >2500	>4	<20

**Fondo Nacional de Financiamiento Forestal  
Forest Monitoring System for REDD+ Costa Rica**

**Teca (*Tectona grandis* L. f.): condiciones para su cultivo  
“Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las  
reservas de carbono”**

**Héctor A Martínez H  
Consultor**

**Moravia, Marzo de 2015**

## **Acrónimos**

ACT:	Área de Conservación Tempisque
AFE:	Administración Forestal del Estado
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BM:	Banco Mundial
CACH:	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha
CAF:	Certificado de Abono Forestal
CAFA:	Certificado de Abono Forestal por Adelantado
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CODEFORSA:	Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos
COOPEAGRI:	Cooperativa Agrícola Industrial y de Servicios Múltiples El General
CRUSA:	Fundación Costa Rica - USA
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FSC:	Forest Stewardship Council
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
IMA:	Incremento Medio Anual
ISO:	International Standard Organization
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
OET:	Organización para Estudios Tropicales
ONF:	Oficina Nacional Forestal de Costa Rica
PIB:	Producto Interno Bruto
PNUF:	Plan Nacional de Desarrollo Forestal
PSA:	Pago por Servicios Ambientales
REDD+:	Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosques
SINAC:	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TIR:	Tasa Interna de Retorno

# Contenido

<b>Acrónimos</b> .....	ii
<b>Resumen ejecutivo</b> .....	1
<b>1. Antecedentes</b> .....	3
<b>1.1 Marco de referencia</b> .....	3
1.2 ¿Por qué teca? .....	4
<b>2. Requerimientos biofísicos</b> .....	4
2.1 Precipitación anual .....	4
2.2 Temperatura .....	5
2.3 Altitud .....	5
2.4 Suelos .....	5
2.4.1 <i>Textura</i> .....	6
2.4.2 <i>Drenaje del suelo</i> .....	6
2.4.3 <i>Reacción del suelo</i> .....	6
2.4.4 <i>Profundidad</i> .....	6
<b>3. Reproducción y producción en vivero</b> .....	8
3.1 Reproducción por semillas y otras formas .....	8
3.2 Fertilización y controles químicos .....	10
<b>4. Establecimiento</b> .....	11
4.1 Época de plantación .....	11
4.2 Protección de las plantaciones .....	12
4.3 Selección del sitio y preparación del suelo .....	12
4.3.1 <i>Requerimientos de sitio</i> .....	13
4.3.2 <i>Establecimiento de las plantaciones: preparación del suelo</i> .....	16
4.4 Plantación .....	17
4.5 Control de malezas .....	17
4.6 Enmiendas al suelo: corrección de acidez y fertilización .....	20
4.6.1 <i>Corrección o enmienda de la acidez del suelo</i> .....	20
4.6.2 <i>Nutrición y crecimiento de teca</i> .....	21
4.6.3 <i>Flujo de nutrimentos en teca</i> .....	21
4.6.4 <i>Nutrimentos en la biomasa de teca</i> .....	23

4.6.5 Deficiencias de nutrimentos en teca.....	24
4.7 Fertilización durante la vida de la plantación.....	27
4.8 Erosión en plantaciones de teca y pérdida de nutrimentos .....	29
<b>5. Manejo .....</b>	<b>31</b>
5.1 Densidad de plantación.....	31
5.2 Podas .....	32
5.3 Raleos.....	33
5.4 Crecimiento y modelos de crecimiento.....	35
5.5 Plagas y enfermedades .....	40
5.7 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión .....	49
5.7.1 Costos de aprovechamiento .....	52
5.7.2 Precios de la madera en pie .....	54
<b>Literatura consultada .....</b>	<b>57</b>
<b>Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas</b>	<b>67</b>

## Resumen ejecutivo

*Tectona grandis* L. f. es la especie de árbol comercial más destacado y reconocido como tal del mundo; después de los pinos y los eucaliptos es la especie más plantada en América Latina, y actualmente en Costa Rica. Teca ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

Las características más relevantes son: es una especie de alto valor de mercado, con mercado creciente y asegurado, tanto a nivel nacional como externo; de rápido crecimiento y turnos relativamente cortos de 18-25 años o menos, dependiendo de la calidad del sitio seleccionado; una ventaja con esta especie es que se dispone de germoplasma adecuado y con procesos de mejoramiento en marcha (huertos semilleros, huertos clonales).

La especie es de silvicultura conocida, se dispone de experiencia nacional y técnicos capacitados para el establecimiento y manejo de plantaciones con esta especie; se tienen programas de investigación en marcha, por parte de centros especializados y universidades nacionales; y se han identificado áreas con condiciones adecuadas para el establecimiento de plantaciones, aunque el precio de la tierra puede constituir un factor limitante.

Las condiciones biofísicas identificadas para la selección de sitios posibles son: precipitación anual de 1500 a 2500 y hasta 3000 mm anuales; temperatura media entre 24º C y 28º C, mejor o en sitios con 26º C.; suelos de texturas medias a moderadamente finas, profundos, bien drenados incluyendo suelos de los órdenes Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents; no se desarrolla bien en vertisoles con problemas de anegamiento. Prefiere suelos poco ácidos o no ácidos, con pH arriba de 5,2 y acidez baja (menor a 0,8%) en la superficie. Los sitios donde mejor se desarrolla son aquellos debajo de los 380 metros sobre el nivel del mar (msnm), en posiciones topográficas de fondo de valle o piedemonte, aunque los mayores crecimientos se presentan por abajo de 300 msnm.

Para disminuir los riesgos, se debe seleccionar germoplasma proveniente de huertos semilleros de reconocida calidad, o material vegetativo producido de colecciones que hayan mostrado un comportamiento superior, avalados por programas de investigación serios, con participación del sector privado y la academia.

Las nuevas plantaciones deben establecerse una vez se han instaurado las lluvias, para permitir el buen desarrollo de los árboles que les permita afrontar con éxito la primera estación seca; en la mayor parte de Costa Rica la estación de lluvias inicia a finales de mayo o primeros días de mayo, con una breve estación seca (canícula) en julio, por lo que plántulas y sitios deben estar preparados a finales de mayo.

La preparación de los sitios deberá prever la presencia de excesos de agua en el suelo, mediante la construcción de un sistema de drenaje adecuado para permitir la salida de estos excedentes. En silvicultura intensiva, y dependiendo del uso anterior, se decide el tipo de laboreo: subsolado (hasta 60 cm – 70 cm), arado profundo (25 cm), rastreado (rastrillado), alomillado, siguiendo las curvas de nivel, para disminuir los riesgos de erosión superficial por arrastre o lavado. Enmiendas, si necesarias, deben ser consecuencia del análisis previo de suelos; suelos con alta acidez, presencia elevada de hierro y/o aluminio requieren adiciones de calcio para permitir la acción de otros nutrimentos esenciales.

Teca es intolerante a la competencia por luz, agua y nutrimentos, así como por espacio radicular, lo que hace necesario un control adecuado de malas hierbas; limpieza manual o mecánica alrededor de las plántulas (plateo individual o limpieza de la línea de plantación) son prácticas recomendadas; además de la limpieza manual, se puede utilizar moto-guadañas o chapeadoras mecánicas haladas por tractores agrícolas. También se pueden utilizar herbicidas pre-emergentes y post-emergentes, atendiendo a las regulaciones nacionales; en el caso de plantaciones certificadas se debe atender a las exigencias del organismo certificador.

Se deberá ejercer control permanente para monitorear la aparición de plagas y/o enfermedades y tomar las medidas correctivas adecuadas, aunque el monitoreo debe permitir la toma de medidas precautorias a lo largo del ciclo de producción. Se deben establecer parcelas permanentes para monitorear el crecimiento de las plantaciones y tomar las decisiones de manejo en el momento oportuno.

El espaciamiento inicial de plantación depende del objetivo (producto a obtener), material utilizado (semillas o clones), el ciclo de corta considerado, la topografía, la utilización de maquinaria para las labores de mantenimiento y otros factores locales; espaciamientos de 3,5 m x 3,5 m; 4 m x 3 m; 4 m x 4 m, son comunes en plantaciones este tipo de plantaciones.

Debido al rápido crecimiento inicial en altura los árboles de teca desarrollan pocas ramas, lo que hace innecesarias las podas en los primeros meses; generalmente cuando los árboles alcanzan alturas entre 3 y 5 metros se hace la primera poda; la segunda cuando los árboles alcanzan los 9-10 metros, podando hasta los 3,5 m a 5,0 m; la tercera poda se realiza cuando los árboles alcanzan los 12 metros, podando hasta los 7,0 metros, para favorecer las primeras trozas, consideradas las más valiosas.

El primer raleo se realiza generalmente cuando se programa la segunda poda, aproximadamente a los 5 años de edad de la plantación; se han propuesto diferentes intensidades, pero partiendo de unos 800 árboles ha<sup>-1</sup> se hacen raleos del 40%-45%; un segundo raleo se hace a los 8 años (30%) y un tercero y final a los 12 años (30%-37%), para llegar a poblaciones de 200 árboles ha<sup>-1</sup> a partir de los 12 años.

La cosecha, una decisión de tipo económico, se planifica de acuerdo al tipo de producto a entregar: fustes enteros, trozas de 4 varas (3,2 m), trozas de otras dimensiones. Dependiendo de las condiciones del sitio, se define el tipo de extracción a utilizar: fuerza animal (bueyes), tractores agrícolas adaptados, tractores forestales (skidders) o cables aéreos.

Como resultado del trabajo de campo realizado dentro de la consultoría en la que se enmarca este documento, y la revisión de antecedentes y literatura, se seleccionó la precipitación, la distribución de las lluvias y la duración de la época seca, las temperaturas medias los subórdenes de suelos y el uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas con plantaciones actuales, áreas protegidas y otras áreas con bosque, como indicadores para la identificación preliminar de las áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones de teca en Costa Rica. Los resultados indican que se dispone de 5.130 ha del territorio nacional con condiciones óptimas para el establecimiento de plantaciones de teca; cuando alguno (no más de uno) de los requisitos se llena parcialmente, el área disponible asciende a 509.070 ha; hay 34.440 ha adicionales donde al menos dos o más requerimientos es llenado parcialmente.

# Teca (*Tectona grandis* L. f.): condiciones para su cultivo

Héctor A Martínez H  
Consultor

## 1. Antecedentes

### 1.1 Marco de referencia

Los “Términos de Referencia para la contratación de la consultoría Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono” (TdR) establecen que el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) es el responsable, según asignación legal, del financiamiento del sector forestal costarricense, mediante el financiamiento a través de dos modalidades: pago por servicios ambientales y crédito dirigido a pequeños y medianos productores. FONAFIFO es, además, el punto focal de REDD+ y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP), el cual ha definido como una de las acciones estratégicas para Redd+ el aumento de la producción y el consumo sostenible de madera, como una de las formas para aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

La consultoría indicada ha sido contratada por el FONAFIFO y responde ante un Comité Evaluador, nombrado por el Director Ejecutivo de FONAFIFO, del que forma parte la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país.

El objetivo general de la consultoría es: Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono.

El logro de este fin requiere el alcance de los siguientes objetivos específicos:

1. Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
2. Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.
3. Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

La promoción del establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera requiere, como paso previo, la identificación de las principales barreras a la actividad. Los términos de referencia para el presente trabajo de consultoría solicitan la elaboración de paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades, para cinco especies prioritarias. Previamente se elaboró un documento para la priorización de las especies<sup>1</sup> y entre ellas se seleccionó *Tectona grandis* L. F. (teca).

---

<sup>1</sup> Martínez H., H.A. 2014. Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Moravia, Costa Rica, FONAFIFO (Fondo Nacional de Fomento Forestal). 39 p.

## 1.2 ¿Por qué teca?

*Tectona grandis* L. f. es la especie de árbol comercial más destacado y reconocido como tal del mundo; después de los pinos y los eucaliptos es la especie más plantada en América Latina, y actualmente en Costa Rica. Teca ha sido seleccionada como una de las especies prioritarias en el proyecto “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”.

Se estima que los bosques nativos de teca cubren 29,04 millones de hectáreas en India, RDP Lao, Myanmar y Tailandia (Koller y Cherubini 2012).

Las características más relevantes de la especie son: alto valor de mercado, con mercado creciente y asegurado, tanto a nivel nacional como externo; de rápido crecimiento y turnos relativamente cortos de 18-25 años o menos, dependiendo de la calidad del sitio seleccionado; una ventaja con esta especie es que se dispone de germoplasma adecuado y con procesos de mejoramiento en marcha (huertos semilleros, huertos clonales).

La especie es de silvicultura conocida, se dispone de experiencia nacional y técnicos capacitados para el establecimiento y manejo de plantaciones con esta especie; se tienen programas de investigación en marcha, por parte de centros especializados y universidades nacionales; y se han identificado áreas con condiciones adecuadas para el establecimiento de plantaciones, aunque el precio de la tierra puede constituir un factor limitante.

## 2. Requerimientos biofísicos

### 2.1 Precipitación anual

Ocurre naturalmente en áreas húmedas de bosques semi-decíduos del centro-sur occidental de la India, asociada con *Terminalia tomentosa*, *T. paniculata*, *Dalbergia latifolia*, *D. sissoo*, *Lagerstroemia lanceolata*, *Pterocarpus marsupium* y otras incluyendo *Bambusa arundinacea* y *Dendrocalamus strictus*, que influyen en su manejo (Troup 1921); en Burma crece en las montañas Pegu Yoma entre los ríos Irawaddy y Sitang, en bosques húmedos decíduos, a veces señalados como el hogar verdadero de teca, asociada a especies como *Terminalia tomentosa*, *T. belerica*, *T. chebula*, *Pterocarpus macrocarpus*, *Gmelina arborea*, *Cassia fistula*, especies de bambú y otras, en climas desde secos hasta húmedos; en Tailandia crece en altitudes de 90 a 1000 msnm y precipitaciones entre 1000-1500 mm. En Indonesia en las islas de Java y Muna en rodales casi puros (75%-99% de volumen), desde el nivel del mar hasta los 600 msnm con precipitaciones que varía entre 1500 y 2500 mm (Kadambi 1972) y en bosques húmedos tropicales de India y Birmania (Mahapol 1954).

En el área de distribución natural crece mejor en climas húmedos tropicales, de carácter monzónico, con 1.250 a 3.000 mm de precipitación media anual con una estación seca de 3 a 6 meses (Webb et al 1984; Figuereido et al 2005; Schubert y Francis 2008); también se ha mencionado un extremo de precipitación de 3750 mm (Pandey y Brown 2000) y en zonas con 1000-1500 en Tailandia y 1500-2500 en Indonesia (Kadambi 1972); en Costa Rica la evidencia indica que crece bien en sitios con precipitaciones entre 1500 mm y 3000 mm (Martínez 2014) y cuatro meses de estación seca.

## 2.2 Temperatura

El área de distribución natural tiene temperaturas entre 13° C y 35° C, con temperatura media de 24° C (Mahapol 1954), con una variación entre 20° C y 28° C en Asia (Mahapol 1954; Pandley y Brown 2000); en América Central entre 24° C y 29° C (CATIE 1986). En Costa Rica, un estudio reciente (Martinez 2014) muestra que crece bien en sitios con temperaturas entre 24° C y 28° C.

Según Troup (1921) Mahapol (1954) y Weaver (1993), en la India teca tolera temperaturas entre 2° C y 48° C (36° F a 118° F); de acuerdo con Fonseca (2004) en la India teca crece en lugares con temperaturas entre 13° C y 40° C.

## 2.3 Altitud

Hay diferentes versiones respecto a la distribución altitudinal. Según Streets (1962) citado por Weaver (1993) en la India Central la especie crece hasta los 1200 msnm, siempre que los suelos sean profundos, fértiles, porosos y bien drenados; para Fonseca (2004) la especie crece hasta los 1000 msnm; Pandley y Brown (2000) indican que en los bosques naturales se produce por debajo de los 1000 msnm (sin precisar la altitud máxima); CATIE (1986) indica que en América Central se ha plantado, con suceso variable, hasta 600 msnm. Experiencias recientes indican que el mejor crecimiento se presenta debajo de los 380-400 msnm (CACH 2014), en zonas libres de vientos fuertes.

## 2.4 Suelos

Alvarado (2013) indica que las características de los suelos de los sitios donde teca se ha desarrollado bien en América Central se caracterizan por ser:

- Bien drenados
- Con texturas medias a moderadamente finas
- Con pendientes ligeras a moderadas
- Regiones donde los niveles de acidez del suelo son muy bajos, tanto en el suelo como en el subsuelo

Teca no se desarrolla bien en suelos:

- Poco profundos, dentro de ellos muchos Entisoles con afloramiento rocoso o rocas a poca profundidad.
- Cimas y pendientes muy secas o muy ventosas.
- Áreas de suelos arenosos con verano largo.
- Áreas en las que la distribución de lluvias presenta una concentración en períodos muy cortos o que tienen un “veranillo” (canícula) largo (la especie tiende a botar la hoja dos veces con el consecuente gasto energético).
- Regiones donde los niveles de acidez del suelo sean muy elevados, tanto en el suelo como en el subsuelo.

#### 2.4.1 Textura

Media a moderadamente finas, en suelos profundos (Koller & Cherubini 2012); incluyendo suelos de los órdenes Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents (Alvarado 2012; Alvarado 2012).

#### 2.4.2 Drenaje del suelo

Suelos bien drenados (Mahapol 1954; Flinta 1960; Kadambi 1972; CATIE 1986; Pandey & Brown 2000; Fonseca 2004; Alvarado 2013).

#### 2.4.3 Reacción del suelo

El valor mínimo del pH en los primeros 20 cm de suelo, para un buen crecimiento es de 5,1 y de 5,0 a partir de 20 cm de profundidad (Alvarado 2013; Fernandez Moya et al 2013).

#### 2.4.4 Profundidad

Tanto en el área de distribución natural como donde la especie ha sido plantada, el mejor desarrollo se presenta en suelos profundos (Mahapol, 1954; Flinta 1960; Kadambi 1972; CATIE 1986; Martinez 2014).

Los cuadros 1 y 2 presentan los requerimientos principales para el crecimiento de la especie.

Cuadro1. Calidades de sitio y fertilidad de los suelos en plantaciones de teca en Panamá (plantaciones de 60-69 meses)

Crecimiento (n)	Vol m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	P ppm	K ---	Ca cmol L <sup>-1</sup>	Acidez ---	pH	Sat. Ca %	Sat Ac. %
0-20 cm profundidad								
Alto (11)	69,9	13	1,01	13,58	0,96	5,1	58	3
Medio (5)	42,7	15	0,67	13,26	1,24	4,5	54	4
Bajo (2)	25,3	11	0,84	7,51	1,03	4,1	42	6
20-40 cm profundidad								
Alto (11)	69,9	13	0,89	12,09	1,09	5,0	56	3
Medio (5)	42,7	14	0,59	11,74	2,76	4,5	49	12
Bajo (2)	25,3	10	0,71	6,06	2,41	4,0	37	14

Fuente: Alvarado, A. 2013. El sitio y la silvicultura de la teca.

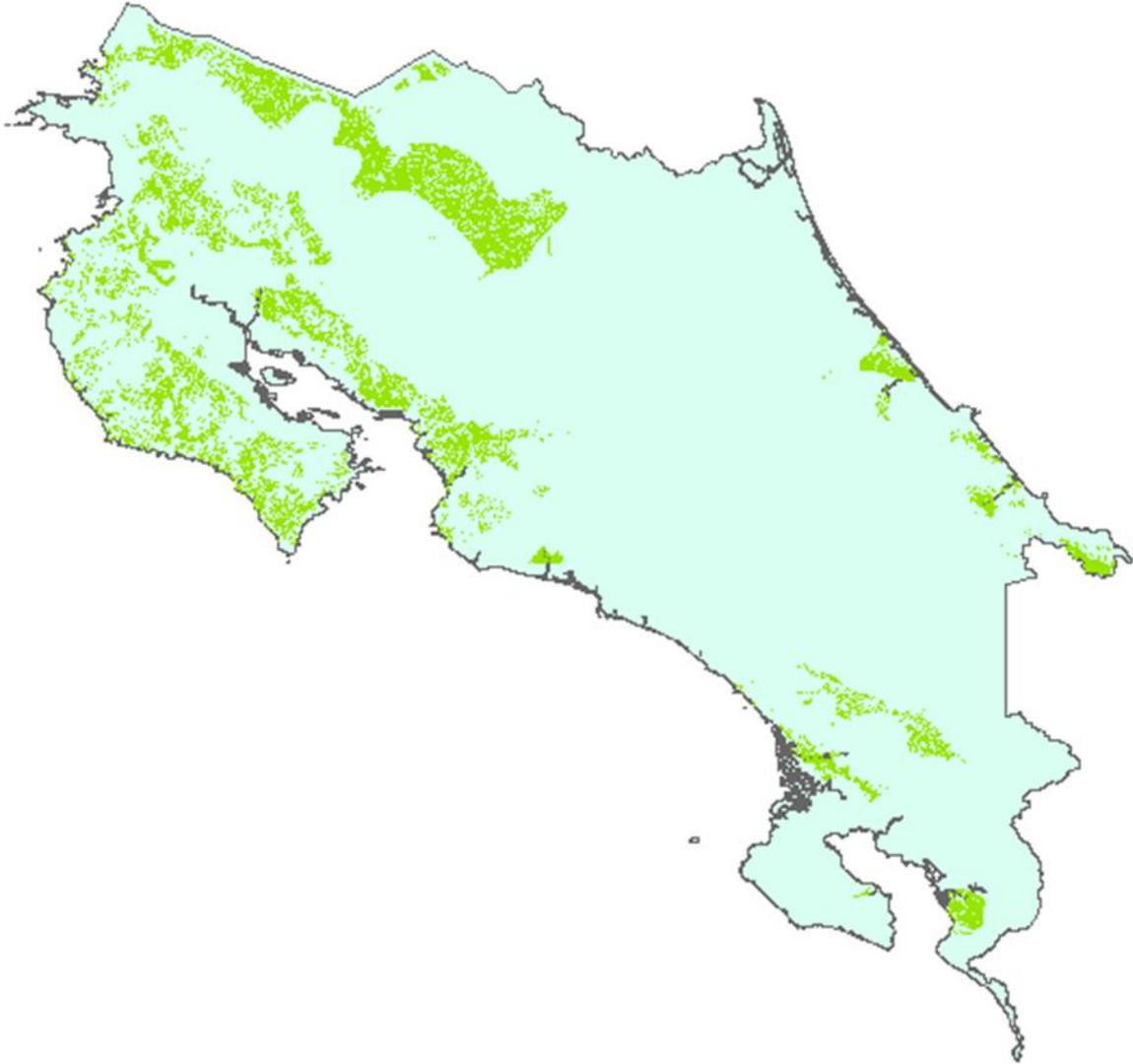
Cuadro 2. Características de sitios para tres condiciones de crecimiento de teca

Condición	Características						
	Tipo suelos suborden)	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Óptima	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28
Promedio	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30
Deficitario	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24

Fuente: elaboración propia

Con base en los indicadores seleccionados y la experiencia nacional, se identificaron preliminarmente las áreas potenciales mediante la utilización de la información geográfica disponible; el anexo 1 presenta la metodología detallada. El mapa 1 presenta las áreas con mayor potencial para el establecimiento de plantaciones de teca en Costa Rica.

De acuerdo con los resultados del mapa elaborado, se dispone de un área potencial para el establecimiento de plantaciones de teca, donde se llenan todos los requisitos establecidos en este estudio, de aproximadamente 5.130 ha; cuando alguno (no más de uno) de los requisitos se llena parcialmente, el área disponible asciende a 509.070 ha; hay 34.440 ha adicionales donde al menos dos o más requerimientos es llenado parcialmente.



**Mapa 1. Areas con potencial para el establecimiento de plantaciones de *Tectona grandis* (áreas consideradas óptimas).**

Fuente: elaboración propia a partir de capas de información geográfica.

### **3. Reproducción y producción en vivero**

#### **3.1 Reproducción por semillas y otras formas**

Teca se planta, generalmente, con material proveniente de semillas (en ocasiones se utiliza material vegetativo, si se dispone del mismo, de calidad probada) proveniente de huertos semilleros, tanto de familias de polinización abierta como clonales, y también áreas productoras de semillas (Montenegro et al, 2013).

Un kilogramo de semillas de teca tiene entre 800 y 2000 semillas; se almacenan en seco a 4º C; la viabilidad es de aproximadamente 2 años. Un fruto usualmente produce varias semillas (generalmente 2, hasta 4). En semillas frescas se reporta un porcentaje de germinación entre 10% y 80%, normalmente variando de 60% a 80%, después de un año de almacenamiento baja a un 15% (Flinta 1960; FAO 1985; CATIE 1986; Fonseca 2004). La germinación es epígea y comienza entre los 10 y 12 días después de la siembra sin ningún tratamiento.

Resulta útil escarificar las semillas antes de la germinación para acelerar y uniformizar la misma; se ha utilizado como tratamiento de escarificación la inmersión en agua, seguido de un periodo seco; también se ha usado la inmersión en agua caliente, la inmersión en ácido sulfúrico diluido, por un tiempo corto, la remoción de la testa para permitir el ingreso de la humedad y remover posibles factores inhibidores de la germinación (Masilamani 1996; Masilamani y Dharmalingam 1997); la duración de los tiempos de inmersión y secado varía según el autor. FAO (1975) y Magini y Tulstrup (1968) citados por Chaves y Fonseca (1991) reportan el remojo en ácido sulfúrico concentrado durante 20-30 minutos y el remojo alterno en agua fría y tibia por 24 horas. Un estudio reciente en Nigeria (Aguoru y Enema 2013) reafirma las ventajas del tratamiento con agua caliente, la inmersión en ácido sulfúrico diluido (5 minutos), así como la remoción de la testa.

Se utilizan diferentes formas de producción de material para el campo. En el siglo XX fue bastante popular en el mundo en general, y en América Central en particular, la producción de pseudoestacas que duraban hasta un año en vivero (Carter 1941; Mahapol 1954; Parry 1957; Flinta 1960; Bauer 1982; FAO 1985; CATIE 1986; Chaves y Fonseca 1991); también se utilizaba la producción de plántulas enteras en bolsas de polietileno, tubetes plásticos o de papel con tiempos de vivero de hasta 3 meses: en las últimas décadas del siglo 20 y en el presente siglo se ha popularizado, cuando se dispone de material de calidad, la reproducción vegetativa (clones) con tiempos de vivero de hasta 35 días (CACH 2014).

La variación entre las procedencias de las semillas (sitio y rodales semilleros) puede influir (positiva o negativamente) en la adaptación de la especie a un lugar y forma de manejo determinado, el crecimiento, la forma del tronco y la calidad de la madera; por tanto, la elección de procedencias para un sitio dado puede tener un impacto importante en el éxito del programa de plantación.

El material de semilla enfrenta algunos inconvenientes (White 1991; Wellendorf y Kaosa 1998; Monteuis y Goh 1999; Monteuis sf.):

- (i) la insuficiente disponibilidad de semilla de alta calidad;
- (ii) el hecho de que entre más largo sea el fuste limpio y por tanto mayor su valor comercial, más tarde se presentará la fructificación;
- (iii) adicionalmente, conociendo que las tasas de germinación, en condiciones normales, son muy variables e impredecibles, lo que agregado a la alta variabilidad entre individuos, afecta a los caracteres de mayor importancia económica.

La falta de información sobre los mecanismos de control genético de la mayoría de las características de importancia económica y de la ganancia genética que se puede esperar de la reproducción sexual (semillas), limitan su utilización.

En contraste, la reproducción vegetativa, consistente en duplicar, teóricamente en forma ilimitada, genotipos que conservan a través de la división mitótica su constitución genética original y en consecuencia, sus características individuales, presenta enormes posibilidades. Esta es la base de la reproducción clonal (Monteuuis y Goth 1999).

Según Montenegro *et al.* (2013), los proyectos de mayor tamaño y experiencia han desarrollado programas de selección de material vegetativo, procedente de estacas de árboles cuidadosamente seleccionados, que se almacenan en huertos clonales. Esta forma de producción se hace a partir de estaquillas enraizadas (clones) que permite reproducir árboles similares a los que les dan origen, sin pérdida de la varianza genética:

- (i) de los árboles plus (en el jardín clonal) se toman yemas terminales (de la parte superior), decadal o quincenalmente, de aproximadamente 4 cm de longitud, con una o dos hojas terminales, las cuales son podadas, dejando aproximadamente 1/5 de su lámina foliar;
- (ii) las estaquillas son tratadas con AIB (ácido indol butírico al 0,2%-0,5%) para acelerar y homogeneizar el enraizamiento); también se aplica agentes micorrizantes adecuados;
- (iii) las estaquillas se ponen a enraizar (en invernaderos para producción tecnificada de las especies, en túneles de enraizamiento, donde se controla la temperatura (30º C) y la humedad relativa (100%) en forma permanente; el periodo de enraizamiento es de aproximadamente 5-8 días y la tasa de enraizamiento de 70%-80%;
- (iv) después del periodo de enraizamiento las plántulas se trasplantan a los recipientes (generalmente pellets de turba (conocidos comercialmente como "jiffys"<sup>2</sup> o tubetes plásticos o de cartón, con material inerte) para el periodo de crecimiento y adaptación -18 a 20 días-, dentro del invernadero o umbráculo.
- (v) Durante este periodo se suministra fertilización (foliar) y riego permanentemente (con un fertilizante que garantice cantidades adecuadas de macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, así como los micronutrientes que han mostrado ser indispensables: cobre, boro, manganeso, molibdeno; se debe disponer de un programa de fertilización adaptado a las condiciones locales); al cabo de 25-28 días las plántulas son expuestas a plena exposición para un periodo de adaptación pre-plantación; al alcanzar 20-25 cm de altura las plántulas están listas para ir al campo, a los 30-35 días.

### 3.2 Fertilización y controles químicos

Durante la fase de vivero se requiere fertilizar (generalmente fertilización foliar) con un fertilizante que garantice cantidades adecuadas de macronutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, así como los micronutrientes que han mostrado ser indispensables: cobre, boro, manganeso, molibdeno; se debe disponer de un programa de fertilización adaptado a las condiciones locales.

---

<sup>2</sup> Jiffy: nombre comercial de un recipiente pequeño de turba, que cuando está seco se asemeja a una tableta (ver imagen adjunta); la utilización de estos recipientes facilita el manejo de las plántulas en vivero, aunque aumenta un poco el costo.



Fuente: <http://www.helpfulgardener.com/forum/viewtopic.php?t=6929>

Según Alvarado (2012) diferentes estudios (entre los que menciona a Nwoboshi 1975; Sundralingam 1982; Tewari 1999), muestran que la fertilización con N, P y K en viveros de teca brinda los mejores resultados, lográndose obtener plantas de buen color y vigor, acelerar su crecimiento y disminuir la incidencia de enfermedades en el vivero (cuadro 3). Fernando (1966) encontró que la adición de N-inorgánico mejora el crecimiento de las plántulas a los 2 meses de aplicado el tratamiento más que la de N-orgánico (122 vs. 61 cm altura promedio), así como que este elemento es más relevante que la adición de P y K en cuanto otras variables de crecimiento.

Tratamiento	Altura final (cm)	diámetro o tallo (cm)	Area foliar (cm <sup>2</sup> )	Peso seco			Relación	
				hojas	tallos	raíces	raíz/brote	tallo/follaje
Completo	14,27	1,20	36,84	14,53	3,86	12,50	0,68	0,26
-N	6,93	0,57	3,60	1,64	0,50	3,03	1,42	0,30
-P	9,30	0,77	17,64	7,11	1,47	9,52	1,11	0,21
-K	11,03	1,10	11,64	9,42	3,15	9,08	0,72	0,33
-Ca	8,43	0,70	3,50	5,32	0,95	1,62	0,26	0,18
-Mg	12,87	1,00	19,46	6,78	2,49	6,70	0,72	0,37
-S	11,77	1,03	39,87	11,11	3,50	13,73	0,94	0,32
DMS 5%	2,35	0,12		2,69	1,05	4,99		

Fuente: Nwoboshi (1975), citado por Alvarado y Raigosa (2012)

Alvarado (2012) menciona que los casos que solo se disponga de suelos ácidos en los cuales nunca se ha plantado teca con anterioridad, debe pensarse en la posibilidad de inocular con micorrizas las plántulas en el vivero, así como encalar el sitio definitivo de plantación para asegurar una buena micorrización (Verma y Jamaluddin 1995; Raman *et al.* 1997; Kelly *et al.* 2004; Alvarado *et al.* 2004, todos citados por Alvarado 2012); otros autores, discuten el efecto de la micorrización de la teca sobre la absorción de nutrimentos (Durga y Gupta 1995).

### **Preparación y envío de plántulas**

Para plántulas en bolsa se emplean bandejas de hasta 30 plántulas (en bolsas de polietileno de 4" x 6" o 4" x 8") o de 96 a 150 plántulas en "jiffys"; cada vivero define la cantidad y arreglos necesarios para garantizar la cantidad adecuada, de acuerdo al método de plantación seleccionado.

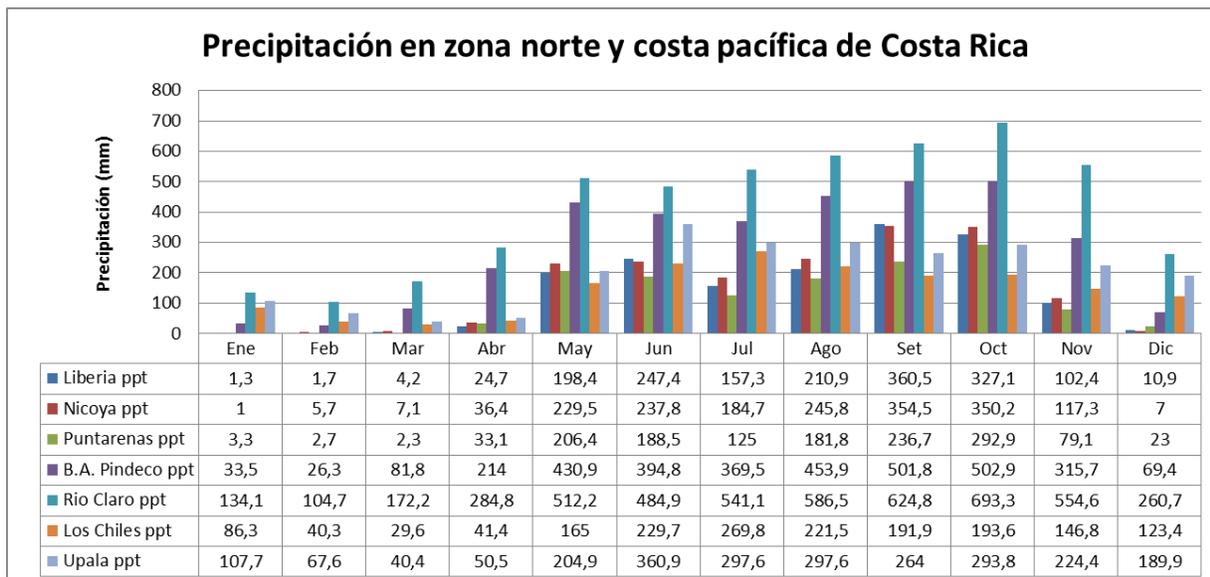
Las plántulas criadas en bolsa generalmente salen con una altura de 20 cm -30 cm, mientras que plántulas en jiffys pueden tener entre 10 cm y 30 cm. A menor altura de las plántulas, mayor exigencia con el control de malezas en el campo.

## **4. Establecimiento**

### **4.1 Época de plantación**

Como con todas las especies forestales (y agrícolas, si no se cuenta con regadío), el establecimiento debe hacerse tan pronto se establecen las lluvias, para aprovechar toda la estación de crecimiento y

asegurar el establecimiento de la plantación. En Costa Rica, normalmente, esta época inicia en mayo y se extiende hasta octubre y noviembre en algunas áreas (figura 1).



**Figura 1. Distribución de la precipitación en zona norte y costa pacífica de Costa Rica.**

Fuente: Elaboración propia a partir de, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. En línea. [http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?\\_\\_EVENTTARGET=LinksInfoClimatica](http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=LinksInfoClimatica)

#### 4.2 Protección de las plantaciones

La protección en el caso de merodeadores, cazadores y, hasta cierto punto, de precaristas, se hace mediante el establecimiento de cercos alambrados (alambre de púas o espigado), generalmente sobre postes vivos de especies tales como madero negro (*Gliricidia sepium*), jocotes (*Spondias purpurea*), tempate (*Jatropha curcas*), pochote (*Bombacopsis quinata*) u otras especies, aunque productores utilizando silvicultura de precisión usan postes muertos de madera o postes de concreto.

La protección contra el fuego se hace estableciendo “rondas o barreras cortafuego” consistentes en caminos de hasta 4 m de ancho bordeando las plantaciones, para disminuir el riesgo de ingreso del fuego desde el exterior, facilitar el movimiento de vehículos y personal de control, así como personal de bomberos; las rondas cortafuegos deben estar limpias al iniciar la época seca.

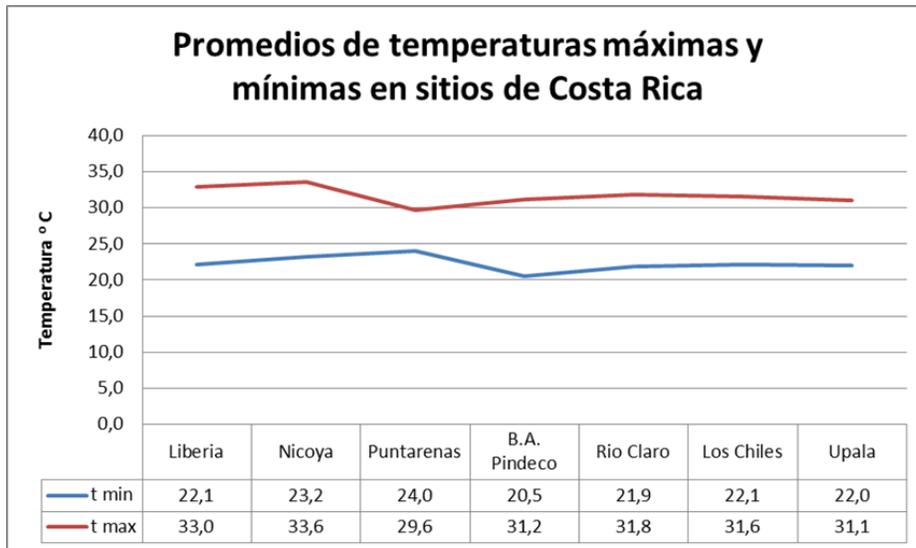
#### 4.3 Selección del sitio y preparación del suelo

En general, las fincas disponibles para plantaciones forestales no disponen del total del área en condiciones óptimas para el crecimiento de árboles; se estima que en cada predio se puede disponer de un 30%-60% del área. Hay regulaciones que impiden modificar las áreas de bosque o las riberas de los cursos de agua; esto tiene incidencia directa en los costos, ya que el 70%-40% no utilizado se carga a los costos de la plantación.

Según Thiele (2008), las variables fisiográficas y climáticas correlacionan mejor con la calidad de los sitios para teca que las variables químicas y físicas de los suelos. En Costa Rica, diferentes autores han

señalado a la Provincia de Guanacaste, la península de Nicoya, la provincia de Puntarenas y algunos sectores de la zona norte como aptos para la producción de teca.

Dada la posición intertropical de Costa Rica, no hay grandes variaciones entre las temperaturas máximas y mínimas a lo largo del año (generalmente no más de 12° C entre la mínima nocturna y la máxima diurna); las temperaturas medias se asemejan a las indicadas como óptimas para el crecimiento de teca; la figura 2 muestra la distribución de las temperaturas máximas y mínimas en zonas seleccionadas de Costa Rica y la figura 3 las diferencias entre estas dos temperaturas a lo largo del año.



**Figura 2. Promedio de temperaturas máximas y mínimas en zona norte y costa pacífica de Costa Rica.**  
Fuente: Elaboración propia a partir de, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica. En línea. [http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?\\_\\_EVENTTARGET=LinksInfoClimatica](http://www.imn.ac.cr/IMN/MainAdmin.aspx?__EVENTTARGET=LinksInfoClimatica)

#### 4.3.1 Requerimientos de sitio

Una investigación realizada en Costa Rica (Montero 1999) en plantaciones de teca localizadas en sitios con altitudes menores a 370 msnm, encontró, entre otras, lo siguiente (figura 3):

- i) El mayor crecimiento de teca se presenta en zonas con precipitaciones entre 1500 y menos de 4000 mm;
- ii) Con tres hasta seis meses de sequía (este extremo parece afectar el crecimiento);
- iii) El mayor crecimiento se presenta en áreas con temperaturas medias entre 26° C y 27,5° C; y,
- iv) El mejor crecimiento se presentó en el fondo plano de los valles y el piedemonte de colinas con pendientes suaves.

La investigación mencionada obtuvo una ecuación de predicción del índice de sitio para teca en Costa Rica con base en variables climáticas y fisiográficas:

$$IS = 109.416 - 1.709*(DefHid) + 1.095*(PTop) - 3.211*(TMA)$$

Con  $r^2 = 0,46$ ;  $r^2_{(ajus)} = 0,44$

Donde:

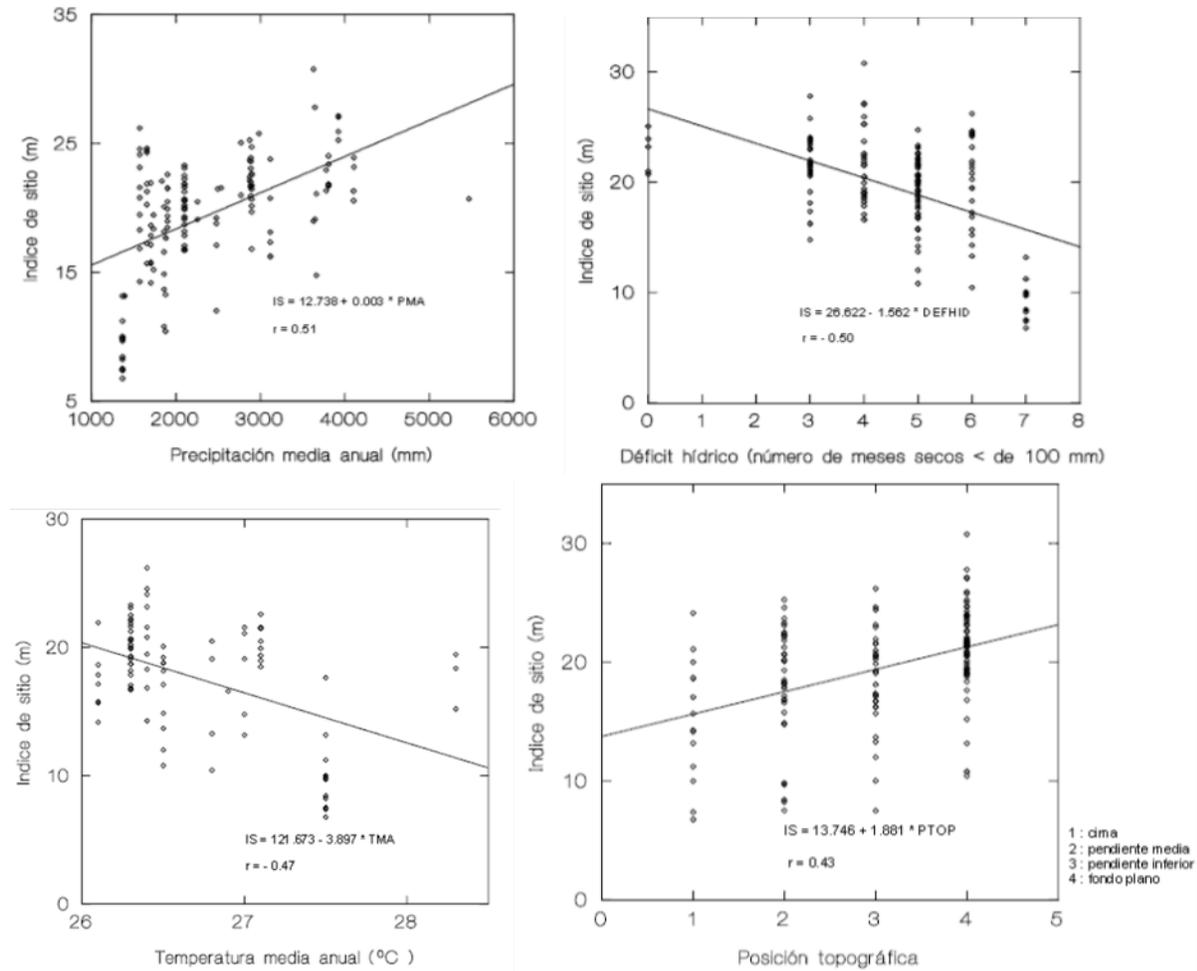
IS = Índice de sitio

DefHid : número de meses secos menores a 100 mm al año

PTop : posición topográfica de la parcela

(1 = cima, 2 = pendiente media, 3 = pendiente inferior y 4 = fondo plano)

TMA : temperatura media anual en °C.



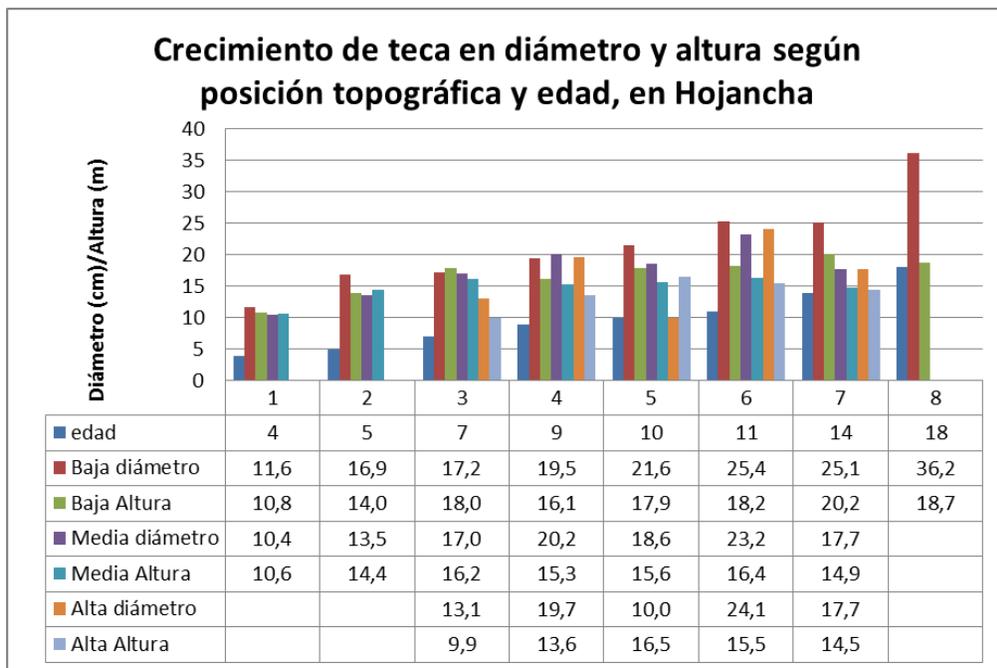
**Figura 3. Índice de sitio para teca y variables ambientales en sitios de Costa Rica**

Fuente: Montero 1999

Vaides (2004), en Guatemala, encontró que los mayores crecimientos en volumen (y altura total o Índice de sitio) se presentan con temperaturas superiores a 25° C, en sitios con precipitaciones entre 1940 y 2200 mm anuales, con pH superiores a 5,5 con valores de saturación de calcio entre aproximadamente 36% y 48%, aunque el límite superior encontrado fue de 62%, cercano a los valores de 67,5% en Costa Rica (Alvarado y Fallas 2004) y 40% en Panamá (Mollinedo 2005).

De manera general Vaides (2004) concluye que para el cultivo de la teca deberían utilizarse, en Guatemala, sitios con una elevación menor a 220 msnm, pendientes en el terreno que no excedan el 40%, en terrenos ondulados a planos, con poca o mediana pedregosidad externa y que no presentan problemas de inundación en periodos largos de tiempo; Perez (2005) en Costa Rica, estudió plantaciones de teca con buen crecimiento localizadas entre el nivel del mar y 300 msnm. En Hojanca

se encontró que la posición topográfica influye en el crecimiento de teca; sitios en fondos de valle, planos y de piedemonte mostraron mejor crecimiento en diámetro (y volumen) que sitios a media ladera o en la parte alta de la misma (Martínez 2014); la figura 4 muestra la relación del diámetro y la altura según la posición topográfica (parcelas individuales), para diferentes edades en la región de Hojancha.



**Figura 4. Crecimiento de teca en Hojancha según posición topográfica**

Fuente: elaboración propia a partir de información de campo (Martínez 2014)

Alvarado (2012), indica que desde el punto de vista de sustrato, la teca prefiere suelos fértiles de origen aluvial, bien drenados, en los cuales las principales determinantes de productividad son el pH, el contenido de N, la humedad del suelo, el drenaje, la textura, la saturación de bases y la profundidad efectiva (Gangopadhyay et al. 1987, Kumar 2005). En este sentido, la teca prefiere suelos moderadamente profundos (>90 cm), de textura media, estructura granular a bloque subangular, en regiones de temperatura media y pendientes suaves (Drechsel y Zech 1994, Jha 1999); en la península de Nicoya en Costa Rica, la presencia de vientos fuertes, en las cimas de colinas atrasa el crecimiento.

Suelos mal drenados (en particular vertisoles de depresión con problemas de anegamiento por períodos prolongados), con altos contenidos de arcilla, poco profundos (entisoles con afloramiento rocoso o roca a poca profundidad), altas pendientes o cimas de pendientes muy secas o muy ventosas donde los árboles sufren desecamiento, se vuelcan y pierden la copa, provocando un bajo aprovechamiento del agua, son todos factores reconocidos como limitantes.

Los sitios con niveles de acidez del suelo y del subsuelo muy elevados, en particular pendientes en las cuales aflora el horizonte B ácido, también son inconvenientes, así como los sitios muy secos con suelos arenosos. Para lograr la máxima eficiencia, se deben evitar los suelos anegados, con una profundidad menor a 2 m, en pendientes mayores al 6% y alta acidez, ya que estos factores suelen restringir el crecimiento y desarrollo de la teca.

#### 4.3.2 Establecimiento de las plantaciones: preparación del suelo

Como con todas las especies forestales, la preparación del suelo es fundamental para garantizar el éxito de las plantaciones. En términos generales las etapas previas al establecimiento de una plantación son:

- i. Recolección de muestras de suelo y análisis de las mismas para conocer el estatus de los nutrimentos en el suelo. Como indican Alvarado y Mata (2012) “la ausencia de estudios de suelos es una de las causas que han llevado al fracaso a varias empresas en sus intentos por sembrar teca en América Central”. En América Central se ha establecido teca, con diferente suceso en varios tipos de suelo; el cuadro 4 tomado de Fernandez-Moya et al (2012) y un estudio reciente en Hojancha (Martinez 2014) muestra las condiciones del suelo donde teca se ha establecido adecuadamente.

**Cuadro 4. Propiedades de suelos en plantaciones de teca en ambientes de Costa Rica y Panamá**

	Región norte Costa Rica (n =11)		Guanacaste, Costa Rica (n =9)		Zona del Canal Panamá (n = 3)		Total (n = 23)		Hojancha (n=17)
pH	5,11	6	5,9	6	6,7	12	5,63	12	6,21
Acidez [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	0,7	5	0,31	30	0,15	33	0,48	81	0,23
Ca [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	4,45	44	21,36	28	20,97	38	13,22	74	36,99
Mg [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	1,46	47	6,89	54	5,25	64	4,08	89	5,6
K [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	0,13	109	0,33	87	0,36	82	0,24	101	0,47
CICE [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	6,74	31	28,9	32	26,72	40	18,02	71	43,29
Saturación de acidez (%)	11,96	84	1,22	58	0,65	55	6,28	139	0,53
P [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	3	114	3	146	2	0	3	124	1,2*
Zn [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	2	84	3	58	3	107	2	77	0,3*
Cu [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	8	19	11	85	4	83	9	71	4,6*
Fe [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	165	23	37	81	65	154	102	75	15*
Mn [cmol(+) L <sup>-1</sup> ]	43	171	38	82	19	101	38	142	5,3*
Materia Orgánica (%)	4,6	27	3,8	28	4,6	16	4,3	27	
Arena (%)	24,9	23	23,4	56	29,0	31	24,8	38	35,2
Limo (%)	18,4	13	36,9	42	36,8	43	28,0	51	25,0
Arcilla (%)	56,7	11	39,7	22	34,3	50	47,1	27	39,8
* = mg ml <sup>-1</sup>									

Fuente: Fernández-Moya et al. 2012 para Costa Rica región norte y Guanacaste y Panamá; Martinez 2014 para Hojancha

- ii. Delimitación y limpieza del área; en áreas pequeñas se utiliza fuerza humana, mientras que en operaciones grandes se puede utilizar tractores o motoniveladoras para la limpieza de malezas y dejar el suelo limpio, listo para su preparación (figura 5);
- iii. Preparación del suelo: dependiendo del uso anterior, la compactación, textura, presencia de horizontes endurecidos o no, se decide cuales prácticas utilizar; de manera general se requiere la remoción del suelo mediante maquinaria agrícola (subsulado hasta 60 cm de profundidad, arado profundo combinado con arado superficial, rastreado, alomillado, ya sea como prácticas individuales o combinaciones de ellas, o todas) para permitir el movimiento del aire y el agua, mejorando por tanto la aireación y la penetración de raíces. Todas estas medidas deben orientarse al control o/ y disminución de la erosión.
- iv. En suelos con problemas de drenaje se recomienda la formación de canales de drenaje para remover los excesos de agua tanto en superficie como en las primeras capas de suelos;

construcción de canales de hasta 1,5 m de profundidad garantizan una buena evacuación de agua excedentaria.

- v. Enmiendas al suelo. Dependiendo de los resultados de los análisis, se definirán las enmiendas acordes con las condiciones actuales del suelo, bien se trate de encalado para corregir excesos de acidez o fertilización para suplir deficiencias de nutrimentos.

El subsolado como práctica de preparación del terreno tiene como objetivo mejorar la penetración de raíces y facilitar el movimiento del agua en el perfil del suelo; el costo de la operación puede ser limitante si deja de combinarse con prácticas intensivas de cultivo de la especie. No se dispone de información específica sobre el efecto de preparación del suelo en teca, pero experiencias con otras especies muestran que la remoción profunda del suelo influye positivamente en el crecimiento (figura 6); subsolado, rastrillado y alomillado, así como rastrillado y alomillado mostraron los mejores incrementos en volumen con *E. grandis* a los 38 meses en Corrientes, Argentina (Aparicio 2009; Aparicio y Romero 2011). Chaves y Fonseca (1991); Fonseca 2004; Alvarado (2013) reconocen la influencia de la preparación del suelo sobre el crecimiento de teca.

Otras formas de remoción de suelos es la manual, utilizando palas sembradoras, palines, zapapicos u otras herramientas para conformar hoyos grandes para el establecimiento de las plántulas. Una buena preparación del suelo facilita el establecimiento de los plantones (en pellets de turba –jiffys- o en bolsas de polietileno), ya se trate de material vegetativo (clones) o material de semilla.

#### **4.4 Plantación**

Generalmente el establecimiento se hace en forma manual, aunque en emprendimientos grandes se recomienda el uso de máquinas plantadoras. Los hoyos normalmente se hacen sobre el lomillo previamente conformado, con pala plantadora y con una profundidad que permita el cubrimiento del recipiente (bolsas o jiffys) hasta el cuello de la plántula; si se aplican fertilizantes al fondo del hoyo, este debe tener una profundidad suficiente para establecer una capa de al menos 5 cm de suelo entre el fertilizante y el fondo del recipiente, para evitar daños por el contacto de las raíces con el fertilizante.

#### **4.5 Control de malezas**

Teca es poco tolerante a la competencia de malezas, por lo que debe garantizarse la limpieza del área durante los primeros años; se recomienda el “plateo” o limpieza de un anillo o plato alrededor de la planta de 80-100 cm de diámetro en los primeros meses y luego limpieza (eliminación de la competencia) ya sea manual (de alto costo, por el consumo de mano de obra), con moto-guadaña (recomendable en sitios de difícil acceso o pendiente moderada) o con “chapeadora” mecánica halada por tractores agrícolas; debe tenerse en cuenta que el uso de maquinaria autopropulsada requiere mano de obra capacitada y mayores riesgos de accidentes.



Drenajes para eliminar excesos de agua



Limpieza del terreno con utilización de maquinaria pesada



Barrido del terreno



Subsolado para romper capas endurecidas



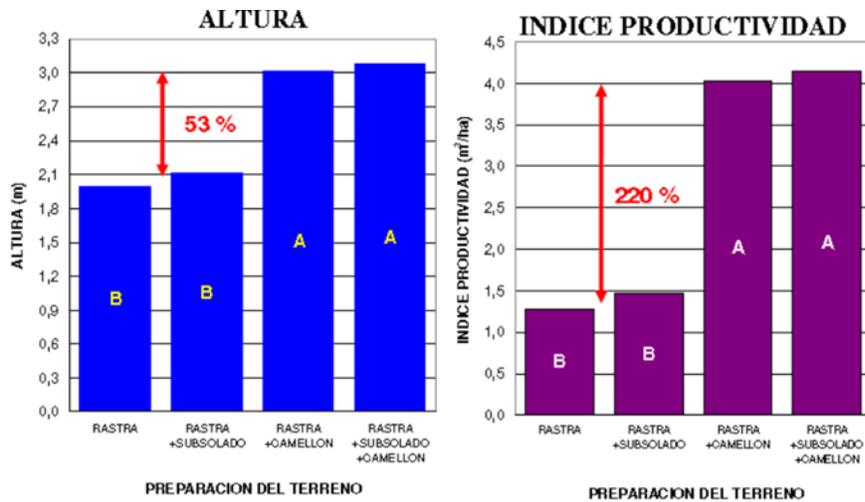
Preparación de lomillos



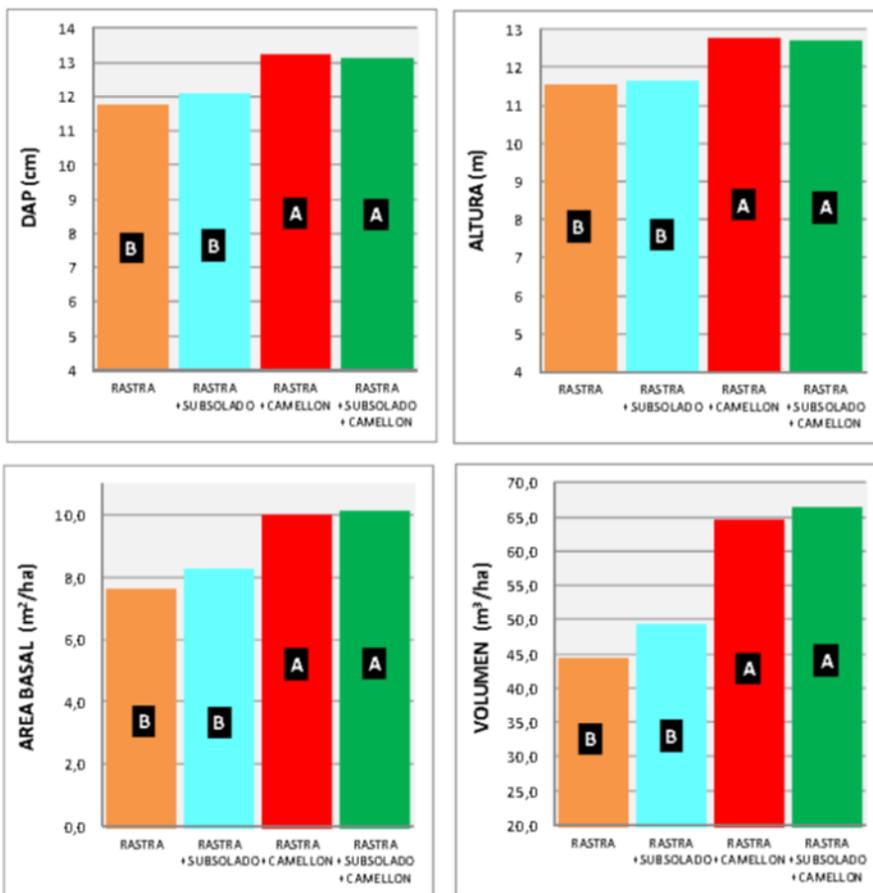
Conformación de lomillos

**Figura 5. Preparación de suelos para plantaciones en silvicultura de precisión**

Fuente: HA Martínez H (2008)



Efecto de la preparación del suelo en el crecimiento inicial (10 meses) de *Eucalyptus grandis*



Efecto de la preparación del suelo sobre el crecimiento de *Eucalyptus grandis* a los 38 meses de edad.

**Figura 6. Efecto de diferentes formas de preparación del suelo sobre el crecimiento de *Eucalyptus grandis* en Corrientes, Argentina.**

Fuente: Aparicio 2009; Aparicio y Romero 2011.

Las razones para eliminar las malezas (adaptado de Evans 1992):

- i) Competencia por nutrientes, luz, humedad y espacio radicular;
- ii) Las malas hierbas pueden sofocar y eventualmente matar a los árboles por su peso, sombreado y hábito de crecimiento: bejucos, enredaderas, que presionan, hasta ahogar a los fustes y árboles;
- iii) La presencia de desechos y vegetación densa en el sotobosque favorece incrementa el riesgo de incendios, especialmente en la época seca

Los beneficios de un buen control de malezas son:

- i) Mayor sobrevivencia de los árboles plantados inicialmente,
- ii) Crecimiento libre de competencia, lo que puede traducirse, si no hay otros factores limitantes, en buen crecimiento en diámetro y altura, y por tanto en volumen en un menor plazo

Se puede utilizar herbicidas (por ejemplo a base de glifosato u otros elementos activos y con diferentes nombres comerciales) para controlar las malezas. Para que los herbicidas tengan un mejor efecto y más duradero se debe aplicar antes de la plantación y unos 2-3 meses después, permitiendo que los árboles superen rápidamente la altura de las malezas. Se deben acatar las normas vigentes en el país respecto al uso de pesticidas; si la plantación se encuentra certificada, o va a ser certificada, se deberá atender a las recomendaciones del certificador.

Existen otras técnicas de control de malas hierbas: control biológico con plagas que parasitan a las malas hierbas, pero con el riesgo de atacar la teca; el uso de mantillo o mulch (coberturas) para evitar el ingreso de luz a las malezas, que además pueden suministrar nutrientes al suelo, dependiendo la calidad del mantillo, aunque se debe tener cuidado al utilizarlos para evitar el ingreso de plagas, o que los mismos se conviertan en hospederos de las mismas; finalmente en algunos países se han utilizado coberturas como manicillo o maní forrajero (*Arachis pintoi*), pero tiene el inconveniente de ser altamente invasora y puede escaparse de las áreas de plantación e invadir cultivos cercanos; también se ha utilizado otras especies de los géneros *Pueraria*, *Calapogonium*, *Centrosema* y otros. En todos los casos se debe ejercer una vigilancia rigurosa para evitar la invasión a campos vecinos.

#### **4.6 Enmiendas al suelo: corrección de acidez y fertilización**

##### *4.6.1 Corrección o enmienda de la acidez del suelo*

Diferentes autores concuerdan en que la reacción del suelo (pH) es la propiedad físico-química que más afecta el crecimiento de la teca, por su relación con la saturación de bases, la saturación de Ca y la saturación de acidez o de Al intercambiable (Bebarta 1999). Según Zech y Drechsel (1991), la teca presenta un crecimiento pobre cuando el pH en CaCl<sub>2</sub> es menor a 4,3, mientras que cuando es mayor a 4,7 el crecimiento es bueno; en condiciones de alta acidez, los suelos tienen valores de Ca intercambiable bajos, lo que justifica dejar en el campo la corteza de los árboles (rica en Ca) para reducir las posibilidades de inducir deficiencias de Ca después de cosecha (Alvarado y Mata 2013).

En suelos ácidos en Costa Rica (Alvarado y Fallas 2004) y Panamá (Mollinedo et al. 2005), se ha encontrado que el crecimiento de la teca se ve fuertemente afectado a valores de saturación de acidez mayores al 8-10% y que las mejores tasas de crecimiento se obtienen cuando la saturación de Ca es mayor al 45% (caso de Panamá) o mejor aún, superiores al 65% (Costa Rica). En regiones muy húmedas

con problemas de drenaje, cuando la acidez del suelo aumenta con la profundidad, el crecimiento de la plantación puede estancarse cuando las raíces encuentran el subsuelo ácido y reducido, condiciones que favorecen la incidencia del mal conocido como “muerte misteriosa” (Arguedas et al. 2006). En suelos ácidos, la micorrización de la teca también se ve afectada negativamente (Alvarado et al. 2004).

Alvarado y Mata (2013) indican que “algunos géneros de micorrizas vesículo-arbusculares (VAM) confieren a las plantas que colonizan mayor tolerancia a la acidez o la concentración de Al en el suelo, estas dos variables también pueden afectar en forma negativa el grado de infección del hongo (Kelly et ál. 2004). Este hecho ha sido demostrado por varios autores para el caso de la teca (Verma y Jamaluddin 1995, Raman et ál.1997, Alvarado et al. 2004), lo que redundaría en un mal crecimiento de las plantaciones en suelos ácidos (Alvarado et al. 2004). En los estudios mencionados se identificaron 16 hongos VAM, pero las especies más frecuentemente asociadas a la teca son *Glomus etunicatum* y *Acaulospora scrobiculata* (Verma y Jamaluddin 1995) y *Glomus fasciculatum* y *Glomus maseae* (Raman et al. 1997). Gadea et al. (2004) encontraron un incremento del número de hojas, altura y el diámetro a la base del cuello, a los 100 días de aplicar VAM a plántulas de teca.

El crecimiento de la teca en suelos con pH inferior a 6 en Costa Rica es bajo (Alvarado y Fallas 2004), notándose que al pasar del 1 al 5,8 % de saturación de Al en el suelo, el incremento medio anual de la altura de los árboles se reduce de casi 3,9 a 1,5 m año<sup>-1</sup>. El alto requerimiento de la teca por Ca y el hecho de que las fórmulas de requerimiento de encalado solo consideran la necesidad de cal para neutralizar la acidez intercambiable, deben hacer pensar en la necesidad de que en suelos distróficos (con poca fertilidad y actividad biológica baja) deba sumarse al menos un 20-30% de cal a la cantidad recomendable para suplir las necesidades del elemento por los árboles de teca (Alvarado y Mata 2013).

#### 4.6.2 Nutrición y crecimiento de teca

Según Alvarado (2012), la absorción de nutrimentos por la teca depende de los requerimientos de la especie, los cuales varían con la edad, la cantidad que pueda ser suministrada por el suelo y la cantidad adicionada como fertilizantes; en general, según diversos autores, los nutrimentos que más requiere la especie son N, P, K, Ca, Mg y S (Drechsel y Zech 1994, citados por Alvarado 2012), lo que concuerda con los datos recolectados por Kumar (2005), quien indica que en la extracción de madera en plantaciones de 30 años se remueven 247, 41, 170, 632 y 198 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente y las tasas de absorción anual son del orden de 264, 17 y 132 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente en plantaciones de 20 años en India. De acuerdo con Vimal et al. (2005), la teca presenta tres etapas de crecimiento, siendo que los requerimientos de absorción son mayores en la etapa de crecimiento rápido.

Dependiendo del estatus de los nutrimentos se podrá hacer una suplementación con los nutrimentos deficitarios; la acidez presente indicará la necesidad o no de encalar y el tipo y cantidad necesaria. De acuerdo con Alvarado, en Costa Rica los requerimientos nutricionales de teca, son: Ca > N > K > P > Mg > S, mientras que en Brasil son, Ca > K > N > Mg > P > S y en África N > P > K > Ca > Mg > S.

#### 4.6.3 Flujo de nutrimentos en teca

La cantidad de nutrimentos que un árbol de teca absorbe por año se estima a través de las curvas de absorción; el cuadro 5 presenta la cantidad de nutrimentos absorbidos por un árbol individual de teca

en edades de 1 hasta 15 años en la región de Guanacaste, Costa Rica (Alvarado 2012). Los datos individuales permiten calcular la cantidad absorbida por ha conociendo el número de árboles en la misma. La respuesta de la teca a la aplicación de varios elementos combinados (NPK) en vivero (Nwoboshi 1975; Sundralingam 1982; Chaves y Fonseca 1991; Tewari 1999), al trasplante (Kishore 1987; Raigosa et al. 1995; Singh 1997; Fonseca 2000; Bheemaiah 2004) y en el campo (Patel 1991; Prasad et al. 1986; Montero 1995; Mothes et al. 1991; Torres et al. 1993), ha sido ampliamente documentada (Kumar 2005).

Cuadro 5. Cantidad total absorbida de macro y micronutrientos en la biomasa aérea											
Edad	Ca	N	K	P	Mg	S	Fe	Zn	B	Mn	Cu
	kg/árbol						g/árbol				
1	0,09	0,06	0,06	0,08	0,01	0,01	0,51	0,04	0,05	0,11	0,03
2	0,19	0,16	0,12	0,05	0,03	0,01	1,56	0,15	0,16	0,25	0,07
3	0,29	0,27	0,19	0,03	0,05	0,02	2,99	0,35	0,29	0,40	0,12
4	0,41	0,38	0,26	0,02	0,07	0,02	4,76	0,62	0,45	0,56	0,17
5	0,54	0,49	0,33	0,03	0,09	0,03	6,83	0,97	0,63	0,73	0,23
6	0,68	0,61	0,40	0,05	0,11	0,04	9,16	1,40	0,84	0,90	0,29
7	0,83	0,73	0,47	0,08	0,14	0,05	11,75	1,90	1,06	1,07	0,35
8	0,98	0,86	0,54	0,12	0,17	0,07	14,57	2,49	1,30	1,25	0,42
9	1,15	0,99	0,62	0,17	0,20	0,08	17,62	3,15	1,56	1,43	0,49
10	1,33	1,13	0,70	0,23	0,23	0,09	20,88	3,89	1,83	1,61	0,56
11	1,52	1,27	0,78	0,31	0,26	0,11	24,35	4,71	2,12	1,80	0,63
12	1,72	1,41	0,86	0,40	0,30	0,12	28,02	5,60	2,42	1,99	0,71
13	1,92	1,56	0,95	0,50	0,34	0,13	31,88	6,58	2,74	2,19	0,79
14	2,14	1,71	1,04	0,61	0,38	0,15	35,93	7,63	3,07	2,38	0,86
15	2,37	1,86	1,13	0,74	0,42	0,17	40,16	8,76	3,41	2,58	0,94
16	2,61	2,02	1,22	0,88	0,43	0,18	44,56	9,97	3,77	2,78	1,03
17	2,85	2,18	1,31	1,03	0,51	0,20	49,14	11,25	4,13	2,98	1,11
18	3,11	2,35	1,40	1,19	0,56	0,22	53,89	12,62	4,51	3,18	1,19
19	3,38	2,52	1,50	1,36	0,61	0,24	53,80	14,06	4,90	3,39	1,28
20	3,66	2,70	1,60	1,54	0,66	0,26	63,87	15,58	5,30	3,60	1,37

Fuente: Alvarado 2012

Poels (1994) estimó el flujo de nutrientes en plantaciones de teca en la zona atlántica de Costa Rica, encontrando que la mayor parte de los nutrientes utilizados por los árboles son provistos por el suelo, lo que a la larga produce el agotamiento del mismo, si no se adicionan los déficit (cuadro 6).

Kumar (2005) indica que en la cosecha de madera en plantaciones de 30 años, en la India, se remueven 247, 41, 170, 632 y 198 kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente y tasas de absorción anual de 264, 17 y 132 kg ha<sup>-1</sup> de N, P y K, respectivamente en plantaciones de 20 años en India. Fernández-Moya *et al.* (2011) mencionan datos de absorción de nutrientes en plantaciones de teca en Panamá y Costa Rica, encontrando valores de absorción similares a los mencionados en la biomasa aérea de plantaciones de crecimiento lento entre 1 y 15 años de edad en Nigeria (Nwoboshi 1984).

Elemento	N	P	K	Ca	Mg
Adición atmosférica	5	0,1	1	1	3
Adición por meteorización	0	0,2	7	7	3
Reciclaje materia orgánica					
- Liberación	204	12	133	108	24
- Absorción	267	16	175	186	31
Exportado por cosecha	21	1,3	18,1	44,2	3,6
Exceso máximo anual	33	2	60	158	42
Déficit máximo anual	311	19	203	224	36
Pérdidas por erosión y lavado	5	0,3	8	8	6
Fuente: Poels 1994					

#### 4.6.4 Nutrientes en la biomasa de teca

Vimal et al. (2005) indica que la teca presenta tres etapas de crecimiento; los requerimientos de absorción son mayores en la etapa de crecimiento rápido, que en las de crecimiento medio y lento, respectivamente; dependiendo del sitio, esas etapas de crecimiento se pueden extender, la primera hasta los 20 años, la segunda hasta los 40 años y a partir de allí el crecimiento es lento. En consecuencia, es necesario suplementar los déficits de nutrientes para asegurar el crecimiento de la especie.

Nwoboshi (1984) encontró que el requerimiento nutrientes aumenta con la edad y que el total requerido por la plantación fue del orden  $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{P} > \text{Mg}$ ; los mayores requerimientos de nutrientes ocurren en las edades mayores a 9 años, por lo que es de esperar que se encuentre respuesta a la fertilización de plantaciones adultas.

Las distintas partes del árbol presentan diferencias en cuanto a la absorción de nutrientes (cuadro 7 tomado de Alvarado 2012). Las mayores cantidades absorbidas de N, P y Mg se encuentran en el fuste, mientras que las de Ca se encuentran en la corteza y la raíz; el Ca que se acumula en la corteza puede ser devuelto a la plantación una vez realizada la operación de corta (descortezado en el sitio), causando un menor impacto ambiental; la extracción de Ca del ecosistema en suelos distróficos puede reducir drásticamente la posibilidad de segundas cosechas y el volumen extraíble, excepto en zonas alledañas a los ríos donde el contenido de nutrientes puede ser compensado por las deposiciones aluviales, con enriquecimiento a través del agua capilar (Hase y Foelster 1983; Hernández *et al.* 1993).

Balagopalan *et al.* (2005) indican que en plantaciones de rotación larga en la India se encontró que el efecto de dos y tres rotaciones de teca solamente causó una disminución del C orgánico, el N total y el Ca disponible en el suelo, lo que afectó negativamente a la altura de los árboles y no así su diámetro.

Jha (1999) menciona que bajo condiciones de la India, la contribución de la biomasa aérea en plantaciones de teca es del orden de 87,2-88,2%, mientras que la biomasa radical contribuye en un 11,8-12,8%, sin que haya mucha variación entre plantaciones de edades entre 1,5 y 30 años de edad. La contribución de los diferentes componentes de la biomasa aérea total ( $94.381 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en una plantación de 38 años es del orden de: 69% tronco, 21% ramas vivas y corteza, 4% ramas muertas, 2% hojas y 2% ramillas (Kaul *et al.* 1979).

Cuadro 7. Nutrimientos en diferentes componentes de la biomasa y del mantillo, asociado a plantaciones de teca (tomado de Alvarado 2012, citando a Sala 1987 y

Edad	Componente	Peso seco	N	P	K	Ca	Mg
		t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>				
6 años, Venezuela	Hojas	3,4	68	9	52	49	11
	Ramas	4,2	19	7	42	37	6
	Fuste	39,4	125	46	161	200	39
	Mantillo	20,8	159	18	36	240	33
	Total	68,3	371	81	291	526	79
10 años, India	Hojas	5,2	60	3	35	61	14
	Ramitas	5	17	1	25	51	9
	Ramas	8,3	28	3	23	37	11
	Corteza	7,9	28	2	34	196	17
	Fuste	48,2	93	4	36	81	56
	Raíces	15,4	47	4	84	143	40
	Total	90	272	18	236	569	147
20 años, India	Hojas	5,5	64	1	49	14	14
	Ramitas	5,5	17	1	22	39	7
	Ramas	12,7	20	4	37	62	13
	Corteza	8,9	36	3	63	320	8
	Fuste	58,1	92	10	61	102	71
	Raíces	17,9	72	6	145	177	58
	Total	108,6	300	25	377	713	171
30 años, India	Hojas	7,8	111	2	61	82	21
	Ramitas	8,5	33	2	34	34	10
	Ramas	35,1	43	2	72	108	33
	Corteza	13,9	28	4	52	338	8
	Fuste	98,8	176	18	46	185	157
	Raíces	28,5	64	22	191	244	59
	Total	192,6	422	41	456	992	288

Fuente: Alvarado 2012

#### 4.6.5 Deficiencias de nutrimentos en teca

Bajos rendimientos (diámetro, altura y en consecuencia volumen) pueden tener como causa déficits nutricionales, lo que puede determinarse a través del análisis foliar; Alvarado (2012) informa que Drechsel y Zech (1994) encontraron que las concentraciones foliares de N y P en árboles de teca decrecen durante los primeros 4 a 6 años, mientras que la concentración de otros elementos como K, Mg, Zn y Cu permanecen relativamente estables; el cuadro 8 presenta la interpretación de los niveles de nutrimentos en teca (insuficiencia, suficiencia y exceso), con datos de África (Drechsel y Zech 1991) y Australia (Boardman *et al.* 1997), mientras que el cuadro 9 presenta el efecto de las deficiencias de los micro-nutrimentos en el crecimiento y algunos síntomas de tales deficiencias.

Bebarta (1999) menciona que la deficiencia de algunos elementos produce síntomas visuales en la teca, dentro de ellos los siguientes: (1) la deficiencia de N se reconoce porque las hojas tienden a volverse verde amarillentas, pequeñas y poco gruesas, (2) la deficiencia de P causa que las hojas se tornen verde

oscuro y algunas manchas púrpura tienden a presentarse en las puntas de las hojas y en algunos tallos jóvenes; (3) la deficiencia de K causa que la corteza en la parte inferior del tallo sea muy corrugada y presente márgenes corchosos, siendo que las puntas y márgenes de la corteza se secan y se tuercen hacia adentro.

Cuadro 8. Interpretación de niveles foliares de nutrimentos en plantaciones de teca (tomado de Alvarado 2012; adaptado de Drechsel y Zech 1991; Boardman *et al* 1997)

Elemento	Deficiente	Marginal	Adecuado	Alto
N (%)	< 1,20	1,20-1,51	1,52-2,78	
P (%)	< 0,10	0,10-0,13	0,14-0,25	0,40
K (%)	< 0,50	0,50-0,79	0,80-2,32	2,33
S (%)	< 0,08	0,08-0,10	0,11-0,23	
Ca (%)	< 0,55	0,55-0,10	0,72-2,20	
Mg (%)	< 0,10	0,10-0,19	0,20-0,37	
Cu (mg kg <sup>-1</sup> )			10-25	
Zn (mg kg <sup>-1</sup> )		11-19	20-50	
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	< 30	30-49	50-112	
Fe (mg kg <sup>-1</sup> )			58-390	379-1074
Al (mg kg <sup>-1</sup> )			85-320	
B (mg kg <sup>-1</sup> )			15-45	

Fuente: Alvarado 2012

En suelos ácidos de África Occidental, Zech y Kaupenjohann (1990) citados por Alvarado (2012), mencionan que a menudo se presenta una deficiencia de K (0,06-0,07% en las hojas de la parte superior de la copa), condiciones bajo las cuales se puede presentar la muerte descendente de los árboles, acompañada de necrosis intervenales y de los bordes de las hojas.

Sujatha (2003) condujo un estudio para diagnosticar los efectos de la supresión de nutrimentos en plántulas de teca, hasta seis meses después del trasplante en arena inerte de cuarzo, mediante la técnica del elemento faltante. Los resultados de crecimiento se presentan en el cuadro 9; los síntomas de las deficiencias de Fe, Cu, Zn, Mn, Mo y B se presentan en el cuadro 10.

Cuadro 9. Efecto de la deficiencia de micronutrientes sobre el crecimiento de plántula de teca

Tratamiento	Al plantar		A los tres meses de trasplante				A los seis meses de trasplante				peso seco de la raíz (g)
	Altura	No. hojas	Altura		Hojas saludables		Altura		Hojas saludables		
			cm	% reducción	No.	% reducción	cm	% reducción	No.	% reducción	
Control	2,6	6	42,2	-	13	-	62,3	-	16	-	12,64
Fe	2,5	6	28,4	33	4	69,2	33,6	46	2	87,5	13,82
-Cu	1,9	5	24,3	42	8	38,5	35,4	43	3	81,3	7,79
-Zn	2,6	5	26,1	38	8	38,5	32,8	47	3	81,3	14,45
-Mn	2,6	6	27,3	35	10	23,1	35,9	42	2	87,5	10,92
-Mo	2,6	6	23,1	45	10	23,1	29,6	52	3	81,3	12,92
-B	2,6	6	34,8	18	13	0	49,6	20	2	87,5	10,22

n = 10

Fuente: Sujatha (2003)

Cuadro 10. Aparición de síntomas de deficiencia (tomado de Sujatha 2003)

Elemento	Síntomas de la deficiencia
Fe	Después de 55 días del trasplante en arena de cuarzo blanco, aparecieron manchas cloróticas amarillas en la zona intervenal de las hojas recién emergidas. A medida que la planta creció, la intensidad de color amarillo también aumentó. Poco a poco toda la hoja se tornó amarillenta y el color verde se limitó sólo a las venas. Este patrón se encontró como síntoma característico de la deficiencia de Fe; después de un tiempo las hojas se tornan completamente amarillas y necrosan. Otro síntoma característico es el curvameitno de las hojas, la aparición de manchas o parches oxidados en las hojas más viejas y la formación de varios tallos.
Cu	Las plantas a las que no se suministró Cu, expresaron los síntomas de deficiencia a los 84 días después de la siembra. Durante las primeras etapas aparecieron manchas amarillas en los márgenes de las hojas más viejas. Kamala et al. (1986) también indicó el desarrollo de manchas amarillas en las hojas de las plántulas de teca debido a la deficiencia de Cu. Más tarde, las venas y venillas de las hojas maduras se tornaron verde muy claro y la zona intervenal permaneció amarilla como en la deficiencia de Fe. A medida que avanzaba el crecimiento de la planta, la hoja entera se volvió clorótica. Poco a poco la necrosis se desarrolló desde la punta de las hojas, hasta volverlas completamente necróticas.
Zn	Las plantas que recibieron Zn expresaron los síntomas 64 días después de la siembra. Las hojas jóvenes perdieron su suavidad y se rizaron como en plantas deficientes en Cu. Las venas y venillas de las hojas se hicieron más prominentes. Poco a poco, aparecieron manchas cloróticas blancas en la vena central y venas de las hojas, a diferencia de la deficiencia en Fe donde el área intervenal se decolora. Más tarde toda la hoja se hizo clorótica y la necrosis comenzó a partir de la punta de la hoja. También se observó el desarrollo de manchas bronceadas en las hojas inferiores que más tarde se fusionaron para formar parches necróticos dando una apariencia quemada a las hojas. El desarrollo de parches necróticos y quemaduras también fue observado por Gopikumar et al. (2001). En algunos casos las hojas recién formadas eran extraordinariamente grandes y cayeron.
Mn	Después de 65 días de la siembra se produjo la desintegración de cloroplastos de hojas jóvenes y maduras en las plantas a las que no se suministró Mn; más tarde, estas hojas se volvieron completamente cloróticas. A medida que la deficiencia avanzaba, las hojas enteras se tornaron cloróticas; en una fase posterior, las hojas inferiores permanecieron cloróticas y las hojas superiores se tornaron verdes. Observaciones similares fueron registradas por Kamala et al. (1986).
Mo	Las plantas a las que no se les suministró Mo, desarrollaron manchas amarillas en la punta y el margen superior de las hojas más viejas después de 65 días de la siembra. Más tarde, estos parches se extendieron gradualmente a los márgenes de las hojas y se volvieron necróticos. Quemaduras marginales debido a la deficiencia de Mo también fueron reportado por Chapman (1975). En algunas plantas, las hojas se tornaron verde-azuladas. Al igual que en las plantas deficientes de Cu, las venas de las hojas recién maduras mostraron aclaramiento de las venas, mientras la zona intervenal permaneció verde. El síntoma característico observado en las plantas con deficiencia de Mo fue la ausencia de punta de la hoja y la reducción en el tamaño de la lámina de la hoja hacia la base.
B	B fue el último de la serie en la expresión de los síntomas de deficiencia en las plántulas de teca; los síntomas aparecieron sólo seis meses después de la siembra. Las nuevas hojas desarrolladas eran de tamaño pequeño, agrupadas en la parte superior. Tanto las hojas superiores como las inferiores eran muy frágiles. Todas las hojas se tornaron de color amarillo y entraron en una fase aguda de necrosis que condujo a la caída prematura de las hojas. Chapman (1975) también informó de entorchamiento, fragilidad y muerte regresiva de los brotes debido a la deficiencia de B. La deficiencia de B en las plantas produce múltiples ejes y las hojas se adelgazan y estrechan.
Fuente: Sujatha, M.P. 2003. Diagnosis of micronutrients deficiencies in teak seedlings	

Nwoboshi (1975) citado por Alvarado (2012) describió los síntomas de deficiencia de N, P, K, Ca y Mg en plántulas de teca (cuadro 11), los cuales pueden corregirse por aspersión de soluciones diluidas de sales solubles de los elementos deficitarios y deben desaparecer a las 2 o 3 semanas después de dicha aplicación.

Cuadro 11. Síntomas de deficiencias en hojas de teca (Nwoboshi 1975)	
Elemento	Síntomas de la deficiencia
N	Hojas de tamaño pequeño pero normales en todo lo demás, con clorosis marginal uniforme de color verde pálido, con o sin manchas necróticas, niveles foliares ligeramente bajos en N, P, Ca y Mg y con o sin niveles foliares ligeramente bajos en K.
P	Hojas con clorosis marginal uniforme de color verde pálido, con o sin corchosis en los márgenes; niveles foliares de P y Mg ligeramente bajos con o sin niveles foliares de N ligeramente bajos.
K	Clorosis marginal uniforme, con o sin necrosis en la hojas viejas; hojas jóvenes de forma normal pero de color verde más oscuro o curvadas hacia atrás, con o sin necrosis intervenal y ápices quemados; niveles de K ligeramente bajos, con acumulación de N, P y posiblemente Ca y Mg.
Mg	Hojas de tamaño y forma normal con clorosis intervenal, con o sin bandas verdosas en los márgenes.
Ca	Hojas jóvenes de forma distorsionada, de tamaño más pequeño que el normal y curvadas hacia atrás y de ápices quemados, con o sin necrosis intervenal y corchosis de color verde pálido. Las hojas viejas tienen apariencia normal y pueden tener clorosis marginal; los niveles foliares de Ca y P son ligeramente bajos y puede presentarse una acumulación de N y Mg.
S	Hojas de tamaño y forma normal con un moteamiento amarillo blancuzco intervenal, niveles de S ligeramente bajos y acumulación de N, P, K, Ca y Mg.
Fuente: Nwoboshi 1975. Macronutrient deficiency symptoms in teak ( <i>Tectona grandis</i> L.f.), citado por Alvarado 2012.	

#### 4.7 Fertilización durante la vida de la plantación

Teca ha respondido positivamente a la fertilización en plantaciones de 2-5 años en Panamá (Montero 1995), de 2, 7 y 12 años en Venezuela (Mothes et al. 1991; Torres et al. 1993) y de 10 y 20 años en la India (Patel 1991; Prasad et al. 1986). Algunos autores no han encontrado respuesta a la aplicación de niveles crecientes de fertilizante en plantaciones de 5 años en El Salvador (Hernández et al. 1990); para estos autores la fertilización aumenta el diámetro y al altura de los árboles de teca y atribuyen la respuesta a la adición de nutrimentos, particularmente en suelos distróficos, a: (1) una mejoría en las condiciones nutricionales reflejada en aumentos de las concentraciones foliares de elementos deficientes y (2) a un cierre más rápido de la copa de los árboles con lo cual se suprime el crecimiento de malezas, en particular gramíneas y se reduce la competencia por nutrimentos y agua.

Por otro lado, la respuesta de la teca a la fertilización en el campo ha sido muy variada. La adición de fosforita parcialmente acidulada (fertilizante de solubilidad lenta) en Venezuela a plantaciones de teca de 8 y 13 años de edad, no fue significativa, hecho atribuido a los bajos requerimientos de la especie por este elemento y a una demanda reducida por el mismo debida a la edad de la plantación (Torres et al. 1993). Sin embargo, la adición conjunta de N, P y K en la India a plantaciones de 10 y 20 años de edad, fue significativa (Prasad et al. 1986); estos autores encontraron que la especie respondió en términos de altura, diámetro y volumen a la aplicación anual de N (0, 150 y 300 kg ha<sup>-1</sup>) y P (0, 75 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) con una base de 50 kg K kg ha<sup>-1</sup>, en forma anual (el N dividido en dos porciones al año y el P y K en una sola

aplicación) durante 5 años, encontrándose que los mejores tratamientos fueron la adición de 150-75, 150-150 y 300-150 kg ha<sup>-1</sup> de N-P.

Raigosa et al. (1995), en Costa Rica establecieron un ensayo de fertilización en Guanacaste. El objetivo fue determinar el crecimiento inicial de teca y observar el efecto con la adición de diferentes dosis y combinaciones de estiércol, ceniza de madera, cloruro de potasio (KCl) y N-P-K (10-30-10), aplicados al fondo del hoyo en el momento de la plantación. Siete meses después del establecimiento se midió la altura total de los árboles y se encontraron diferencias entre los tratamientos. Los mejores tratamientos fueron en primer lugar 1.2 kg/árbol de ceniza más 100 gr/árbol de N-P-K (10-30-10) y en segundo lugar el tratamiento de 1.2 kg/árbol de estiércol con 1.2 kg/árbol de ceniza.

Kumar (2005) indica que en suelos de fertilidad baja, la adición de N, P, K o Ca permiten aumentar el área basal y del volumen de madera; si la fertilidad del suelo es baja y no se aplican enmiendas se presentan deficiencias nutricionales (clorosis y necrosis) y hasta muerte descendente de los árboles.

Alvarado y Raigosa (2007) han establecido que cuando la acidez aumenta con la profundidad del suelo, la plantación puede crecer normalmente durante algunos años, estancándose este crecimiento cuando las raíces encuentran el subsuelo ácido; bajo dichas condiciones, el crecimiento radical se restringe, por lo que cualquier período seco causa un amarillamiento de las hojas de abajo hacia arriba.

Algunos estudios muestran que el N cuando se aplica acompañado de P provoca a menudo un aumento en el crecimiento, pero en algunas ocasiones parece reducirlo. En general se consideran estos dos elementos como los más importantes para el crecimiento de la especie (Qhureshi y Yadav 1967; Ojo y Jackson, 1974; Laurie 1975 y Rodríguez et al. 1985, citados por Chávez y Fonseca 1991).

En una experiencia reciente en la zona norte de Costa Rica, Fallas (2014) encontró que en plantaciones jóvenes de teca los árboles obtienen el N que requieren del suelo y no se encontró respuesta en ninguna de las variables a la adición del elemento; en plantaciones entre 3 y 4 años de edad y plantaciones entre 6 y 7 años de edad, los mayores incrementos en diámetro se lograron con la adición de 220 g de N por árbol mientras que para la altura, con 80 g N era suficiente; para plantaciones entre 9 y 11 años de edad los mayores incrementos se logran con la adición de 160 g N; la adición de 220 g de N produjo los menores incrementos diamétricos, probablemente debido al efecto residual ácido de este tipo de fertilizante. En cuanto al volumen comercial la adición de 220 g de N en edades entre 3 y 7 años permitieron los mayores incrementos, mientras que para edades entre 9 y 11 años la adición de 160 g superó a los demás tratamientos.

El fósforo mostró respuesta positiva a la adición de 300 g por árbol a partir de 3,5 años, aunque los mayores incrementos en volumen se obtuvieron con solo 100 g por árbol; a partir de los 7 años, 200 g por árbol son suficiente para obtener incrementos en diámetro y altura, y por tanto en volumen. Para el caso del Potasio, a partir de los 3,5 años la adición de 80 g por árbol muestra incrementos positivos en volumen, aunque la respuesta no es proporcional a la cantidad adicionada: a partir de los 9 años la adición de 80 g, 160 g y 220 g por árbol son iguales entre sí, aunque todas superaron al testigo. La figura 10 muestra el efecto de la adición de nutrimentos obtenida por Fallas (2014). Ladrach (2005) indica que en teca, a pesar de ser una especie de larga vida, su tasa de crecimiento (el incremento medio anual) se maximiza en plantaciones jóvenes, entre los 9 y 12 años de edad (algo que parece indicar la figura 7).

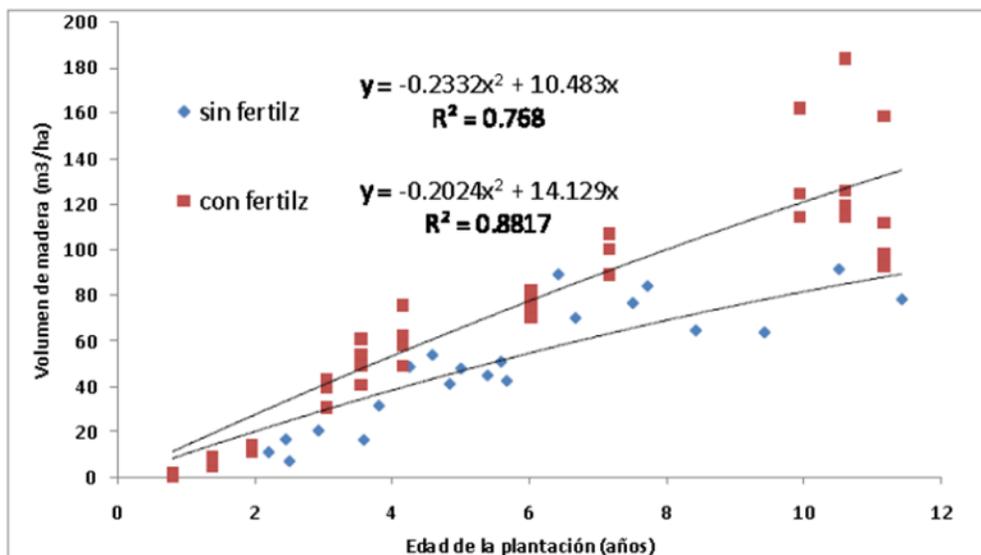


Figura 7. Incrementos en madera con diferentes niveles de fertilización, a diferentes edades, en plantaciones de teca en la zona norte de Costa Rica (tomado de Fallas 2014).

#### 4.8 Erosión en plantaciones de teca y pérdida de nutrientes

Generalmente se han criticado los monocultivos por motivos ambientales; en el caso de teca se dice que las plantaciones dan como resultado la erosión del suelo por debajo de los árboles, particularmente cuando se planta en pendientes (Fonseca, 2004; Ugalde y Gómez, 2006). Sin embargo, muchas veces se ha plantado en pendientes fuertes, donde ya existía erosión producto del uso anterior (ganadería sin prácticas de conservación de suelos). En Costa Rica Ladrach (2009) indica que habido críticas severas sobre la teca, donde se ha plantado ampliamente en sitios en los que antes había ganado con sobrepastoreo y presencia de erosión superficial y de cárcavas en las pendientes, especialmente en la Provincia de Guanacaste en el Pacífico. Críticas similares se han presentado en el caso de los pinos tropicales, los eucaliptos, *Gmelina arborea* y *Acacia mangium*, además de la teca. Una crítica común es que se destruyen los bosques naturales cuando se hacen plantaciones forestales comerciales. La realidad es que la mayor parte de las plantaciones establecidas el trópico se han realizado en sitios marginados por la agricultura o en tierras degradadas por el sobrepastoreo, aunque hay lugares donde se ha eliminado bosques para establecer monocultivos (soja).

Ladrach (2005) indica que “cuando se iniciaron las plantaciones de teca en Java, a escala mayor en el siglo 19, no había escasez de madera de teca, aún había bosques extensos con teca en el Sur de Asia. La teca fue plantada, no solo por su fina madera, sino también para reforestar lomeríos, proteger los suelos contra la erosión y evitar daños por sedimentación en las planicies bajas de producción agrícola. Después de 150 años de experiencia en Java se puede concluir sin reserva alguna que la teca es una buena especie para proteger el suelo y que no es culpable de causar erosión”. En Costa Rica Boley et al. 2009 encontraron que suelos cubiertos con teca tienen más K y Mg en el horizonte B y más Ca en el horizonte O/A que los suelos bajo cobertura de bosque natural o pastos.

Según Alvarado y Mata (2013), otros autores han encontrado que la especie en plantación es erosiva, lo que se atribuye al tamaño de sus hojas, alta densidad de plantación (lo que implica alta interceptación

de luz), poco crecimiento de sotobosque a menudo atribuible al efecto alelopático de exudados de sus hojas y pérdida de materia orgánica del suelo, raleos poco intensivos o tardíos y quemadas (Bell 1973, Wolterson 1979, Ramnarine 2001, Boley et ál. 2009).

En general, el incremento de las tasas de erosión en plantaciones forestales también se atribuye a la compactación del suelo durante el proceso de extracción de la madera, el cual causa un aumento de la densidad aparente a poca profundidad, una reducción de la infiltración promedio en estado de equilibrio y, por ende, un incremento de la esorrentía (Malmer y Grip 1990). Sin embargo, en relación con la siembra de cultivos agrícolas o de pasturas, la reforestación con teca en terrenos degradados, aumenta la infiltración en equilibrio (2,86, 2,59 y 5,76 cm/hora, respectivamente), debido a un aumento de la retención de humedad del suelo y a una reducción de la densidad aparente y de la tasa de esorrentía.

Bell (1973) informa que las pérdidas de suelo por erosión en Trinidad siempre fueron mayores en plantaciones de teca que en los bosques naturales de la misma región, con variaciones importantes debidas a la cantidad y erosividad de la lluvia caída en diferentes años. En este caso, las altas tasas de erosión se atribuyen más a deficiencias en el manejo silvicultural de las plantaciones. En cuanto a las pérdidas de suelo en plantaciones de teca, en Trinidad fueron del orden de 5,6 t/ha/año y hasta 12 t/ha/año en Tailandia. Arce (2003) en Guanacaste, Costa Rica, encontró una tasa de erosión de 106 t/ha/año, asociada a pérdidas significativas de Ca, Mg, P, Fe, Mn y Cu.

Un estudio reciente (Fernandez-Moya et al 2014) encontró, en Guanacaste, Costa Rica, en un sitio con 2500 mm y 4 a 6 meses de estación seca y una pendiente media de entre 30% y 60%, en un periodo de 14 meses, comprendidos entre julio de 2010 y septiembre de 2011, tasas de erosión de 6,7 t ha<sup>-1</sup> en plantaciones de teca de 20 años, 7,2 t ha<sup>-1</sup> plantaciones clonales de dos años y 35,1 t ha<sup>-1</sup> en una parcela de rebrotes de dos años. Es notable que a pesar de la cantidad e intensidad de las lluvias, el volumen de erosión se puede considerar de muy bajo a moderado. Los autores atribuyen este resultado a la presencia de sotobosque bajo las plantaciones, lo cual contradice la creencia popular que bajo plantaciones de teca se incrementa la erosión superficial, no se produce vegetación de sotobosque y que el tamaño de las hojas de la especie incrementa sensiblemente la capacidad erosiva de las gotas.

Los resultados sugieren en primer lugar que en plantaciones establecidas hace más de 20 años, aún en sitios anteriormente erosionados y utilizados en ganadería, las plantaciones no incrementan las tasas de erosión, sino que contribuyen a su control, lo cual puede atribuirse al manejo silvicultural proporcionado: control de densidad, control de incendios y permitir el establecimiento de diferentes niveles de sotobosque.

En conclusión: plantar teca requiere conocimiento adecuado y profundo de las condiciones del sitio, especialmente del estatus de nutrimentos y su ciclo suelo-planta; deficiencias de nutrimentos causadas por suelos empobrecidos (por el uso anterior o erosionados), el rápido crecimiento inicial de la especie, el lavado debido a regímenes de precipitación altos, o deficiencias debidas a falta de lluvias, alta acidez e inmovilización de algunos nutrimentos, o falta natural de algunos de ellos, debe ser suplementada con prácticas de fertilización debidamente programadas. Esto hace que el monitoreo de la fertilidad, a través del análisis de suelos, sea una práctica necesaria para asegurar el éxito de las plantaciones.

## 5. Manejo

### 5.1 Densidad de plantación

Hasta finales del siglo XX, en plantaciones comerciales, se usaban espaciamientos de 3 m x 3 m; 3,5 m x 2,8 m; 4 m x 2,5 m, es decir densidades iniciales que fluctuaban entre 1110 y 1000 árboles ha<sup>-1</sup>. Actualmente la definición del espaciamiento de plantación es una decisión económica que depende de: el objetivo final de la plantación, el tipo de material utilizado (de semillas o clones), el ciclo de corta considerado, la asociación o no con otras especies y cultivos al inicio de la plantación, la topografía, la utilización de maquinaria para las labores de mantenimiento y otros factores locales; espaciamientos de 3,5 m x 3,5 m; 4 m x 3 m; 4 m x 4 m, son comunes en plantaciones puras; si se establece combinada con cultivos agrícolas (sistema taungya), es posible que el espaciamiento entre filas sea mucho más amplio para dar espacio al cultivo agrícola.

Un estudio realizado en Salamá, distrito de Piedras Blancas, cantón de Osa, en Puntarenas, Costa Rica, en terrenos de la empresa Brinkman y Asociados Reforestadores de Centro América S.A. (BARCA S. A.) por Alvarado B (2011), en plantaciones de tres años de teca, encontró que el espaciamiento de plantación (cuadro 12) influyó en el crecimiento de los árboles (área basal y volumen individual) y que al pasar de dos a tres años las diferencias en volumen total por hectárea se hacían menores; un gran número de árboles producen mayor volumen por hectárea pero menor tamaño de los árboles individuales; las densidades de plantación, sin embargo, no afectaron el peso específico básico de la madera ni el contenido de humedad, pero si afectaron la densidad en verde, siendo mayor en los espaciamientos mayores. El incremento corriente anual del volumen, para el último año, muestra la tendencia de los mayores espaciamientos a acercarse a los crecimientos del mayor número de árboles, en menores espaciamientos.

Cuadro 12. Efecto del espaciamiento sobre el crecimiento de teca en Salamá, Buenos Aires, Costa Rica

Edad	Espaciamiento	N (árboles ha <sup>-1</sup> )			Valores árbol <sup>-1</sup>		Valores ha <sup>-1</sup>		IMA ha <sup>-1</sup>		ICA ha <sup>-1</sup>	
			Dap	Altura	g (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	G (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	G (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )	G (m <sup>2</sup> )	Vol (m <sup>3</sup> )
2 años	2,5 x 2,5	1350	10,18	12,61	0,00842	0,0396	11,37	53,45	5,69	26,73		
	2,5 x 4,0	883	10,60	12,92	0,00934	0,0468	8,25	41,33	4,12	20,66		
	3,0 x 3,0	967	10,39	12,84	0,00890	0,0381	8,60	36,80	4,30	18,40		
	4,0 x 4,0	567	11,61	13,98	0,01082	0,0528	6,13	29,92	3,07	14,96		
3 años	2,5 x 2,5	1325	13,64	15,38	0,01519	0,0910	20,10	121,40	6,70	40,50	8,80	67,90
	2,5 x 4,0	880	14,65	15,96	0,01779	0,1110	15,80	101,00	5,30	33,70	7,50	59,70
	3,0 x 3,0	950	14,29	15,85	0,01668	0,0940	15,80	90,60	5,30	30,20	7,20	53,80
	4,0 x 4,0	560	17,07	17,61	0,02335	0,1510	13,40	86,70	4,50	28,90	7,30	56,80

Fuente: Alvarado 2011.

Moya y Arce (2006) reportaron en un estudio sobre el efecto del espaciamiento de plantaciones de teca sobre el peso específico básico, que el mismo aumentó logarítmicamente con la edad del cambium, siendo mayor en espaciamientos de plantación de 6,0 m x 2,0 m frente a espaciamientos iniciales de 3,0 x 3,0 m, aunque los autores indican que esta tendencia difiere de la reportada para la misma especie por Moya (2002) para árboles de nueve años.

En una investigación realizada en Ecuador (Universidad Técnica Estatal de Quevedo en un sitio localizado en las coordenadas geográficas 01° 03' 24" de latitud sur y 79° 24' 55" de longitud oeste, perteneciente a la

formación ecológica bosque húmedo tropical), se encontró que el mayor espaciamiento (9,0 m x 9,0 m) estimuló un mayor crecimiento diamétrico, frente a un espaciamiento de 6,0 m x 6,0 m (cuadro 13). Diferentes autores<sup>3</sup> han indicado que mayores espaciamientos estimulan la aparición de un mayor número ramas bajas, lo que incrementa los costos de poda.

Lo importante respecto al diseño de plantación es tener claro los objetivos de la misma (no es lo mismo establecer plantaciones para la cosecha de madera comercial, que para obtener biomasa para otros usos), la posibilidad de comercialización de los productos intermedios, antes de la cosecha final y las facilidades de cosecha (completamente mecanizada, semi-mecanizada, con utilización de fuerza animal u otros métodos). Espaciamientos amplios permiten tener mayores crecimientos en diámetro en árboles individuales.

Cuadro 13. Crecimiento a los diez años, de cuatro especies en dos espaciamientos de plantación en Mocache, Los Ríos, Ecuador.

Especie	Diámetro		Altura	
	9 m x 9 m	6 m x 6 m	9 m x 9 m	6 m x 6 m
<i>Cybistax donnell smithii</i>	33,80	24,20	20,36	18,81
<i>Cordia megalantha</i>	22,67	17,43	15,19	15,01
<i>Tectona grandis</i>	36,53	28,13	19,59	20,21
<i>Triplaris cumingiana</i>	26,10	19,60	20,20	19,44

Fuente: Suatunce et al. 2009.

## 5.2 Podas

El objetivo de la poda es mejorar la calidad de la madera, previniendo la formación de nudos muertos, de los arboles seleccionados para la cosecha final. Se realiza durante los primeros años de vida del árbol, cuando las ramas aún son delgadas.

En Costa Rica se acostumbra hacer la primera poda antes que los árboles alcancen los primeros 5 metros de altura (árboles con alturas entre 3 y 5 metros) podando las 2/3 partes del árbol o máximo el 50% de su copa viva (Hawley y Smith 1972; Daniel et al 1975; Matthews 1989; Fonseca 2004). Se utilizan herramientas manuales como tijeras podadoras, sierras o en algunos caso machetes, sin producir desgarros en la corteza. La segunda poda la segunda poda se realiza después del primer raleo o cuando los árboles hayan alcanzado una altura entre 9,0 y 10,0 metros, podando hasta una altura de 3,5 m a 5,0 m y la tercera, cuando los árboles alcanzan los 12,0 metros de altura total, eliminando las ramas hasta los 7,0 m o hasta un diámetro mínimo de 10-12 cm (Hubert y Courraud 1988).

La poda debe ser cuidadosa para evitar daños a los árboles; se debe realizar en época seca, para promover la pronta cicatrización y disminuir los riesgos de infecciones. La mejor época para hacer la poda parece ser inmediatamente después del raleo, para evitar stress de los árboles, concentrarla en los mejores ejemplares y permitir la eliminación de ramas de 2,5-3,0 cm de diámetro en la base. Briscoe y Noble (1969) recomiendan que la poda de teca se haga a edades tempranas para mejorar la calidad de

<sup>3</sup> TEAKNET; Kerala, Forest Research Institute; Food and Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations; Kerala State Council for Science, Technology and Environment. 2011. Proceedings of the training course Innovations in the Management of Planted Teak Forests. Kerala Forest Research Institute, Peechi, India, 31 August- 3 September 2011

las primeras trozas e incrementar la homogeneidad de los árboles. Normalmente la poda de ramas gruesas es seguida por la aparición de brotes epicórmicos (provenientes de yemas durmientes), los cuales deben eliminarse (consumen mucha energía, crece muy rápido y no producen madera aprovechable).

Perez y Kanninen (2003) indican que en teca, la primera poda debe realizarse cuando los árboles alcanzan una altura de 4,0-5,0 metros, removiendo las ramas hasta 2,0-3,0 metros; la segunda poda (hasta 4,0-5,0 m) cuando los árboles alcanzan 9,0-10,0 metros de altura y una tercera poda cuando los árboles sobrepasan los 12,0 metros, para eliminar las ramas hasta los 7,0. Se busca, así, favorecer las primeras trozas que constituyen la parte más valiosa de los árboles.

### 5.3 Raleos

El manejo de la densidad en plantaciones forestales es una actividad que se planifica para controlar la estructura, la productividad, el tamaño de los árboles y el tiempo transcurrido hasta la cosecha final, todo esto en función de la especie, de los objetivos de producción y de la calidad del sitio. El raleo es la operación que reduce artificialmente el número de árboles en un rodal. Normalmente se realiza varias veces durante la vida de la plantación; Evans (1992), citando a Iyppu y Chandrasekharan 1961, señala, por ejemplo, que en el estado de Kerala, en India, las plantaciones de teca son raleadas seis veces durante una rotación de 70 años, para reducir el número de árboles de 2988 ha<sup>-1</sup> a solo 98 ha<sup>-1</sup>.

De acuerdo con la Terminology of Forest Science, Technology, Practice and Products (Winters 1977) el raleo es “una corta hecha en un rodal en cualquier tiempo entre el establecimiento y el inicio de un corte de regeneración o corta final, en el que los árboles extraídos son de la misma especie que los árboles favorecidos”. Las principales razones para realizar un raleo son (i) reducir el número de árboles en el rodal, para que los árboles remanentes tengan mayor espacio para el desarrollo de las copas y raíces, para estimular el crecimiento del diámetro y alcanzar un tamaño aprovechable lo más pronto posible; (ii) para mejorar la salud del rodal removiendo árboles muertos, muriendo, enfermos o con cualquiera otro daño que los pueda convertir en fuente de infecciones, enfermedades o causar daños a los árboles sanos remanentes y disminuir la competencia entre árboles, disminuyendo los niveles de stress, que pueden facilitar la presencia de plagas y enfermedades; (iii) remover árboles de mala forma –quebrados, bifurcados, con daños en la base o ramificación extraña-, permitiendo que el crecimiento se concentre solamente en los mejores árboles; (iv) proporcionar retornos financieros intermedios por la venta de la madera de los raleos (Evans 1992). Otros efectos de los raleos incluyen el incremento del grosor de la corteza, así como disminuir la auto poda, al permitir mayor iluminación en la plantación permitiendo la sobrevivencia de las ramas bajas.

Según Fonseca (2004), en el manejo de plantaciones, la aplicación de raleos o aclareos ha sido motivo de controversia para los propietarios de las mismas, por el alto costo de la operación, la falta o ausencia de mercado para los productos a obtener y muchas veces se cuestiona el hecho de plantar muchos árboles, con un costo altísimo y tener que eliminarlos años después. En otras ocasiones, la falta de información para aplicar esta práctica es motivo de preocupación, si se desea aplicarla en el momento oportuno y con la intensidad adecuada para maximizar el crecimiento de la especie.

Fonseca propone tres escenarios de raleo para Costa Rica:

- Partiendo de una densidad inicial de 1100 árboles ha<sup>-1</sup> un primer raleo a los 5 años, extrayendo el 50% de los árboles, un segundo raleo a los 9 años, extrayendo 50% de los árboles remanentes; un tercer raleo a los 13 años extrayendo el 33% de los árboles, un cuarto raleo a los 18 años (25% de los árboles) y el quinto raleo a los 23 años para dejar 125 árboles ha<sup>-1</sup> (cuadro 14)
- El segundo esquema propuesto: un primer raleo a los 4 o 5 años, eliminando el 40% de los árboles y los raleos posteriores cuando el área basal llegue a 21 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>, eliminando 6 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>.

El tercer esquema: partiendo de 1100 árboles ha<sup>-1</sup> tres raleos (años 4, 8 y 12) dejando para cosecha 220 árboles (cuadro 15).

Cuadro 14. Cinco raleos en plantaciones de teca (ciclo de 25 años)						Cuadro 15. Tres raleos, ciclo de 25 años			
Edad	Árboles remanentes	Raleo (%)	Extracción			Edad	Árboles remanentes	Raleo (%)	Extracción árboles
			Árboles	G					
				m <sup>2</sup>	%				
0	1100					0	1100		
5	550	50	550	7,8	41	4	660	40	440
9	275	50	275	8,6	36	8	442	33	218
13	184	33	91	7,1	29	12	296	33	146
18	138	25	46	5,5	23				
23	124	10	14	5,8	24				

Fuente: Fonseca 2004

Sage 2014, citando a varios autores, propone un esquema de raleo para turnos de 20 años en plantaciones orientadas a la producción de madera para exportación (cuadro 16), partiendo de 816 árboles ha<sup>-1</sup> (3,8 m x 3,2 m) con un primer raleo de 44% a los 5 años, un segundo raleo a los 8 años (30%) y un tercero a los 12 años para llegar a 200 árboles ha<sup>-1</sup> para la corta final a los 18-20 años.

Cuadro 16. Esquema de manejo para plantaciones de alto rendimiento de teca

<b>Edad (años)</b>	<b>Arboles por hectárea</b>	<b>Raleo (%)</b>	<b>Arboles cortados</b>	<b>Árboles remanentes</b>
1	816			
5	816	44,0%	359	457
8-9	457	30,0%	137	320
11-12	320	37,5%	120	200
13-20	200			

Fuentes: Adaptado de: Venegas, A. y Villalobos, E. Programa de raleos y cosecha final para plantaciones en el Pacífico Seco. Delgado, A. Tablas de crecimiento y rendimiento para plantaciones en el Pacífico Seco. Tomado de Sage (2014)

Este esquema busca llegar a diámetros de 28,5-32,0 cm (90 cm- 100 cm de circunferencia) para maximizar los ingresos en las circunstancias actuales del mercado de teca para exportación hacia India, Vietnam y China.

Aunque se utiliza frecuentemente, la edad, por si sola, no es suficiente para planificar los raleos, ya que el crecimiento de los árboles depende de las condiciones del sitio (McLintock y Bickford 1957; Pflugbeil 1960; Daniel et al 1975); la utilización de la altura del rodal o el cierre de copas como indicadores de la necesidad de ralear, son una forma de incluir la calidad del sitio en la programación de los raleos. Centeno (1997) recomienda realizar un primer raleo cuando los árboles alcanzan una altura de 9,0-9,5 metros en plantaciones con una densidad inicial de 1200-1600 árboles; Alvarado y Mata (2013)

proponen un esquema de dos raleos, para ciclos de corta de 20 años: el primer raleo se hace a los cuatro años, el segundo a los 12 y a los 18 o 20 años se aprovecha la plantación; cuando el periodo de rotación es de 25 años se recomienda un raleo adicional a los 15 o 18 años.

Una experiencia informada por la Cámara Costarricense Forestal (1996) presenta los efectos de la remoción o raleo de árboles en la zona norte de Costa Rica. El cuadro 17 presenta los datos. El raleo extrae los árboles de menor diámetro dentro de las clases, con defectos o que muestran problemas de crecimiento; el efecto inmediato es un aumento del promedio de diámetro de los árboles remanentes, con lo que se espera, concentrar el crecimiento en los mejores árboles.

De acuerdo a lo indicado en el cuadro 17, el raleo removi6, en promedio, el 37% del volumen; el mayor volumen fue extraído de las clases diamétricas comprendidas entre los 15 y los 25 cm de diámetro, clases que a la vez aportan el mayor volumen remanente.

En conclusión, el raleo es una práctica indispensable cuando se pretende obtener madera de calidad, para uso en productos con valor agregado. La edad de ejecución depende del material reproductivo utilizado, las condiciones del sitio y las prácticas de mantenimiento utilizadas en las primeras etapas de la plantación.

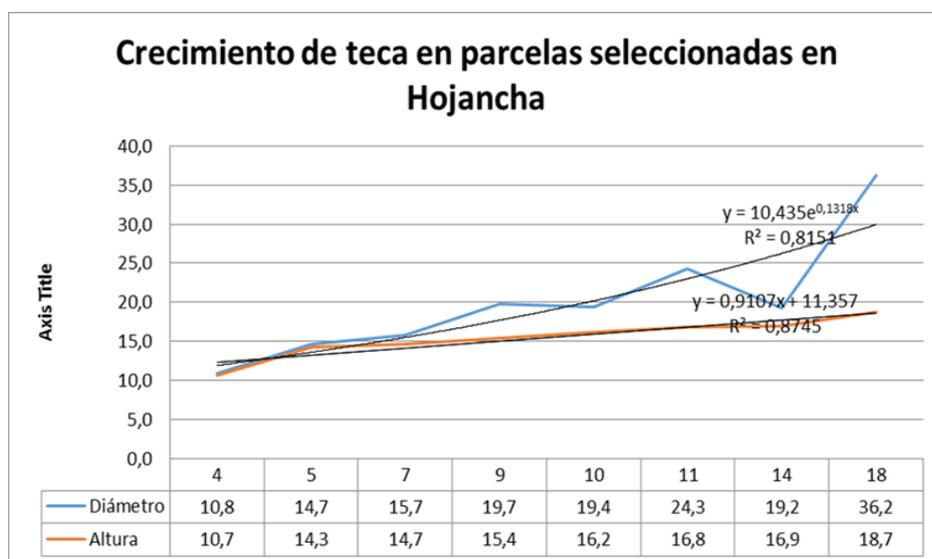
Clase diamétrica	Población inicial				Raleo prescrito				Población remanente			
	arb	dap	altura	vol com	arb	dap	altura	vol com	arb	dap	altura	vol com
10,0-15,0	60	13,36	15,5	6,00	40	13,67	15,19	3,96	20	13,57	16,12	2,04
15,1-20,0	232	17,69	17,33	36,33	112	17,48	17,43	17,32	120	19,72	17,22	19,06
20,1-25,0	118	21,94	19,27	28,42	28	21,42	18,92	6,39	90	22,10	19,38	22,05
25,1-30,0	16	26,53	19,73	5,46	2	28,4	20,00	0,78	14	26,26	19,69	4,68
Total	426			76,21	182			28,45	244			47,83
Promedio		16,63	17,7			17,36	17,2			19,58	18,07	

arb = árboles dap = diámetro a la altura del pecho (1,3 m) vol com = volumen comercial  
Fuente: tomado de Cámara Costarricense Foresta (1996)

#### 5.4 Crecimiento y modelos de crecimiento

Una evaluación realizada en 1980 en plantaciones de Costa Rica (Martínez 1981) encontró que teca era una de las especies de rápido crecimiento. Según Vallejo y Avendaño (2013) algunos autores consideran que la teca es una especie de rápido o muy rápido crecimiento (Lamprecht 1990, Betancourt 2000, Chinchilla 2000, Pérez 2005), en tanto que otros la consideran como de crecimiento moderado (Francis y Lowe 2000, Krishnapillay 2000).

La experiencia muestra que el crecimiento es rápido en la etapa inicial, seguida por una etapa de crecimiento medio, el cual decrece paulatinamente (Chávez y Fonseca 1991, Ladrach 2009); la figura 8 presenta el crecimiento de la especie en lugares seleccionados de Hojanca y el cuadro 18, tomado de Vallejo y Avendaño, presenta escenarios de crecimiento en diferentes lugares de América Tropical, de una amplia variedad de calidades de sitio, materiales genéticos y técnicas de establecimiento y manejo forestal. La tendencia general encontrada de rápido crecimiento inicial seguido por un crecimiento moderado a bajo.



**Figura 8. Crecimiento en diámetro y altura en lugares seleccionados de Hojancha.**

Fuente: Elaborado con base en datos de campo (Martínez 2014)

\* Las parcelas en la edad 14 pertenecían a plantaciones en posición cima de pendientes

**Cuadro 18. Escenarios de crecimiento de teca en América Tropical**

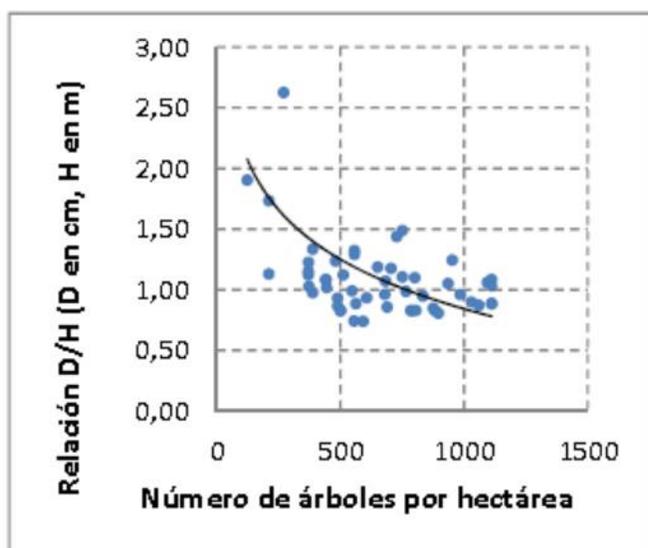
Edad (años)	No. (árboles/ha)	Conservador				Promedio				Optimista			
		Hd (m)	D (cm)	Vtc (m³/ha)	Vex (m³/ha)	Hd (m)	D (cm)	Vtc (m³/ha)	Vex (m³/ha)	Hd (m)	D (cm)	Vtc (m³/ha)	Vex (m³/ha)
1	1111	0,2	0,6	0,0		0,2	0,6	0,0		0,3	0,7	0,0	
2	1030	1,6	2,5	0,3		1,7	2,7	0,4		1,9	3,0	0,5	
3	1000	4,2	5,2	3,2		4,5	5,7	4,1		4,8	6,2	5,2	
3,99	1000	7,4	8,0	13,5	3,4	8,0	8,7	17,2	4,4	8,5	9,5	21,6	5,5
4	600	7,4	8,9	10,0		8,0	9,7	12,8		8,6	10,5	16,1	
5	600	10,7	11,8	25,5		11,6	12,9	32,6		12,4	13,9	40,9	
6	600	13,8	14,3	48,1		14,9	15,6	61,3		15,9	16,9	77,1	
7	600	16,5	16,4	74,8		17,7	17,8	95,4		19,0	19,3	119,9	
7,99	600	18,6	18,0	102,0	21,8	20,1	19,6	130,1	27,8	21,5	21,2	163,6	35,0
8	400	18,6	19,5	80,2		20,1	21,2	102,3		21,5	23,0	128,6	
9	400	20,4	20,9	100,5		21,9	22,7	128,1		23,5	24,6	161,0	
10	400	21,7	21,9	118,3		23,4	23,9	150,8		25,1	25,8	189,6	
11,99	400	23,6	23,3	145,2	49,3	25,4	25,4	185,2	62,9	27,2	27,5	232,8	79,1
12	200	23,6	26,8	95,9		25,4	29,2	122,3		27,2	31,6	153,7	
14	200	24,7	27,7	107,2		26,6	30,2	136,7		28,5	32,7	171,8	
16	200	25,3	28,2	113,8		27,2	30,7	145,2		29,1	33,3	182,5	
18	200	25,6	28,5	117,7		27,6	31,0	150,0		29,5	33,6	188,6	
20	200	25,8	28,7	119,8		27,8	31,2	152,8		29,7	33,8	192,0	
22	200	25,9	28,8	121,0		27,9	31,3	154,3		29,9	33,9	193,9	
25	200	25,9	28,8	121,8	121,8	27,9	31,4	155,4	155,4	29,9	34,0	195,3	195,3
<b>Total</b>				<b>196,5</b>				<b>250,5</b>				<b>314,9</b>	

Fuente: Tomado de Vallejo y Avendaño (2013)

Hd: Altura dominante (m); D: diámetro (cm); Vtc: Volumen total con corteza (m³); Vex: Volumen extraído (m³)

El crecimiento teca es bastante rápido durante los primeros años, principalmente en altura (en promedio 2 m/año), luego va disminuyendo y pasados los 50 años es muy lento (CONIF 2002). Según Martínez (1981), el crecimiento inicial en altura hasta los cinco años es de 3-5 m/año en los mejores sitios y luego de los cinco años, el crecimiento rara vez excede los 2 m/año. En condiciones naturales los árboles pueden llegar a medir hasta 40 m de altura y hasta 1,9 m de diámetro (Kadambi 1972) en plantaciones en Costa Rica las mayores alturas pueden ser de hasta 24 m.

Vallejo y Avendaño 2013 indican que a diferencia de las plantaciones establecidas en décadas anteriores y como resultado de una mejor selección del sitio, mejores prácticas de manejo, mayor intensidad de manejo y el empleo de semillas de mejor calidad (por lo menos, de árboles seleccionados), es muy probable que el crecimiento en altura de las plantaciones establecidas en condiciones adecuadas superen los 30 m cuando alcancen 25 a 30 años de edad.



Según Chaves y Fonseca (1991), las altas densidades a temprana edad afectan el crecimiento en diámetro, en altura y hasta la productividad del sitio. Los datos de diferentes partes (Vallejo y Avendaño 2013) indican que la teca tiene una relación de esbeltez alta (mucho altura en relación con el diámetro), así como una alta afectación del crecimiento en diámetro por altas densidades de la plantación (la figura 9, tomada de Vallejo y Avendaño muestra la relación diámetro/altura con relación a la densidad de plantación: entre mayor densidad menor diámetro y los árboles son más esbeltos).

**Figura 9. Relación diámetro/altura para diferentes densidades de plantación** (construida con datos de 11 países de América Latina (tendencia logarítmica)

Fuente: Tomado de Vallejo y Avendaño 2013.

Normalmente el volumen (referido a plantaciones en la literatura, se refiere al volumen de fustes o comercializable). Como el crecimiento en altura en las primeras etapas de desarrollo del árbol es muy rápido, con frecuencia se producen incrementos en altura de 3 o más metros durante los dos primeros años de edad y no es raro encontrar árboles con alturas desde 5 hasta 15 m a los 5 años de edad. Estos valores se traducen también parcialmente en rápidos crecimientos en volumen. Sin embargo, el incremento en altura y en volumen se desacelera sustancialmente después de aproximadamente 15 a 20 años. Según CONIF (2002), el rápido incremento del volumen culmina después de los 20 años.

Bajo condiciones favorables iniciales, una plantación de teca puede presentar tasas de crecimiento de 10 a 20 m<sup>3</sup>/ha/año. Sin embargo, el crecimiento decrece hasta niveles de 4-8 m<sup>3</sup>/ha/año a medida que envejece la plantación (Htwe 1999 y Cao 1999, citados por Krishnapillay 2000). Según Miller (1969) y Fonseca (2004) citados por Ladrach (2009), el valor máximo de incremento medio anual (IMA) ocurre a una edad relativamente joven, entre 7 y 12 años, dependiendo de la calidad de sitio. Pandey y Brown

(2000) también indican que entre los 6 y 20 años ocurre un pico precoz en los incrementos corrientes anuales en volumen (ICA).

La rotación de las nuevas plantaciones de teca intensivamente explotadas suele ser de 20 a 25 años (Torres 1999, Ugalde y Pérez 1999); es decir, tres a cuatro veces más corta que la de las antiguas plantaciones con un manejo menos intensivo en el sureste de Asia. El IMA esperado es superior a 10 m<sup>3</sup>/ha/año, frente a los 3-8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> registrados en plantaciones Establecidas en buenos terrenos pero con un manejo menos intensivo (Subramanian et al. 1999, Maître 1983).

Vallejo y Avendaño (2013) indican que es frecuente en los estudios de crecimiento presentar la información de ámbitos ambientales y de variables de manera parcial o incluso mínima, por lo cual resulta difícil comparar modelos en general o sugerir modelos para ser aplicados en condiciones específicas. Sin embargo, aunque no se tenga información precisa del ámbito de variables o plantaciones utilizadas para la generación de los modelos, es muy probable que la mayoría de ellos se basen en datos de plantaciones jóvenes. En el caso de los modelos de Mora y Meza (sf), dos fueron desarrollados con base en el análisis fustal de árboles de edad relativamente avanzada; en los modelos desarrollados por Lemckert, Quirós y Ramírez (1983) se utilizaron árboles de 28 años de edad. El cuadro 19 presenta algunos de los modelos generados para condiciones de Costa Rica.

Cualquiera que sea el modelo que se emplee, debe reemplazarse por modelos desarrollados para condiciones locales y específicas de manejo y crecimiento, para obtener estimados y proyecciones más sólidas y confiables, una vez que se tengan los datos requeridos.

Cuadro 19. Modelos alométricos y de crecimiento para *Tectona grandis* (Vallejo y Avendaño 2013)

Ecuación	Ámbito variable	Autores
$V_{ccc} = -0,00453996 + 0,00003251*(dap^2)*ht$ $V_{ccc} = -0,01097847 + 0,00003377*(dap^2)*ht$ $V_{csc} = -0,01908878 + 0,00002646*(dap^2)*ht$ $V_{csc} = -0,00191115 + 0,00002548*(dap^2)*ht$ $V_{tcc} = 0,00877993 + 0,00003251*(dap^2)*ht$ $V_{tsc} = 0,00306108 + 0,00002535*(dap^2)*ht$	Costa Rica Dap entre 5 y 30 cm Temperatura media anual 25° C Precipitación anual 2700 a 3000 mm	Camacho y Madrigal (1997)
$V_{csc} = 0,0359 + 0,0000216*(dap^2)*ht$	Costa Rica; dap entre 18 y 53 cm	Keogh (1987)
$V_{csc} = -0,0111 + 0,000025*(dap^2)*ht$	El Salvador; dap entre 10 y 44 cm	
$V_{tsc} = 0,26005789*(dap^2*ht)^{0,963638}$ $V_{ccc} = 0,34337814*(dap^2*ht)^{0,9338306}$ $V_{ccc} = 0,43945454*dap^{1,966151}*ht^{0,877762}$ $V_{csc} = 0,33185903*dap^{1,966151}*ht^{0,903806}$	Venezuela (Barinas) Altitud: 100 msnm Zona de vida: bh-T Temperatura media: 25° C Precipitación: 1900 mm	Moret et al (1998)
$Baa = 0,131748*dap^{22,406413}$ $V_{tsc} = 0,00013*dap^{2,480705}$ $V_{tcc} = 0,00028*dap^{2,326409}$	Colombia	Torres (2004)
$V_{csc} = -26,7721+0,02566dap^2*ht$	Costa Rica Dap: entre 10 y 27,2 cm; h entre 12 y 23,2 m Altitud: 300 msnm Temperatura 26-29° C	Vcsc en decímetros cúbicos, hasta 10 cm dap Bermejo et al (2004)

	Precipitación media anual: 1800-2450 mm	
Dsci = 0,947*dcci-0918 Vtsc = -0,0111 + 0,000025*(dcci^2*h)	América Central	Keogh (2005)
Bfo = -2,138 + 2,272*Log(dap) Bfu = 0,804 + 2,303*Log(dap) Brm = -2,380 + 2,920*Log(dap) bta = -0,815 + 2,382*Log(dap) dcar = -0317+ 0,771*Log(dap) bfo = 8,569 + 0,881*dap brm = -72,397 + 5,750*dap	Costa Rica Densidad inicial 1111 a 2500 árboles ha <sup>-1</sup> y densidad final entre 170 y 1600 árboles ha <sup>-1</sup> . Edad entre 8 y 47 años Altitud 23-300 msnm Temperatura: 26-27,1° C Precipitación: 1659-4200 mm	Pérez y Kanninen (2003)
Modelos de crecimiento		
Vsc = 10^(0,96220+0,838304*Log(G)+0,149660/T) H = 10^(1,38568-1,28190/T) Vtc = 10^(1,09048+0,813855*Log(G)+0,312302/T) G = 10^(1,55139-2,48178/T) H = 10^(ln(S)/ln(10)-1,2819*(1/T-1/10)) Vtc = 10^(2,35309-1,70751/T) Vsc = 10^(2,26274-1,93083/T)	Colombia: Temperatura media 24° C Precipitación anual 1000-1500 mm	Henao (1982)
Baha = 2,6342*G^1,2225 Hd = 17,28*Exp*-1,96*((1/T^0,65)-(1/12^0,65))) S = Hd/Exp(-1,96*((1/T^0,65)-(1/12^0,65))) Vtc = 3.7468*G^1,2289 Vts = 2,4414*G1,2664	Colombia :Dap entre 1,7 y 35 cm; ht entre 1,9 y 26,5 m; hc entre 1.4 y 20,7 m Altitud: 60-110 msnm Zona de visa: bh/T Temperatura media 27° C Precipitación: 2478 mm	Torres (2004)
D = 25*(IDR/N)^0,5839	Costa Rica	Arias (2004)
Hd = T^2/(0,6926+0,0108t+0,0396T^2) Dg = -3,034+0,964ht+2510,28/N Ve = 0,28*G*ht	Costa Rica	Bermejo et al (2004)
H = 0,348+0,936Hd Hd = 2,343*exp*2,303/25( Vtc = 4,567*H^0,396	Cuba Altitud: 1300msnm Temperatura media: 15° C - 24,7° C Edad de referencia: 25 años	García et al (sf)
Hd = Exp(1,7024+b*(1/T)^0,3974)	Costa Rica	Lemckert, Quirós y Ramírez (1983)
Hd = Exp(4,3739-3,6279*(1/T)^0,3889)	Costa Rica	Mora y Meza (2003)
Hd = 10^(1,4449 -17,5506*(1/T)	Costa Rica	Greijmans y Lammens (1992)
Hd = Exp(3,4723 - 1,8253*(1/T)^0,5162	Costa Rica	Vallejos (1996)
Vtcc = 0,0 0124845 - 0,0 00345137(dap) + 0,0 00045169 (dap^2) + 0,0 0000099446 (dap^3)	Costa Rica	Gomez y Mora (snt)
Baa = biomasa aérea (arriba del suelo) árbol (kg árbol <sup>-1</sup> ); Baha = Biomasa aérea total (t ha <sup>-1</sup> ); bfo = biomasa de follaje (kg árbol <sup>-1</sup> ); brm = biomasa de ramas (kg árbol <sup>-1</sup> ); bta = biomasa total árbol (kg árbol <sup>-1</sup> ); D diámetro promedio del rodal (cm); dap = diámetro a la altura del pecho (cm); Dg = diámetro cuadrático del rodal (cm); dsci = diámetro sin corteza a la altura hcci (cm); G = área basal m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ); H = altura promedio del rodal (m); Hd = altura d ellos árboles dominantes (m); ht = altura total del árbol (m); T = edad; Tr = Edad de referencia Vccc = volumen comercial con corteza (m <sup>3</sup> ); Vex = Volumen total extraído (m <sup>3</sup> ); Vsc = volumen sin corteza (m <sup>3</sup> ); Vtc = volumen total con corteza (m <sup>3</sup> ); Vtcc = Volumen total comercial con corteza (m <sup>3</sup> ); Vts = volumen total sin corteza; Vtsc = volumen total sin corteza (m <sup>3</sup> ).		

## 5.5 Plagas y enfermedades

De acuerdo con Arguedas et al 2013, en América tropical se han reportado 53 especies de insectos, 34 de patógenos, dos de vertebrados (*Orthogeomys underwoodii* y *Sigmodon hispidus*), el ácaro *Tetranychus* sp. (Tetranychidae, Acari) y cuatro muérdagos de la familia Lorantácea (*Oryctanthus alveolatus*, *Phoradendron* sp., *Phthirusa* sp.; *Phthirusa stelis*, *Struthanthus* cf *leptostachyus* (Gibson 1975; CATIE 1991; Arguedas 2008, 2011). Arguedas (2007) informa sobre las plagas y enfermedades que afectan a la teca en Costa Rica y Arguedas et al. (2013) presentan las especies de insectos y patógenos reportados hasta 2012 en América (cuadro 20).

En 2004, Arguedas, Chaverry y Verjans informaron sobre los principales patógenos e insectos que afectan a la teca en Costa Rica:

**Brotes:** *Phomopsis* sp. ataca al fuste y brotes terminales, con la infección desarrollándose de arriba hacia abajo (desde el meristemo apical); la corteza se necrosa y toma una coloración negruzca, produciendo la muerte de todo el sector afectado. Las nervaduras de las hojas pueden ser afectadas y se necrosan; si la humedad es alta se pueden producir picnidios o estructuras reproductivas de los hongos.

**Hojas:** en las regiones Huetar Norte y Huetar Atlántica se ha encontrado la presencia del hongo *Pseudoepicocus tectonae* que produce una mancha blanca ("mancha de tiro al blanco"); se pueden presentar varias manchas que se unen y forman áreas necróticas, dejando el resto sin afectarla.

En el ataque de "mallá de las hojas", causado por *Ralstonia* sp., los árboles afectados presentan un leve amarillamiento y flacidez del follaje, el cual posteriormente comienza a necrosarse desde los bordes, hasta cubrir toda la hoja y matarla. Como son árboles pequeños (menos de 1,5 m de altura), la infección comienza a afectar también los tejidos corticales del tallo hasta causar la muerte de todo el individuo. El sistema radical se encuentra totalmente deteriorado, la corteza se desprende fácilmente de las raicillas finas y en las más gruesas estos tejidos se encuentran podridos.

La "Roya de la teca" (*Olivea tectonae*), enfermedad reportada históricamente en Asia, durante los últimos años se ha presentado en plantaciones de teca en América desde el sur de México hasta Ecuador y Brasil y el Caribe (EPPO 2005; Matarrita et al. 2006; Pérez et al. 2008; Cabral et al. 2010). Afecta el follaje de plántulas en el vivero hasta árboles adultos, afectando las hojas más viejas, especialmente las de las partes bajas que presentan inicialmente manchas necróticas de tamaño y forma variable, de color verdoso que cambia a tonos claros y luego a café y grises. Las hojas severamente afectadas pueden caer. En el envés se forman estructuras llamadas uredinios, los cuales son eruptivos, cilíndricos y curvados; su abundancia es tan grande que las esporas o urediniosporas que liberan cubren toda la superficie inferior de la hoja, dándole un color anaranjado y una apariencia polvosa; las urediniosporas son equinuladas, ovoides a elipsoidales y miden de 17-20 x 15-25  $\mu\text{m}$  (Arguedas 2004b, Arguedas et al; 2006, Cibrián y Arguedas 2007).

La roya es afectada por hongos antagonistas y es común encontrar un hongo blanco y otro negro, de los géneros *Acremonium* y *Cladosporium* respectivamente, que crecen sobre las esporas de la roya. Es por ello que debe haber mucha precaución antes de iniciar programas de control con fungicidas (Arguedas 2004b, Cibrián y Arguedas 2007, Sharma et al. 1985).

Cuadro 20. Problemas fitosanitarios de teca en América tropical según Arguedas et al 2013

Insectos		Patógenos	
Especie	Referencias	Especies	Referencias
<b>Plántulas</b>			
Spodoptera sp. (Noctuidae, Lep)	Arguedas (2008,2011) Madrigal (1980, 2003)	Aphelenchus spp.	Arguedas (2008, 2011)
Sp. no identificada (Chrysomelidae, Col)	Arguedas (2008, 2011)	Fusarium sp. Pseudomonas sp. Trychodorus spp.	Arguedas (2008, 2011) Arguedas (2008, 2011) Arguedas (2008, 2011)
<b>Brotes</b>			
		Phomopsis sp. Nigrospora sp.	Arguedas (2008, 2011) Arguedas (2008, 2011)
<b>Follaje</b>			
Aeneolamia postica (Cercopidae, Hom)	Flores (2005), Flores et al (2010)	Cercospora rangita	Arguedas (2008, 2011)
Anasa sp. (Coreidae, Hem)	Flores (2005), Flores et al (2010)	Cochilobolus sp.	Flores (2005), Flores et al (2010)
Aphis gossypii (Aphidae, Hom)	Bruner et al (1975, Madrigal (2003)	Colletotrichum sp.	Flores (2005), Flores et al (2010)
Atta spp. (Formicidae, Hym)	Madrigal (1989, 2003), CATIE (1991), Arguedas (2008, 2011), Flores (2005), Flores et al (2010)	Corynespora sp.	CATIE (1991)
Automeris sp. (Saturniidae, Lep)	Madrigal (1989, 2003) Arguedas (2008, 2011),	Olivea tectonae	Esquivel (2003), Flores (2005), Matarrita et al (2006), Arguedas (2008, 2011), Flores et al (2010)
Bermisia tabaco (Aleyrodidae, Hom)	Flores (2005), Flores et al (2010)	Pestalotia sp.	Flores 2005, Flores et al (2010), Arguedas (2008, 2011)
Disentria violacens (Notodondidae, Lep.)	Arguedas (2008, 2011)	Nigrospora sp.	Arguedas (2008, 2011)
Eurypedus nigrosignata (Chrysomelidae, Col)	Madrigal (1989, 2003), Gallego y Velez (1992)	Phomopsis sp.	Arguedas (2008, 2011)
Gastrothrips sp. (Phleothripidae, Thy)	Madrigal (1989, 2003)	Pseudoepicocum sp.	Arguedas (2008, 2011)
Hemileuca maia (Saturniidae, Lep)	Flores (2005), Flores et al (2010)	"Fumagina"	Arguedas (2008, 2011)
Hortensia similis (Cicadellidae, Hom)	Flores (2005), Flores et al (2010)		
Hyadaphis erysimi (Aphididae, Hom)	Flores (2005), Flores et al (2010)		
Hyblaea puera (Hyblaeidae, Lep)	Arguedas (2008, 2011)		
Hylesia sp. (Saturniidae, Lep)	Arguedas (2008, 2011)		

Insectos		Patógenos	
Especie	Referencias	Especies	Referencias
Megalopyge orsilochus (Megalopygidae, Lep)	Madrigal (1989, 2003)		
Myzus persicae (Zulzer) (Aphididae, Hom)	Brunner et al (1975), Madrigal (2003)		
Nesara sp. (Pentatomidae, Hem)	Flores 2005), Flores et al (2010)		
Oiketikus kirbii (Psychidae, Lep)	Madrigal 1989, 2003), Arguedas (2008, 2011)		
Oncometopia sp. (Cicadellidae, Hom)	Madrigal (1989, 2003), Flores (2005), Flores et al (2010)		
Oxydia spp. (Geometridae, Lep)	Arguedas (2008, 2011)		
Pachybrachis sp. ca. Reticulata (Chrysomelidae, Col)	Madrigal (1989, 2003)		
Pulvinaria psidii (Coccidae, Hom)	Madrigal (1989, 2003)		
Rhadbopterus sp. (Chrysomelidae, Lep)	Arguedas (2008, 2011)		
Sibine sp. (Nostuidae, Lep)	Madrigal (1989, 2003) Arguedas (2010)		
Schistoscercu sp. (Acrididae, Ort)	Flores (2005), Flores et al (2010)		
Spodoptera sp. (Noctuidae, Lep)	Madrigal (1989, 2003), Arguedas (2010)		
Taeniopoda sp. (Romaleidae, Ort)	Arguedas (2008)		
Teleonemia sp. (Tingidae, Hem)	Madrigal (1989, 2003)		
Urodera sp. (Chrysomelidae, Col)	Madrigal (1989, 2003)		
Walterianella sp. (Chrysomelidae, Lep)	Arguedas (2008, 2011)		
Zigogramma sp. (Chrysomelidae, Col)	Madrigal (1989, 2003)		
Follaje			
Sp. no id. (Aleyrodidae, Hom)	Arguedas (2008, 2011)		
Ramillas			
Edessa sp. (Pentatomidae, Hem)	Arguedas (2008, 2011)		
Fuste			
Apate monachus (Bostrichidae, Col)	Brunner et al (1975), Madrigal (2003)	Agrobacterium tumefaciens	CATIE (1991), Arguedas (2008, 2011)

Insectos		Patógenos	
Especie	Referencias	Especies	Referencias
Chrysobothris femorata (Buprestidae, Col)	Flores et al (2010)	Botryodiplodia sp.	Arguedas (2008, 2011) Flores et al (2010)
Coptotermes testaceus (Rhinotermitidae, Iso)	Arguedas (2008, 2011)	Botryosphaerae sp.	Arguedas (2008, 2011)
Euplatypus parallelus (Curculionidae/Scolytinae, Col)	Arguedas (2008, 2011)	Ceratocystis sp.	Arguedas (2008, 2011)
Hypothenemus sp. (Curculionidae/Scolytinae, Col)	Arguedas (2008, 2011)	Dothiorella sp.	Arguedas (2008, 2011)
Nasutitermes corniger (Termitidae, Iso)	Arguedas (2008, 2011)	Erythricium salmonicolor	Arguedas (2008, 2011)
Neoclytus cacicus (Cerambycidae, Col)	CATIE (1991), Arguedas (2008, 2011)	Erwinia sp.	Arguedas (2008, 2011)
Neotermes castaneum (Termitidae, Iso)	Madrigal (2003)	Macrophomina sp.	Arguedas (2008, 2011)
Oberea tripunctata (Cerambycidae, Col)	CATIE (1991), Arguedas (2008, 2011)	Nectria nauritiicola	Arguedas (2008, 2011)
Plagiohammus spinipennis (Cerambycidae, Col)	CATIE (1991), Arguedas (2008, 2011)	Phomopsis sp.	Arguedas (2008, 2011)
Plagiohammus rubefactus (Cerambycidae, Col)	Arguedas (2008)	Fusarium sp.	Arguedas (2008, 2011)
Scolytus sp. (Curculionidae/Scolytinae, Col)	Flores (2005), Flores et al (2010)		
Xyleborus affinis (Curculionidae/Scolytinae, Col)	Arguedas (2008, 2011)		
Xylosandrus crassiusculus (Curculionidae/Scolytinae, Col)	Arguedas (2008, 2011)		
Sesiidae, Lep	Arguedas (2008, 2011)		
Raíz			
Cyclocephala ruficollis (Melolonthidae, Col)	Gallego y Velez (1992)	Cylindrocladium sp.	Arguedas (2008, 2011)
Phyllophaga sp. (Scarabidae, Col)	CATIE (1991), Flores (2005), Flores (2010), Arguedas (2008, 2011)	Dematophora sp.	Arguedas (2008, 2011)
		Fusarium oxysporum	CATIE (1991), Arguedas (2008, 2011)
		Phytophthora spp.	Flores et al (2010), Arguedas (2008, 2011)

Especies de *Phyllactinia* y *Uncinula* producen necrosis de la lámina foliar (cenicillas polvorientas). Pertenecen al orden Erysiphales, las cuales son parásitos obligados que forman mantos de micelios algodonosos color blanco sobre las partes afectadas de los hospederos. La fase imperfecta o asexual de estos hongos es la especie *Oidium*, la cual domina su ciclo de vida y produce grandes cantidades de esporas que dan la apariencia de polvo blanquecino, lo que le da el nombre (Agrios 2005, Cibrián y Arguedas 2007). Bajo condiciones de temperatura y humedad altas, los daños producidos por estos hongos pueden transformarse en defoliaciones severas en teca (Prasanth y Naik 2010).

**Fustes:** *Agrobacterium tumefaciens*, bacteria de la familia Rhizobiaceae, produce la “corona de agallas” en la base de los fustes a nivel del suelo, formando protuberancias fácilmente distinguibles; son leñosas y mantienen la coloración y textura del resto de la corteza; pasado el tiempo se rompe la superficie y toma una coloración oscura; estas agallas pueden desarrollarse en la base de los árboles o en casos extremos a lo largo del fuste.

En regiones húmedas, aparecen diferentes tipos de cancros en el fuste (cuadro 21); entre los más comunes está el producido por *Nectria nauritiicola*;

Cuadro 21. Cancros encontrados afectando teca en América Central.

Nombre común/ agente causal	Descripción
Cancro nectria ( <i>Nectria nauritiicola</i> )	En la base del fuste se observa un área ovalada de la corteza de color oscuro. Esta corteza podrida se puede desprender manualmente, por lo que los tejidos del xilema quedan expuestos. Los cancros pueden permanecer mucho tiempo en el árbol, el cual comienza a producir tejidos de defensa como callos y, posiblemente, corteza subepidérmica que provoca grandes áreas abultadas y deformes principalmente en la base del árbol. En árboles jóvenes el cancro puede ser longitudinal y ampliarse en la base, lo que provoca, en algunos casos, la muerte del árbol por anillamiento.
Cancro alargado ( <i>Dothiorella</i> sp.)	Resquebrajamiento longitudinal de la corteza que puede profundizar hasta el xilema. En algunos casos, se desarrolla en forma extensiva y cubre áreas en promedio de 12 x 6 cm; cuando se corta la corteza superficial es posible observar los tejidos internos totalmente necrosados (coloración parda oscura). En otros casos aparentemente los cancros más viejos el resquebrajamiento se prolonga a lo largo del fuste (hasta 60 cm) y el árbol forma callos en los bordes, lo cual delimita la extensión perimetral de los mismos. Es el cancro más común en la región centroamericana.
Cancro múltiple ( <i>Botryosphaeria</i> sp.)	Cada cancro representa un abultamiento de 3 a 20 cm de largo y de 2 a 23 cm de ancho a lo largo del fuste, en los cuales se abre la corteza; se ubican principalmente en los puntos de poda. En un árbol se pueden encontrar hasta 16 cancros.
Enfermedad rosada ( <i>Erythricium salmonicolor</i> )	Áreas necróticas extensas bordeadas de callos cuya corteza queda adherida al fuste, lo que da al cancro un aspecto rugoso y abultado. Sobre los tejidos enfermos crece el micelio del hongo, el cual, al madurar toma una coloración rosa que da el nombre a la enfermedad. El daño puede abarcar todo el perímetro del árbol lo que provoca anillamiento y muerte de las ramas o de los árboles atacados, si el daño es en el fuste.

Fuentes: Arguedas et ál. (1995), Ordóñez (1999), Arguedas et ál. (2003), Arguedas (2008, 2011), Macías et ál. (2002a), Prasanth y Naik (2010).

Otro daño importante es producido por *Plagiohammus spemipennis* (Cerambycidae, Coleoptera); en los primeros estadios las larvas se alimentan en el líber, lo que obstaculiza el flujo de nutrimentos, produciéndose un abultamiento en la zona de ataque, dando origen a ramificaciones; posteriormente la larva barrena el xilema y crea galerías en forma de anillo; en los últimos estadios puede penetrar hasta la médula, barrena hacia arriba, dañando la madera y a veces, favoreciendo la quebradura del árbol por el viento; la larva puede medir hasta 5 cm con la forma típica de un cerambícido.

Síndrome del decaimiento lento de la teca: En plantaciones de más de 7 años, en las regiones húmedas (precipitaciones anuales superiores a los 2500 mm), se ha observado un proceso de mortalidad de árboles aislados y en grupos (Arguedas *et al.* 2013). En los árboles afectados, las raicillas adventicias se degeneran hasta morir. Estudios recientes indican que el fenómeno está asociado a factores climáticos y edafológicos que afectan el sistema radical y posteriormente, patógenos oportunistas aprovechan la condición de estrés para atacar. Los sitios más afectados presentan de 190 a 255 días con lluvia, excesos de agua (precipitación entre 8 y 12 meses al año), precipitación media anual entre 2.700 mm y 5.000 mm, índice de aridez entre 0 y 6%, conductividad hidráulica lenta o muy lenta en algún horizonte de suelo, baja fertilidad, régimen de humedad údico y drenaje moderadamente lento o lento.

*Raíz*: en sitios que anteriormente han sido utilizados para la producción de hortalizas u otros cultivos, o donde se ha utilizado abonos orgánicos o gallinaza, es común el ataque de *Phyllophaga* sp. que en su estado larval se alimenta de materia orgánica y raíces.

*Hyblaea puera* comúnmente conocida como esqueletizadora de la teca, es la plaga más importante de la especie en la región del Pacífico de Asia y actualmente sus ataques en plantaciones en Latinoamérica han crecido en forma importante (Nair 2001).

Las larvas pliegan y unen con seda un borde de la hoja con la lámina foliar donde se albergan; de allí salen a alimentarse del resto de la lámina foliar dejando únicamente las nervaduras primarias y secundarias. Las larvas, en su último instar, pueden medir de 3,5 a 4,5 cm de largo; el cuerpo tiene una apariencia suave, lisa y opaca, con coloraciones que varían de gris oscuro a negro, con bandas longitudinales de color naranja y laterales blancas. La larva madura desciende al suelo en un hilo de seda y pupa bajo una delgada capa de hojas secas.

Las palomillas son relativamente pequeñas, con una envergadura alar de 3-4 cm y una postura de descanso característica que le oculta el negro y naranja (Ordóñez 1999, Nair 2007, Arguedas 2011).

*Rabdopterus* sp. y *Walterianella* sp. (Chrysomelidae, Coleoptera), son dos especies defoliadoras comunes de la teca. *Rabdopterus* sp. es una especie polífaga; los adultos se alimentan del follaje de la teca y producen perforaciones características de forma elongada y curva de aproximadamente 1,3 de largo y 0,16 cm de ancho.

Los huevos son puestos en grietas en la superficie del suelo. Larvas blancas con una línea longitudinal oscura y la cabeza color marrón con mandíbulas bien desarrolladas. Los adultos son escarabajos pequeños (4-5 mm de largo), compactos, robustos, de forma óvalo-alargada, de color verde oscuro a negruzco con brillo metálico. Los adultos de *Walterianella* sp. se alimentan del follaje y producen pequeñas raspaduras de la cutícula superior y del parénquima de aproximadamente 10 x 2 mm; por la

cantidad de daños en una sola hoja, esta puede quedar casi totalmente perforada y morir. Los daños dentro de las plantaciones se concentran en grupos de árboles o focos.

Otras plagas comienzan a presentarse en forma más frecuente y produciendo cada vez daños más severos. Especies de gran tamaño y voracidad de *Automerix* (Familia Saturniidae, Orden Lepidoptera), tres especies de *Oxidia* (Familia Geometridae, Orden Lepidoptera) conocidas como los “medidores gigantes de la teca” y varias especies no identificadas de saltamontes (Orden Saltatoria). Estos últimos también pueden alimentarse de los brotes terminales, lo que hace que las consecuencias de sus daños sean de gran importancia económica (Arguedas 2003). Adicionalmente moluscos, como las babosas y los caracoles, son plagas que producen daños en estructuras reproductivas, follaje y raíces de cultivos incluyendo la teca.

No importando el tamaño de la plantación se requiere un monitoreo constante para detectar en etapas tempranas ataques de insectos o patógenos y tomar las medidas necesarias para evitar daños económicos.

## 5.6 Cosecha

El aprovechamiento o cosecha forestal es la operación silvicultural que finaliza las otras operaciones de manejo; se inicia con la planificación de las diferentes etapas del mismo: corta de los árboles, extracción o arrastre de los fustes comerciales a un lugar de carga (patios intermedios y/o orillas de caminos), troceo y apilado de trozas, carga de trozas (normalmente de igual longitud), y transporte de las trozas en camiones, para su posterior industrialización y comercialización.

La planificación previa al aprovechamiento debe tomar en cuenta el área a aprovechar, la pendiente y disponibilidad de maquinaria y mano de obra. Aspectos importantes a tomar en cuenta en esta fase son:

- a. Red vial: primera etapa operativa del sistema de aprovechamiento, concebida antes de establecer la plantación; está compuesta por todos los caminos y pistas de extracción entre el bosque y la industria. Su objetivo es hacer el transporte de los productos de la plantación a la industria. Compuesta, además de los caminos principales, por los caminos secundarios o
- b. Pistas de arrastre, trochas temporales distanciadas 100-150 metros. Deben establecerse antes de iniciar la corta ya que esta debe dirigirse con base en la localización de estas pistas y la red vial de caminos existente. Las pistas de arrastre deben marcarse en función de:
  - Tipo de raleo; sistemático (en hileras) o selectivo.
  - Concentración de la madera.
  - Forma del terreno.
  - Dirección del arrastre.
  - Método de arrastre a utilizar (manual, animal, mecanizado).Estas pistas de arrastre deben ser del ancho del método de extracción (bueyes, tractor agrícola) y libres de obstáculos como troncos, ramas grandes, piedras, etc.
- c. Las pistas de saca (sólo la carga viaja por la pista -como en los métodos de arrastre con winches o cable y winches-) pueden ser menos anchas que las pistas de arrastre (ancho de la carga).

- d. Patios de acopio: dado que la red de caminos internos, generalmente, es de tipo "parte alta de la loma o cima", es decir, sobre las partes altas y más planas del terreno, los patios en su mayoría se deberían establecer en las orillas de los caminos y tomando en cuenta los siguientes aspectos.

En plantaciones de teca en Costa Rica, dependiendo del tamaño de la operación (área a aprovechar, volumen, distancia, topografía, disponibilidad de maquinaria) se pueden utilizar diferentes sistemas de extracción: con bueyes, tractores agrícolas, cables aéreos o sistema combinados de estas tres formas.

El uso de bueyes se ha popularizado para distancias cortas de arrastre (de 60 a 80 m, aunque en ocasiones pueden ser 150 a 200 m). Los bueyes se emplean por parejas o yuntas y la carga es fijada por una cadena a un yugo que descansa sobre la nuca de los animales. Los bueyes usados en la práctica forestal se caracterizan por poseer una contextura fuerte, cuello corto y grueso. El peso de cada buey fluctúa entre 500 y 700 kilogramos. De acuerdo a Otavo y Gayoso (1984) los bueyes se desplazan a una velocidad de 1,4 a 1,8 km/hora tanto en viaje vacío como cargado, con una fuerza de tiro de 11 a 29% del peso corporal, lo que en arrastre ladera abajo se traduce en una capacidad de carga de hasta 1,5 toneladas.

El arrastre con bueyes tiene la ventaja de disminuir el impacto sobre los suelos, se dispone de boyeros y personal entrenado para extracción y sus costos es accesible en operaciones medianas y pequeñas.

Otra forma de extracción utilizada es el arrastre con tractores agrícolas (adaptados a las operaciones forestales, incluyendo cabinas protegidas para los operadores, o sin adaptaciones especiales). Tomado de Teca: mitos y realidades (F. Kottman). Las figuras ilustran la forma de utilización.



En Costa Rica se está incrementando el uso de tractores agrícolas, a los que se les hacen adaptaciones como sulkys, para elevar las trozas y facilitar su extracción, uso de winches para arrastre, uso de garras o palas cargadoras adaptadas, para desempeñar una doble función; adicionalmente sirven para el arrastre de carretas para cargue de madera de dimensiones pequeñas. Las ventajas del tractor agrícola, adaptado a las operaciones forestales son su relativo bajo costo, facilidad de operación y ductilidad para adaptarse a condiciones difíciles.

También se pueden utilizar tractores forestales (skidders), aptos para trabajos en pendientes y altas tasas de rendimiento, aunque sus costos de adquisición y operación es alto, la operación forestal puede combinarse con el uso de retroexcavadores para cargue o arrastre de madera.



Las ventajas de la utilización de tractores agrícolas son su gran versatilidad, habilidad para trabajar en terrenos con pendientes suaves a ondulados, presencia de lluvias, disponibilidad de maquinaria en el medio local y necesidad de extracción rápida.

Operaciones en terrenos quebrados o para extracción de trozas a distancias superiores a 100 metros, donde los tractores tienen impedimento de acceso por la presencia de ríos o áreas protegidas, algunas empresas han utilizado sistemas de cables aéreos.

De acuerdo con representantes de la única empresa que utiliza el sistema en Costa Rica, “la extracción de trozas mediante cable aéreo causa un impacto reducido, pues las trozas se suspenden de manera vertical para moverlas de un lugar a otro. Este sistema es más caro que el arrastre sobre el suelo, pero se usa únicamente en terrenos con fuerte pendiente y en distancias largas. El sistema emplea un tractor agrícola que usa su eje de accionamiento para impulsar un sistema aéreo de cable vía que sostiene dos rollos de cable; la línea aérea rígida se fija a un árbol en el otro lado del valle que se está cosechando; la línea principal permite levantar la troza y luego arrastrarla a lo largo de la línea fija con la ayuda de un carruaje equipado con frenos” Kottman (2013). La figura 10, tomada de Kottman ilustra el uso de este sistema.



**Figura 10. Sistema de cable aéreo para extracción de teca en Pan American Woods, Costa Rica.**

Fuente: tomado de Kottman (2013).

La extracción desde el tocón hasta los patios intermedios, se complementa con la extracción hacia las plantas de procesamiento o puntos de acopio. Para el cargue se utilizan cargadores mecánicos, como el indicado en la figura 11.



**Figura 13. Retroexcavadora adaptada como cargador de madera.**

Fuente: HAMartínezH, colección personal

## 5.7 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión

El establecimiento de plantaciones de teca, una vez se ha seleccionado el sitio adecuado, el material a utilizar (semillas de huertos semilleros, clones desarrollados por la propia empresa o proveniente de productores especializados) y se dispone del conocimiento sobre las propiedades de los suelos en el sitio, incluye actividades comunes a otras especies: limpieza y protección del área, preparación del suelo (limpieza, drenajes, subsolado, arado, rastrillado, alomillado, si fueren necesarios); corrección de acidez (si necesaria), fertilización, preparación de hoyos para establecimiento de las plántulas, etc.

No se dispone de información pública sobre costos específicos de establecimiento de plantaciones de teca en Costa Rica. Fonseca (2004) estimaba que los costos de establecimiento de plantaciones, en diferentes áreas de Costa Rica variaban entre \$331,0 y \$707,1 (\$401,8 - \$858,36 al tipo de cambio de mayo de 2015) para el establecimiento, según la región del país; la Oficina Nacional Forestal, con datos de 2004, calculaba que establecimiento de plantaciones (de melina y especies similares) alcanzaba los \$2455,0 en la zona norte de Costa Rica (\$2980,2 al tipo de cambio actual).

ANAM de Panamá (2013) indica que el costo de establecimiento, mantenimiento y manejo para un ciclo de 20 años alcanza los \$10.000,0, mientras que Sage, Kent y Morales (2013) estiman, con base en información de diferentes países de América Latina, que el costo de establecimiento y manejo para rotaciones de hasta 30 años varía entre \$6.016,0 y \$32.741, por hectárea con un promedio de \$14.225,0. Lujan et al. (2013) con base en resultados de Costa Rica indican que el costo estimado (por hectárea) del establecimiento y manejo de una plantación de teca en un ciclo de 20 años alcanza los \$10.000,0 (cuadro 22).

En operaciones con preparación intensiva del suelo se deben agregar los costos de estas operaciones; en promedio el costo de dragado es de aproximadamente \$75 la hora de operación, para la apertura de canales de drenaje; el subsolado tiene un costo de \$40-\$50 la hora de tractor, mientras que para la corrección de acidez se requieren hasta 2500 kg ha<sup>-1</sup> de carbonato de calcio o cal dolomítica, o mezclas de estas; el quintal de fertilizante tiene un costo de entre \$34 y \$40.

De Camino, van Straten y Morales (2013) al analizar las condiciones en que se han realizado las inversiones para teca en América Latina reconocen que en esta parte del mundo, las inversiones aceptables para teca van de los 18 a los 15 años; la rotación depende de la tasa de crecimiento de la plantación y el precio de la madera. En esta especie el precio aumenta al aumentar el diámetro, por la posibilidad de utilizar la madera para la manufactura de productos de mayor calidad.

El margen de rentabilidad (no solo para esta especie) para los plantadores de teca depende de varios factores:

- i) La ubicación del proyecto respecto al mercado, centros de acopio, plantas de procesamiento, puertos y, desde luego, las vías de comunicación para acceder a estos sitios;
- ii) El diseño de la plantación (material genético y calidad de sitio);
- iii) El manejo forestal, es decir las intervenciones para mantener o estimular el crecimiento o mejorar la calidad de la madera (enmiendas al suelo, fertilización, limpiezas, podas, raleos)
- iv) Formas de extracción y transporte;
- v) Monitoreo y control de la operación (parcelas permanentes de monitoreo, inventario continuo)

- vi) Investigación (mejoramiento genético, biotecnología, técnicas de fertilización, estímulo a la producción de duramen, control financiero y mejoramiento del flujo de caja);
- vii) Estrategias de comercialización (mercados y productos nuevos, certificación);
- viii) Seguridad jurídica, tenencia de la tierra, impuestos;
- ix) Escala de plantación y factibilidad de economías debidas a esta.

Cuadro 22. Costos estimados (por hectárea) del establecimiento y manejo de una plantación de teca en un ciclo de 20 años.

Año	Actividad	Costos (US\$)
1	Establecimiento	1590
2	Manejo y mantenimiento	621
3	Manejo y mantenimiento	551
4	Manejo y mantenimiento	460
5	Manejo y mantenimiento	390
6	Primer raleo	603
7	Manejo y mantenimiento	355
8	Manejo y mantenimiento	355
9	Manejo y mantenimiento	355
10	Manejo y mantenimiento	355
11	Segundo raleo	669
12	Manejo y mantenimiento	355
13	Manejo y mantenimiento	355
14	Manejo y mantenimiento	355
15	Manejo y mantenimiento	355
16	Manejo y mantenimiento	355
17	Manejo y mantenimiento	355
18	Manejo y mantenimiento	355
19	Manejo y mantenimiento	355
20	Corta final	857
<b>TOTAL</b>		<b>10 001</b>

Fuente: Tomado de Lujan, Herrera y Dipier 2013.

Además de las consideraciones anteriores, en Costa Rica se debe tener en cuenta que desde la perspectiva de la demanda hay algunos aspectos a tomar en cuenta:

- i.- la existencia de demanda creciente de madera en rollo desde los mercados de India, China y Vietnam y de productos terminados desde Europa y Estados Unidos;
- ii.- los precios de la especie son sensiblemente más altos que las de otras especies similares.

Desde la perspectiva de la oferta,

- i) existencia en el territorio nacional de áreas con condiciones adecuadas para el establecimiento de plantaciones, conocimiento, experiencia y la posibilidad de obtener materia de calidad mejorada (huertos semilleros, programas de clonación);

- ii) disponibilidad de información técnica y personal capacitado para la administración de proyectos tanto de escala grande y mediana, como de pequeños productores;
- iii) existencia de incentivos (pago por servicios ambientales) y la posibilidad de acceder a créditos (de menor costo que el crédito corriente) en la banca de desarrollo;

Desde la perspectiva técnica, teca es una de las especies más estudiadas tanto en el país como en el resto de América Latina y el mundo, por lo que se dispone de información sobre requerimientos de los sitios, crecimiento, rendimiento, manejo, costos y personal capacitado; adicionalmente hay tecnología apropiada sobre la selección y preparación de sitios, fertilización, enmiendas al suelo, mantenimiento, podas, raleos, aprovechamiento, transporte, modelos de crecimiento y rendimiento, recursos genéticos, semillas de rodales semilleros, así como tecnología de seguimiento y evaluación del recurso.

Un estudio reciente (Sage 2014) en la península de Nicoya investigó “la edad óptima de corta de las plantaciones de teca en la Península de Nicoya según las condiciones de precios, dimensiones y categorías que compra el mercado asiático”, comparando. Adicionalmente, construir un modelo financiero que permita comparar costos e ingresos de las edades alternativas a las que se pueden cosechar las plantaciones incluyendo un análisis de sensibilidad.

De acuerdo con los resultados de este estudio, el volumen y valor para plantaciones en Hojancha se presentan en el cuadro 23.

Cuadro 23. Volumen y valor por hectárea para plantaciones de teca en Hojancha (200 árboles ha<sup>-1</sup> a partir del año 11)

Edad (años)	DAP (cm)	Alt comercial (m)	Diam centro (cm)	Circunf centro (cm)	Vol/árbol (m3)	Vol extraído Hoppus (m3)	Incremento Hoppus (m3)	Valor/hectárea (US\$)	Valor/hectárea (colones)	Incremento (% del valor)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	20,07	5,96	17,42							
9	21,43	7,08	17,73	55,7	0,1373	18,81		1.068,31	569.411,02	
10	22,45	7,21	18,75	58,9	0,1564					
11	22,84	7,4	19,14	60,13	0,1672	20,07		1.791,96	955.112,50	
12	24,2	8,11	19,47	61,17	0,1896					
13	25,12	8,43	20,39	64,06	0,2162	43,24	3,33	6.779,80	3.613.635,29	
14	27,7	8,68	22,97	72,16	0,2825	56,5	4,04	12.079,76	6.438.514,09	53
15	28	8,93	23,27	73,1	0,2983	59,66	3,98	13.410,64	7.147.871,99	13,31
16	28,2	9,18	23,47	73,73	0,3119	62,38	3,9	14.024,07	7.474.831,40	6,13
17	28,35	9,43	23,62	74,2	0,3245	64,91	3,82	15.304,68	8.157.395,40	12,81
18	28,5	9,68	23,77	74,68	0,3374	67,47	3,75	15.910,60	8.480.349,58	6,06
19	28,6	9,93	23,87	74,99	0,349	69,8	3,67	16.843,04	8.977.339,35	9,32
20	28,7	10,18	23,97	75,3	0,3608	72,16	3,61	17.412,06	9.280.628,79	5,69

El cálculo de volumen, por el método Hoppus, se hace con base en la medición de la circunferencia al centro y la longitud de cada troza.

El valor máximo del incremento medio anual de 4,04 m<sup>3</sup> (año14) de la Tabla 1 indica el punto de máxima productividad o madurez biológica de la plantación.

Fuente: Sage 2014.

### 5.7.1 Costos de aprovechamiento

De acuerdo con Sage (2014), la madera se vende en pie o cargada en el contenedor a compradores internacionales que transan en medidas Hoppus. De acuerdo con la legislación forestal actual, la venta de madera en pie está exenta del pago del impuesto de ventas. Ya sea que se venda en pie o cargada, el valor de la madera depende del costo de aprovechamiento. Los costos de aprovechamiento que incluyen generalmente actividades, tales como marca, volteo, extracción, transporte y carga, deben restarse al valor de la madera cargada. Factores como la topografía, la condición de los caminos, la distancia a los patios de acopio y el clima, son los mayores determinantes del costo de aprovechamiento; en el Pacífico Seco, estos costos varían entre ₡269.400 y ₡569.800 colones por contenedor. El autor asumió un costo promedio de ₡345.000 por contenedor, el más frecuente reportado por productores madereros. Este costo equivale a US\$ 33,20 por m<sup>3</sup> Hoppus o sea, US\$ 647<sup>4</sup> por contenedor de 19,5 m<sup>3</sup>. El cuadro 24 presenta los precios por m<sup>3</sup> Hoppus sin castigo para madera de teca cargada en el contenedor.

Cuadro 24. Rango de precios para trozas (m<sup>3</sup> Hoppus) cargada en contenedor en Hojancha

<i>Rango</i>	<i>Dólares m<sup>-3</sup> Hoppus</i>	<i>Rango</i>	<i>Dólares m<sup>-3</sup> Hoppus</i>
45-50	135	40-50	60
51-60	155	51-60	90
61-70	230	61-70	130
71-80	280	71-80	170
81-90	345	81-90	220
91-100	400	91-100	290

Fuente: Brenes, J. Precios de referencia para Hojancha

Dependiendo de las condiciones de la finca, el aprovechamiento puede hacerse en una o dos etapas: en el primer caso, las fincas tienen vías de extracción que facilitan la extracción de la madera y el cargue directamente en contenedores dentro de los límites de la finca, mientras en el segundo, las fincas aprovechan hasta un patio interno, cargan en camiones (generalmente tipo tándem) hasta un patio externo donde es cargada en contenedores; obviamente hay costos de aprovechamiento diferentes (cuadros 25 y 26).

La sumatoria de costos de aprovechamiento, transporte a puerto, aduanas y madera en pie, resultan en el valor FOB de la madera<sup>5</sup> Obviamente, los costos de aprovechamiento, transporte a puerto y aduanas difieren según sean las condiciones de la finca y la distancia de transporte.

<sup>4</sup> Tipo de cambio utilizado US\$1 = ₡533,23

<sup>5</sup> El valor FOB es la suma de todos los costos generados hasta que la mercancía este a bordo del buque. El vendedor está obligado a cargar la mercancía a bordo del buque en el puerto de embarque especificado en el contrato de venta. El comprador selecciona el buque y paga el flete marítimo. La transferencia de riesgos y costos se produce cuando la mercancía rebasa la borda del buque. El vendedor se encarga de los trámites para la exportación. Al valor de la madera cargada en el contenedor debe agregarse 500 dólares por concepto de flete terrestre a Caldera e ingreso al predio de contenedores; además, 125 dólares por concepto de trámites aduaneros (DUA, FAD, Ingreso a puerto, tonelaje y honorarios agente aduanero).

Cuadro 25. Costos de aprovechamiento, transporte a puerto y aduanas de madera de teca puesta en Puerto Caldera para aprovechamiento en una fase (₡ y US\$, setiembre 2014).

<i>Etapa de comercialización</i>	<i>PMT ₡</i>	<i>Hoppus m3 ₡</i>	<i>Hoppus m3 US\$</i>	<i>Contenedor ₡</i>	<i>Contenedor US\$</i>
Marcar árboles	0,3	119,84	0,22	2.336,88	4,38
Corta y despunte	4,28	1.712,00	3,21	33.384,00	62,63
Arrastre con bueyes	8,56	3.424,00	6,42	66.768,00	125,27
Arrastre con tractor					
Carga en campo					
Transporte a 2do patio					
Alistado	3,21	1.284,00	2,41	25.038,00	46,98
Medición	2,14	856	1,61	16.692,00	31,32
Carga del contenedor	16,05	6.420,00	12,05	125.190,00	234,88
	<b>34,54</b>	<b>13.815,84</b>	<b>25,92</b>	<b>269.408,88</b>	<b>505,46</b>
Flete a puerto	68,34	27.336,00	51,29	533.052,00	1.000,10
Trámites aduaneros	17,1	6.840,00	12,83	133.380,00	250,24
Administración	11,58	9.262,37	17,38	180.616,18	338,87
	<b>97,02</b>	<b>43.438,37</b>	<b>81,5</b>	<b>847.048,18</b>	<b>1.589,21</b>
<b>Total</b>	<b>131,56</b>	<b>57.254,21</b>	<b>107,42</b>	<b>1.116.457,06</b>	<b>2.094,67</b>

Fuente: Sage 2014.

Cuadro 26. Costos de aprovechamiento, transporte a puerto y aduanas de madera de teca puesta en Puerto Caldera para aprovechamiento en dos fases (₡ y US\$, setiembre 2014).

<i>Etapa de comercialización</i>	<i>PMT ₡</i>	<i>Hoppus m3 ₡</i>	<i>Hoppus m3 US\$</i>	<i>Contenedor ₡</i>	<i>Contenedor ₡</i>
Marcar árboles	0,3	119,84	0,22	2.336,88	4,38
Corta y despunte	4,28	1.712,00	3,21	33.384,00	62,63
Arrastre con bueyes	8,56	3.424,00	6,42	66.768,00	125,27
Arrastre con tractor	12,84	5.136,00	9,64	100.152,00	187,9
Carga en campo	12,84	5.136,00	9,64	100.152,00	187,9
Transporte a 2do patio	12,84	5.136,00	9,64	100.152,00	187,9
Alistado	3,21	1.284,00	2,41	25.038,00	46,98
Medición	2,14	856	1,61	16.692,00	31,32
Carga del contenedor	16,05	6.420,00	12,05	125.190,00	234,88
	<b>73,06</b>	<b>29.223,84</b>	<b>54,83</b>	<b>569.864,88</b>	<b>1.069,16</b>
Flete a puerto	68,34	27.336,00	51,29	533.052,00	1.000,10
Trámites aduaneros	17,1	6.840,00	12,83	133.380,00	250,24
Administración	11,58	9.262,37	17,38	180.616,18	338,87
	<b>97,02</b>	<b>43.438,37</b>	<b>81,5</b>	<b>847.048,18</b>	<b>1.589,21</b>
<b>Total</b>	<b>170,08</b>	<b>72.662,21</b>	<b>136,33</b>	<b>1.416.913,06</b>	<b>2.658,37</b>

Fuente: Sage 2014.

De acuerdo con lo indicado en los cuadros 25 y 26, el costo para el aprovechamiento en dos fases es 28% mayor que para una operación que se completa en finca.

### 5.7.2 Precios de la madera en pie

El valor de la madera en pie se fija en un mercado con características de oligopsonio en el cual un número pequeño de compradores tiene el control de los precios y las cantidades que se transan (los compradores, por lo general, provienen de India, China, Vietnam, Malasia y Tailandia y ofrecen precios similares).

Al no existir un mercado interno competitivo para la madera de las plantaciones, los productores deben vender a los comerciantes asiáticos y, aunque el precio tiene variaciones entre uno y otro comprador, no existe en la realidad control alguno del precio ni las cantidades por parte de los vendedores.

De acuerdo con la Oficina Nacional Forestal (Boletín Informativo), el precio de la madera de teca en pie varió desde ₡165 la pulgada maderera tica (pmt) en 2008 (US\$ 0,319<sup>6</sup> pmt) hasta ₡250 pmt<sup>-1</sup> en 2013 (0,507 pmt) ₡190 pmt<sup>-1</sup> en 2014 (US\$ 0,353), mientras que la pmt en troza varió desde ₡212 (US\$ 0,410) en 2008 hasta ₡405 (US\$ 0,821) en 2013. Sage (2014) encontró que el precio de la madera puesta en contenedores, en finca experimentó una variación que fluctuó entre 0% y 20% para las diferentes categorías de circunferencia (cuadro 27). El cuadro 28 presenta los precios de la madera de teca cargada en contenedor, puesta en Puerto Caldera.

Cuadro 27. Tendencias de precios para madera de teca cargada en contenedor en finca en el Pacífico de Costa Rica, periodo 2010-2014 (US\$/m3 Hoppus sin castigo).

<b>Circunferencia</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>Variacion 2010-2014</b>
<b>121 - &gt;</b>	503	585	555	505	585	116%
<b>111 - 120</b>	453	445	505	455	538	119%
<b>101 - 110</b>	403	400	455	400	485	120%
<b>91 - 100</b>	355	345	400	350	425	120%
<b>81 - 90</b>	315	300	350	300	355	113%
<b>71 - 80</b>	270	250	285	240	295	109%
<b>61 - 70</b>	230	205	235	200	235	102%
<b>51 - 60</b>	160	135	165	110	160	100%
<b>40 - 50</b>	95	70	100	45	95	100%

Fuente: tomado de Sage (2014)

<sup>6</sup> Precios en dólares corrientes del 30 de junio del año respectivo (BCCR)

Cuadro 28. Valores FOB-Caldera para madera de teca de plantaciones del Pacífico Seco, Periodo 2010-2014 (US\$ por m3 Hoppus)

<i>Circunferencia</i>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>Variacion 2010-2014</b>
121 - >	579	661	631	581	661	114%
111 - 120	529	521	581	531	614	116%
101 - 110	479	476	531	476	561	117%
91 - 100	431	421	476	426	501	116%
81 - 90	391	376	426	376	431	110%
71 - 80	346	326	361	316	371	107%
61 - 70	306	281	311	276	311	102%
51 - 60	236	211	241	186	236	100%
40 - 50	171	146	176	121	171	100%

Fuente: tomado de Sage (2014)

De acuerdo con Sage (2014), al comparar ingresos y costos debe hacerse mediante la actualización del flujo de fondos. El cuadro 29 muestra los valores presentes netos de los flujos de costos e ingresos esperados para turnos alternativos de corta de 13 a 20 años (valores actuales que no incluyen inflación ni deflación). Por lo anterior, la tasa de descuento debe ser también libre de efectos inflacionarios.

Cuadro 29. Edad óptima de cosecha de acuerdo con costo real del capital. Valor presente neto por hectárea (dólares).

<i>Edad de cosecha</i>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>	<b>TIR</b>
13	5.875,44	5.048,28	4.326,34	3.695,57	3.143,93	2.661,04	17%
14	10.376,85	8.920,16	7.660,67	6.570,30	5.625,18	4.805,01	20%
15	11.372,71	9.691,59	8.251,41	7.015,91	5.954,56	5.041,62	20%
16	11.732,09	9.902,63	8.349,89	7.029,97	5.906,29	4.948,30	19%
17	12.693,22	10.619,53	8.876,00	7.407,56	6.168,77	5.122,07	18%
18	12.976,28	10.748,31	8.893,05	7.345,29	6.051,78	4.968,87	18%
19	13.568,46	11.131,83	9.122,32	7.461,74	6.086,86	4.946,38	17%
20	12.447,54	10.099,66	8.181,19	6.610,22	5.321,09	4.261,09	16%

Fuente: adaptado de Sage 2014

De acuerdo con el análisis, con costos reales de capital entre 1 y 4 por ciento, la edad óptima de cosecha es de 19 años. Para costos reales de capital de 5 y 6 por ciento la edad óptima de corta es de 17 años. Sin embargo, la tasa interna real de retorno es máxima para las edades de cosecha de 14 y 15 años y, en el primer caso, coincide con la maximización del incremento medio anual, lo que nos lleva a concluir que en las condiciones de Hojancha, donde se hizo el estudio, y bajo los costos y precios de madera presentes en 2014, la edad óptima de cosecha es 14-15 años.

Al disminuir en 20% los precios de la madera cargada, se producen reducciones significativas en los valores presentes en todo el rango de resultados (cuadro 30). Sin embargo, la edad óptima de corta se mantiene igual en todo el rango de costos de capital. Lo anterior se debe a que el porcentaje de

disminución en los precios de la madera es un factor constante que afecta por igual a todos los casos o edades alternativas de corta. En general, al reducirse el precio de la madera, se reducen las tasas internas de retorno pero la mayor se mantiene en la edad de cosecha de 14 años coincidiendo también con el valor máximo del incremento medio anual.

Cuadro 30. Edad óptima de corte al disminuir 20% el valor de la madera (valor presente neto)

<i>Edad de cosecha</i>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>	<b>TIR</b>
13	5.283,71	4.518,99	3.852,23	3.270,32	2.761,99	2.317,54	16%
14	9.675,87	8.298,24	7.107,98	6.078,34	5.186,58	4.413,38	20%
15	10.794,01	9.178,59	7.795,79	6.610,50	5.593,17	4.718,90	19%
16	11.143,45	9.383,51	7.891,06	6.623,56	5.545,54	4.627,42	18%
17	12.245,75	10.222,26	8.522,46	7.092,24	5.886,92	4.869,61	18%
18	12.524,42	10.348,60	8.538,51	7.030,01	5.770,70	4.717,68	17%
19	13.191,90	10.795,84	8.821,77	7.192,26	5.844,70	4.728,31	16%
20	12.077,06	9.769,30	7.885,81	6.345,44	5.083,17	4.046,82	15%

Fuente: adaptado de Sage 2014.

Si el crecimiento de la especie se detuviera en el año 17, ya sea por mal manejo, razones climáticas o condiciones del suelo (condiciones de sitio) u otra condición natural no predecible, la edad de corta se vería afectada en forma notable (cuadro 31).

Cuadro 31. Edad optima de cosecha de acuerdo con costo real del capital. Valor presente neto por hectárea con detención del crecimiento a partir del año 17 (dólares).

<i>Edad de cosecha</i>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>6%</b>	<b>TIR</b>
13	5.875,44	5.048,28	4.326,34	3.695,57	3.143,93	2.661,04	17%
14	10.376,85	8.920,16	7.660,67	6.570,30	5.625,18	4.805,01	20%
15	11.372,71	9.691,59	8.251,41	7.015,91	5.954,56	5.041,62	20%
16	11.732,09	9.902,63	8.349,89	7.029,97	5.906,29	4.948,30	19%
17	12.693,22	10.619,53	8.876,00	7.407,56	6.168,77	5.122,07	18%
18	12.469,72	10.324,07	8.537,13	7.046,20	5.800,00	4.756,59	17%
19	12.590,59	10.320,90	8.448,60	6.901,01	5.619,34	4.555,92	16%
20	12.414,77	10.072,75	8.159,06	6.591,97	5.306,02	4.248,62	16%

Fuente: adaptado de Sage 2014.

Con costos de capital de 1% a 4% la edad óptima de corta se reduce de 19 a 17 años debido a la disminución del ingreso el no producirse crecimiento de la madera en los últimos años. Para costos de capital de 5% y 6% la edad optima se mantiene pues la disminución del ingreso en los últimos años no la afecta. Como es de esperar, la tasa interna real de retorno se reduce para las edades de cosecha de 19 y 20 años y se mantiene en su máximo valor a los 14 y 15 años.

Este hallazgo es determinante de la necesidad de monitorear continuamente el crecimiento de las especies, para no incurrir en costos de mantenimiento y de capital al detenerse el crecimiento de los árboles.

## Literatura consultada

ABOD, S.A; SIDDIQUI, M.T. 2002. Fertilizer requirements of newly planted teak (*Tectona grandis* L.f.) seedlings. *Pertanica Journal Tropical Agriculture Science* 25(2):121-129.

AGUORU, C.U.; ENEMA, O.J. 2013. Effect of pre-sowing treatments and nut orientations on emergence and seedling growth of seeds of teak tree (*Tectona grandis* L F). *Asian Journal of Science and Technology* Vol. 4, Issue 03, pp. 023-027, March 2013.

ALVARADO, A.; FALLAS, J. L. 2004. Efecto de la saturación de acidez sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L .f.) en Ultisoles de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 81-87.

ALVARADO, A.; CHAVARRIA, M.; GUERRERO, R.; BONICHE, J.; NAVARRO, J.R. 2004. Características edáficas y presencia de micorrizas en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1): 89-100.

ALVARADO, A.; RAIGOSA, J. 2007. *Nutrición y Fertilización Forestal en regiones tropicales*. San José, CR. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. 404 p.

ALVARADO B, L.M. 2011. Efecto del espaciamiento y descope en el crecimiento y calidad de plantaciones de *Tectona grandis* en la zona sur de Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Forestal. 104 p.

ALVARADO, A. 2012. Nutrición y fertilización de *Tectona grandis*. In Alvarado, A.; Raigosa, J. 2012 (eds). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas, Asociación Costarricense de la Ciencia de Suelo. pp. 317-344

ALVARADO, A.; MATA, R. 2013. Condiciones de sitio y la silvicultura de la teca. In *Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades*; De Camino, R.; Morales J.P. (eds) Memoria de la reunión técnica realizada en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica, Informe Técnico No. 397. pp 54-83

ALVARADO, A. 2013. El sitio y la silvicultura de la teca. In *memorias del curso Silvicultura para el manejo intensivo de plantaciones*. La Habana, Cuba, Dirección General Forestal, presentaciones en power point.

APARICIO, J. 2009. Efecto de cuatro técnicas de preparación del terreno en el crecimiento de *Eucalyptus grandis* en un suelo arenoso. Resultados a los 10 meses de edad. In 3<sup>er</sup> Reunión del Consorcio Forestal corrientes Centro. Santa Rosa. 20 de agosto de 2009. INTA, Corrientes, Argentina, Proyecto Regional: Transferencia y generación de tecnologías para la cadena foresto-industrial en Corrientes, Visita in situ – Bella Vista, 1 de Diciembre de 2011. pp. 30-32

APARICIO, J. L.; APARICIO, S. S.; QUINTANILLA, H. 2009. Respuesta de *Grevillea robusta* a seis técnicas de preparación del terreno y al riego en un suelo arenoso rojizo del centro de Corrientes. Presentado en el Día de Campo Forestal: *Grevillea robusta* o “roble sedoso”. Una alternativa para la Región. Mburucuyá, Corrientes. 9 de setiembre de 2010. INTA, Corrientes, Argentina, Proyecto Regional: Transferencia y generación de tecnologías para la cadena foresto-industrial en Corrientes, Visita in situ – Bella Vista, 1 de Diciembre de 2011. pp. 33-39

- APARICIO, J. L.; ROMERO, L. 2011. Respuesta de *Eucalyptus grandis* a cuatro técnicas de preparación del terreno en un suelo arenoso de hidromórfico. Resultado a los 38 meses de edad. Presentado en la 27ª Reunión del Consorcio Forestal Corrientes Centro. Santa Rosa, 16 de noviembre de 2011. INTA, Corrientes, Argentina, Proyecto Regional: Transferencia y generación de tecnologías para la cadena foresto-industrial en Corrientes, Visita in situ – Bella Vista, 1 de Diciembre de 2011. pp. 54-57
- ARGUEDAS, M.; CHAVERRI, P.; VERJANS, J.M. 2004. Problemas fitosanitarios de la teca en Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Recursos Naturales y Ambiente 2004. 6 p.
- ARGUEDAS, M. 2004. La roya de la teca *Olivea tectonae* (Rac.): consideraciones sobre su presencia en Panamá y Costa Rica. Kurú (CR) 1(1): 5 p.
- ARGUEDAS, M.; MATA, R.; HERRERA, W.; ARIAS, D.; CALVO, J.; SALAS, B. 2006. Síndrome de decaimiento lento de la teca en Costa Rica. Segunda Etapa. Informe Final. Proyecto de Investigación. VIE. Stichting Terra Vitalis. 186 p.
- ARGUEDAS, M.; MURILLO, O.; AYUSO, F.; MADRIGAL, O. 2006. Variación en la resistencia de clones de teca (*Tectona grandis* L.f.) ante la infección de la roya (*Olivea tectonae* Rac.) en Costa Rica. Kurú (CR) 2(6): 10 p.
- ARGUEDAS, M. 2007. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 77 p.
- ARGUEDAS, M. 2009. La “corona de agallas” (*Agrobacterium tumefaciens*). Kurú (CR) 6(16): 5 p.
- ARGUEDAS, M. 2011. Problemas fitosanitarios en teca (*Tectona grandis* L.f.) en América Central. In Chavarriaga, DM. (Ed.). Protección Fitosanitaria Forestal. Medellín, Colombia, Instituto Colombiano Agropecuario. Pp.147-160.
- ARGUEDAS, M.; CANNON, P.; WINGFIELD, M.; MONTENEGRO, F. 2013. Principales riesgos fitosanitarios en plantaciones de teca. In De Camino, R.; Morales J.P. (eds) Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades; Memoria de la reunión técnica realizada en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica, Informe Técnico No. 397. pp 134-155
- BALAGOPALAN, M; RUGMINI, P; CHACO, KC. 2005. Soil conditions of teak in successive rotations in Kerala State, India. In: KM Bath, KKN Nair, KV Bath, EM Muralidharam, JK Sharma (eds.). Quality timber products of teak from sustainable forest management. Proceedings of the International Conference. Peechi, India, 2-5 December 2003. pp. 173-178.
- BAUER, J. 1982. Especies con potencial para la reforestación en Honduras; resúmenes. Tegucigalpa, Honduras. COHDEFOR-CATIE 42 p.
- BETANCOURT, A. 2000. Árboles maderables exóticos de Cuba. La Habana, Cuba, Editorial Científico-Técnica. 352 p.
- BRISCOE, C.B.; NOBLES, R.W. 1969 Efectos de la poda de teca (*Tectona grandis*). Boletín Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación (Venezuela) 29:29-34
- CABRAL, P.G.C.; CAPUCHO, A.S.; PEREIRA, O.L.; MACIEL-ZAMBOLIM, E; FREITAS, R.L.; ZAMBOLIM,

L. 2010. First report of teak leaf rust disease caused by *Olivea tectonae* in Brazil. Australasian Plant Disease Notes 5(1): 113-114.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1991a. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Guía de Campo. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico. no. 4. 260 p.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1991b. Plagas y enfermedades forestales en América Central. Manual de consulta. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico. no.3. 187 p.

CIBRIAN, D.; ARGUEDAS, M. 2007. Roya de la teca *Olivea tectonae* (T.S. Ramakr. & K. Ramakr.) Thirum. (Uredinales, Chaconiaceae). In Cibrián, D. (Ed.) Enfermedades Forestales en México. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 206-207.

CARTER, C J. 1941. The formation of teak plantations in Trinidad. Caribbean Forester (Puerto Rico) 3(1):25-28

CAMARA COSTARRICENSE FORESTAL. 1996. Desde el bosque. Boletín Informativo Mensual 4(20): 6

CENTRO AGRÍCOLA CANTONAL DE HOJANCHA. 2014. Base de datos de las plantaciones de teca y melina en Hojancha. Hojancha, Costa Rica, información en bases de datos institucional.

CHAVES, E; FONSECA, W. 1991. Teca. *Tectona grandis* L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, Costa Rica. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Serie Técnica, Informe Técnico N° 179. 47 p.

CHINCHILLA, J.A. 2000. Tablas de producción de teca (*Tectona grandis*) en Costa de Marfil, África Occidental. Heredia, Costa Rica, Universidad Nacional. 7 p.

CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal). 2002. Guía forestal para teca, *Tectona grandis*. Bogotá, Colombia, Proyecto de adecuación de instrumentos financieros aplicables a plantaciones comerciales y su análisis de rentabilidad. 25 p.

DANIEL, P.W.; HELMS, U.E.; BAKER, F.S. 1975. Principles of silviculture. New York, USA, Mc-Graw Hill Book Co.

DE CAMINO, R.; van STRATEN, H.; MORALES, J. P. 2013. Modalidades utilizadas por los intermediarios para la promoción de inversiones de teca con énfasis en las formas de propiedad. In De Camino, R.; Morales J.P. (eds) Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades; Memoria de la reunión técnica realizada en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica, Informe Técnico No. 397. pp 264-293.

DRECHSEL P, S S, ZECH W. 1989. Mineral nutrition and the soil properties in young teak plantations in Benin and Liberia. Mitteilung Deutscher Bodenkundlicher Gesellschaft 59:691-696.

- DRECHSEL, P.; ZECH, W. 1994. DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L. f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on the teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management* 70: 121-133.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2005. Teak rust (*Olivea tectonae*) is spreading in America. Paris, FR, EPPO. Reporting Service No. 8. p.10.
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN). 1975. Catálogo de semillas forestales. Roma, Italia. Información sobre Recursos Genéticos Forestales No. 5. Documento ocasional forestal 1976/1
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN). 1985. Ordenación forestal en los trópicos para uso múltiple e intensivo; ejemplos de India, África, América Latina y El Caribe. Roma, Italia, Cuaderno FAO Montes No. 55 180 p.
- FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN). 2002. Teak (*Tectona grandis*) in Central America by R.V De Camino, M.M. Alfaro and L.F.M. Forest Plantation Working Papers, Working Paper 19. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO, Rome (unpublished).
- FALLAS Z, J. L. 2014. Respuesta a la fertilización de la teca (*Tectona grandis* L.f.) con NPK en ultisoles de la zona norte de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 64 p.
- FERNANDEZ MOYA, J; MURILLO, R.; PORTUGUEZ, E; FALLAS, J.L.; RIOS, V.; KOTTMAN, F.; VERJANS, J.M.; MATA, R.; ALVARADO, A. 2013. Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America. *Forest Systems* 2013 22(1), 123-133
- FIGUEREIDO, E.O.; DE OLIVEIRA, L.C.; BARBOSA F, L.K. 2005. Teca (*Tectona grandis* L. f.): Principais perguntas do futuro empreendedor florestal. Rio Branco, Brasil. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria. Documentos 97. 89 p.
- FLINTA, M.C. 1960. Prácticas de plantación forestal en América Latina. FAO. Montes. No. 13. FAO. Cuadernos de Fomento Forestal No. 15. 499 p.
- FLORES, T. 2005. Diagnóstico fitosanitario en bosques implantados de *Tectona grandis* (Teca) en la zona de Balzar, Provincia de Guayas. Tesis Ing. Forestal. Quevedo, EC, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. 79 p.
- FLORES, T.; CRESPO, R.; CABEZA, F. 2010. Plagas y enfermedades en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f) en la zona de Balzar, provincia del Guayas. *Ciencia y Tecnología* 3(1): 15-22.
- FONSECA G, W. 2000. La aplicación de fertilizantes químicos en *Tectona grandis* Linn. f. en Guanacaste, Costa Rica. In: Consejo Nacional de Rectores, Oficina de Planificación de la Educación Superior. Taller de Nutrición Forestal. San José, Costa Rica. pp. 39-44.
- FONSECA G, W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f.) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. snt. 121 p.

- FRANCIS, J.K.; LOWE, C.A. (eds) 2000. Silvics of native and exotic trees of Puerto Rico and the Caribbean Islands. Río Piedras, Puerto Rico, US Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. 562 p.
- GANGOPADHYAY SK; NATH S; BANERJEE SK. 1987. Nature and properties of some introduced teak (*Tectona grandis*) growing soils of north-west Bengal. Indian Forester 113(1):65-72.
- HASE, H; FÖLSTER, H. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in west Venezuela. Forest Ecology and Management 6:33-57
- HAWLEY, R.C; SMITH, D.M. 1972 Silvicultura práctica. Barcelona, España; Ediciones Omega
- HERNÁNDEZ, A; FRANCO, H; ZAMBRANA, H; GARCÍA, C. 1990. Fertilización de *Tectona grandis* L.f. en la región occidental de El Salvador. San Salvador, ESV. Centro de Recursos Naturales. CATIE-Madeleña. s/p
- HERNÁNDEZ, R; TORRES, A; MÁRQUEZ, O; FRANCO, W. 1993. Contenido foliar de nutrimentos y Crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, Ven. Turrialba 34(1):11-15.
- HUBERT, M.; COURRAUD, R. 1989. Poda y formación de los árboles forestales. Madrid, España, Mundi Press. 300 p.
- IYPPU, A.J.; CHANDRASEKHARAN, C. 1961. Thinnings in teak. In Proceedeing of the 10<sup>th</sup> Silvicultural Conference, Dehra Dun, India. Pp 725-730
- KADAMBI, K. 1972. Silviculture and management of teak. Nacogdoches, Texas, Stephen F. Austin State University. Bulletin 24. 136 p.
- KEOGH, R.M. 1981a. Teca (*Tectona grandis* L.f.); Procedencias del Caribe, América Central, Venezuela y Colombia. Trad. JL Whitmore. Río Piedras, Puerto Rico, IUFRO/MAB/Servicio Forestal. p 356-372.
- KISHORE N. 1987. Preliminary studies on the effect of phosphatic fertilizers on teak plantation. Indian Forester 113(6):391-394.
- KJÆR, E.D.; GRAUDAL, L.; DITLEVSEN, B.; HANSEN, J.K. 2011. Choice of quality planting stock of teak: The question of a “genetic business plan”. In Report on the International Training Programme on teak “Innovations in the Management of Planted Teak Forests”. Kerala, India. Kerala Forest Research Institute, Peechi, 31 August - 3 September 2011. pp. 15-17
- KOLLERT, W.; CHERUBINI, L. 2012. Teak resources and market assessment 2010. FAO Planted Forests and Trees Working Paper FP/47/E, Rome. Available at <http://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>
- KOPPAD, A.G., RAO, R.V. 2005. Effect of moisture conservation methods and fertilizers on nutrient uptake in two-year-old teak (*Tectona grandis* L.f.) plantation. In K.M. Bath, K.K.N. Nair, K.V. Bath, E.M.
- KEOGH, R.M. 1987. The care and management of teak (*Tectona grandis* L.F.) plantations. Heredia, Costa Rica, UNA, Escuela de Ciencias Forestales. 48 p.
- KRISSHNAPILLAY B. 2000. Silviculture and management of teak plantations. Unasyuva 51(201): 14-21

- KUMAR BM. 2005. Sustainable teak plantations in the tropics: the question of nutrient management. *In*: KM Bath, KKN Nair, KV Bath, EM Muralidharam, JK Sharma (eds.). Quality timber products of teak from sustainable forest management. Proceedings of the International Conference. Peechi, India, 2-5 December 2003. pp. 179-186.
- KUMAR P. 2009. Nutrient dynamics of teak plantations and their impact on soil productivity: a case study from India. *In*: XIII World Forest Congress. Buenos Aires, Argentina 11 p.
- LADRACH, W.E. 2005. Situación forestal mundial y sus perspectivas. *In* Reforestación: Conferencias de William E Ladrach. Bogotá, Colombia, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, abril 5 y 6, 2005. 49 p.
- LADRACH, W. E. 2009. Manejo de plantaciones de teca para productos sólidos. Maryland, USA. ISTF. 27 p.
- LADRACH, W.E. 2010. Manejo práctico de plantaciones forestales en el trópico y subtrópico. San José, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 660 p.
- LAMPRECHT, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Eschborn, Alemania, GTZ. Traducido por A. Carrillo. 335 p.
- LUJAN F., R.; HERRERA, C.; DIPIERI, D. 2013. Plantaciones de teca en Panamá. *In* De Camino, R.; Morales J.P. (eds) Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades; Memoria de la reunión técnica realizada en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica, Informe Técnico No. 397. pp 362-380
- MAHAPOL, S. 1954. Teak in Thailand. Thailand. Ministry of Agriculture. Royal Forestry Department No. R.16 30p.
- MAITRE, H.F. 1983. Table de production provisoire du teck (*Tectona grandis*) en Côte d'Ivoire. Abidjan, Côte d'Ivoire, Centre Technique Forestier Tropical.
- MARTINEZ H., H. 1981. Evaluación de ensayos de especies forestales en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE 172 p.
- MARTINEZ H., H. A. 2014. Influencia de la posición topográfica y la altura sobre el crecimiento de teca (*Tectona grandis* L.f) en Hojancha, Costa Rica. 34 p.
- MASILAMANI, P.P. 1996. Improving the quality of Teak germination. Tamil Nadu, India, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore. sp.
- MASILAMANI, P.; DHARMALINGAM C. (1997). An innovative method for early and enhanced germination of Teak (*Tectona grandis* Linn. f) drupes. *IN*: Proc. IUFRO Symposium on Innovations in Forest Tree Seed Science and Nursery Technology. Raipur, India. pp. 177.
- MATTHEWS, J.D. 1989. Silvicultural systems. Oxford, England. Clarendon Press. Oxford Science Publications. 284 p.
- MCLINTOCK, T.F.; BICKFORD C.A. 1957. A proposed site index for red spruce in the Northeast. U.S: Forest Service Northeastern Experimental Station Paper 93

- MOLLINEDO, M. 2003. Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L. f.), en la zona oeste, Cuenca del canal de Panamá. Tesis MSc., Turrialba, CR. CATIE. 93 p.
- MOLLINEDO, M.S., UGALDE, L., ALVARADO, A., VERJANS, J.M., RUDY L.C. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la zona oeste de la cuenca del Canal de Panamá. *Agronomía Costarricense* 29(1): 67-75.
- MONTENEGRO, F; KOTMAN, F; DE CAMINO, R. 2013. Tecnologías disponibles para el cultivo de teca. In De Camino, R.; Morales J.P. (eds) *Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades; Memoria de la reunión técnica realizada en Turrialba, Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica, Informe Técnico No. 397. pp 43-52
- MONTERO, M. 1995. Dinámica de crecimiento de teca (*Tectona grandis*) bajo fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera, Panamá. *In: Memorias del Seminario Técnico sobre Fertilización Forestal realizado en Santiago, Veraguas, Panamá*. CATIE/ INRENARE. pp. 17-29
- MONTERO, M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis de Maestría. Universidad Austral de Chile, Valdivia/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111 p
- MONTEUUIS, O.; GOH, D.S. 1999. About the use of clones in teak. *BOIS ET FORÊTS DES TROPIQUES*, 1999, N° 261 (3).
- MONTEUUIS, O. sf. Rationale for developing teak clonal plantations. CIRAD Forestry Department. Power Point Presentation. Disponible en [http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista\\_Kuru/anteriores/anterior6/pdf/actualidad3.pdf](http://www.tec.ac.cr/sitios/Docencia/forestal/Revista_Kuru/anteriores/anterior6/pdf/actualidad3.pdf)
- MOTHES, M; CUEVAS, E; FRANCO, W. 1991. Limitación nutricional por fósforo en plantaciones de teca (*Tectona grandis*), en los llanos Occidentales venezolanos. *Revista Facultad Agronomía (Maracay)* 7:309-315.
- MOYA R., R.; ARCE L., V. 2006. Estudio del efecto del espaciamiento sobre el peso específico básico y contracciones en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) de 10 años en Guanacaste, Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal (Costa Rica)* 3(7), 2006.
- MURALIDHARAM K; SHARMA, J.K. (eds.). 2011. The international conference on quality timber products of teak from sustainable forest management. Peechi, Kerala Forest Research Institute. Kerala, India. pp 206-211.
- NWOBOSHI, L.C. 1975. Macronutrient deficiency symptoms in teak (*Tectona grandis* L.f.) Dept. of Forest Resources Management. University of Ibadan Bulletin No 6. 12 p.
- ONF (Oficina Nacional Forestal). 2009. Guía del productor para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales. San José, Costa Rica, Oficina Nacional Forestal; Sistema Nacional de Áreas de Conservación. 1ª edición; Comunicaciones Milenio, 2009. 32 p.
- PANDLEY, D & BROWN, C. 2000. La teca, una vision global. *Unasyuva* Vol. 51 N°. 201 (2000/2) 12 p.

- PARRY, M.S. 1957. Métodos de plantación de bosques en África Tropical. Roma, Italia. FAO, Cuadernos de Fomento Forestal No. 8 334 p.
- PATEL, V.J. 1991. Teak cultivation at Jivrajbhai Patel agroforestry center. *In*: SC Basha, C Mohanan, S Sankar (eds.) Teak: Proceedings of the international teak symposium, Thiruvananthapuram, Kerala, India. Kerala, India. Kerala Forest Department and Kerala Forest Research Institute. pp. 15-19.
- PÉREZ, D. 2005. Stand growth scenarios for *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Disertaciones Forestales I*. 77 p.
- PÉREZ, M.; LÓPEZ, M.O.; MARTI, O. 2008. *Olivea tectonae*, leaf rust of teak, occurs in Cuba. *New Disease Reports*. 17: 32.
- PFLUGHELL, E. 1960. Proposed site indices for Englemann spruce on the College Forest of the Utah State University. M.S. thesis, Utah State University
- POELS, R.L.H. 1994. Nutrient balance studies to determine the sustainability of management systems of natural and plantation forests in Costa Rica. CATIE/AUW/MAG. The Atlantic Zone Programme, Phase 2. 36 p. Report, Nº 82.
- PRASAD, R.; SAH, A. K; BHANDARI, A. S. 1986. Fertilizer trial in ten and twenty years old teak plantations in Nadhya Pradesh. *Journal of Tropical Forestry* 2(1):47-52.
- PRASANTH, R.H.; NAIK, S.T. 2010. Diversity of fungi in different teak ecosystems. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 23(2): 394-396
- RAIGOSA J; UGALDE L. A.; ALVARADO A. 1995. Respuesta inicial de la teca (*Tectona grandis*) a la Fertilización con estiércol, ceniza, KCl y NPK en Guanacaste, Costa Rica. *In*: Memorias del Seminario Técnico sobre Fertilización Forestal realizado en Santiago, Veraguas, Panamá. CATIE/INRENARE. pp. 37-46.
- SAGE, L.F.; KENT, J.; MORALES, J.C. 2013. Rentabilidad de las inversiones de teca. *In* De Camino, R.; Morales J.P. (eds) Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades; Memoria de la reunión técnica realizada en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica, Informe Técnico No. 397. pp 202-223
- SAGE, L.F. 2014. Determinación de la edad óptima de cosecha para los pequeños productores de Hojanca. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). Informe de consultoría. 24 p.
- SAUTUNCE C., P.; DIAZ C., D.; GARCIA C., L. 2009 Efecto de la densidad de plantación en el crecimiento de cuatro especies forestales tropicales. *Ciencia y Tecnología* 3(1): 23-26. 2010.
- SCHUBERT, T. H.; FRANCIS, J.K. 2008. *Tectona grandis* L. f. *In* USDA FS Agriculture Handbook 727 - The Woody Plant Seed Manual, a handbook on seeds of trees and shrubs.
- SHARMA, J.K.; MOHANAN, C.; FLORENCE, E.J.M. 1985. Disease survey in nurseries and plantations of forest tree species grown en Kerala, India. *Kerala Forest Res. Inst.* 275 p.

- SINGH M. 1997. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium and soil working on the growth of teak plants. In: S Chand-Basha, C Mohaman, S Sankar. (eds.) Teak. Kerala Forest Department & Kerala Forest Research Institute, Peechi, Kerala, India. pp. 43-45. (<http://teaknet.org/node/525>)
- SUNDRALINGAM, P. 1982. Some preliminary studies on the fertilizer requirements of teak. The Malaysian Forester 45(3):361-366.
- SUBRAMANIAN, K; MANDAL, A.K; RAMBABU, N; CHUNDAMANNIL, M; NAGARAJAN, B. 1999. Site technology and productivity of teak plantations in India. Ponencia presentada en el seminario regional Site, Technology and Productivity of Teak Plantations, 26-29 de enero de 1999, Chiang Mai, Tailandia.
- STREETS, R.J. 1962. Exotic trees of the British Commonwealth. Oxford, UK. Clarendon Press. pp. 712-725
- TEWARI, D. 1999. A monograph on teak (*Tectona grandis* Linn.f.). Dehra Dun, India. International Book Distributors. 479 p. (<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IisScript=orton.xis&B1=Buscar&formato=1&cantidad=50&expresion=TECK>)
- THIELE, H. 2008. Variables edáficas que afectan el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en la vertiente pacífica de Costa Rica. Tesis maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 184 p.
- TORRES, S; MARQUEZ, O; HERNANDEZ, R; FRANCO, W. 1993. Respuesta inicial de crecimiento a la fosforita en teca en los Llanos Occidentales de Venezuela. Turrialba 43(2):113-118.
- TORRES, D.A. 2004. Modelación del crecimiento y producción en volumen y biomasa de la teca. Tesis. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. 51 p.
- TROUP, R.S. 1921. The silviculture of Indian trees. Oxford, UK, Oxford University Press. Vol 2, leguminosae (Caesalpinieae) to Verbenaceae. 778 p.
- UGALDE, L; PÉREZ, O. 2001. Mean Annual Volume Increment of Selected Industrial Forest Plantation Species. Forest Plantations Thematic Papers. Rome, Italy, FAO. (Working Paper FP/1).
- UGALDE, L. 2013. Teak new trends in silviculture, commercialization and wood utilization. San José, Costa Rica, International Forestry and Agroforestry. 552 p.
- VALLEJO, A.; AVENDAÑO, J. 2013. Modelos de crecimiento y rendimiento. In De Camino, R.; Morales J.P. (eds) Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades; Memoria de la reunión técnica realizada en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica, Informe Técnico No. 397. pp 114-132
- VALLEJOS, B.O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, Edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L.f., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- VIMAL M; SUDHAKARA K; JAYARAMAN K, SUNANDA C. 2005. Effect of soil-leaf nutritional factor on the productivity of teak (*Tectona grandis* L.f.) in Kerala State, India. In: KM Bhat, KKN Nair, KV Bath, EM Muralidharam, JK Sharma (eds). Quality timber products of teak from sustainable forest management. Peechi, India. Kerala Forest Research Institute/International Tropical Timber Organization. pp. 530-539.

WAGENINGEN UNIVERSITY. SF. Tree fact sheet: *Tectona grandis* L. Wageningen, Holanda, Forest Ecology and Forest Management Group. 2 p.

WEAVER, P.I. 1993. *Tectona Grandis* L. f. Teak. Verbenaceae. Verbena family. USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry; 18 p. (SO-ITF-SM; 64).

WEBB DB, WOOD PJ, SMITH JP, HENMAN GS. 1984. A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. Trop. For. Pap. 15. Oxford, UK: Oxford University, Commonwealth Forestry institute, Unit of Tropical Silviculture. 256 p.

WELLENDORF, H; KAOSA-ARD, A. 1988. Teak improvement strategy in Thailand. T.H. Forest Tree Improvement 21 (Technical Note No. 33). 43 p.

WHITE, K. J. 1991. Teak: Some aspects of research and development. FAO Regional Office for Asia and the Pacific (RAFA). Bangkok.

WINTERS, R.K. 1977. Editd addendum No.1. Terminology of forest sicence, technology, practice and products. (F.C. Ford-Robertson ed. IUFRO/Society of American Foresters, Washington, D.C.

## **Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas dentro de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”**

### **1. Antecedentes**

El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), es el responsable legal del financiamiento del sector forestal costarricense. Esta labor la realiza a través de dos modalidades a saber: pago por servicios ambientales y el crédito dirigido a pequeños y medianos productores. De acuerdo con los Términos de Referencia (TdR)<sup>7</sup> el FONAFIFO es el punto focal del REDD + y responsable de la ejecución de tareas del Readiness Plan (RP); se ha definido como una de las acciones estratégicas para REDD+, el aumento de la producción y consumo sostenible de madera, como una forma, entre varias, de aumentar la cobertura forestal, reducir el peligro de deforestación en el mediano plazo y aumentar la fijación y almacenamiento de carbono.

Por su lado, la Oficina Nacional Forestal (ONF), ente público no estatal creado por la Ley Forestal N° 7575 para promover el desarrollo forestal del país, está constituida por 40 organizaciones de pequeños y medianos productores, industriales y comerciantes de la madera, grupos ecologistas, artesanos y productores de muebles.

Las dos instituciones han aunado sus esfuerzos para la ejecución de las tareas del RP y dentro de éste, la consultoría orientada a identificar los aspectos relevantes para estimular la reforestación comercial, ya sea mediante el empleo de prácticas tradicionales o el uso de sistemas agroforestales (SAF), incluyendo los sistemas silvopastoriles (SSP) para aumentar la producción de madera y por tanto la captura de carbono, necesario para la formación y acumulación de madera. Como resultado de la consultoría indicada, la estrategia REDD+ financiaría la ejecución de un proyecto coordinado por FONAFIFO y dirigido por la Oficina Nacional Forestal, (ONF) para el **“Fomento de la Reforestación comercial para la mejora y conservación de las Reservas de carbono”**, como parte de la estrategia para aumentar los acervos de carbono, una acción estratégica de REDD+.

### **Objetivos**

De acuerdo con los TdR, la consultoría tiene como objetivo general “Mejorar las condiciones para el fomento de la reforestación comercial, los sistemas agroforestales y silvopastoriles para aumentar los acervos de carbono”, lo cual implica conocer las motivaciones de los productores actuales y potenciales para el establecimiento y manejo de plantaciones, utilizando diferentes métodos de plantación, incluyendo los sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Los objetivos específicos son:

- Estimar las existencias de plantaciones forestales, identificando las barreras que desalientan la actividad.
- Desarrollar paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades.

---

<sup>7</sup> FONAFIFO/FCPF/Donación TF012692. 2014. Términos de referencia para la contratación de la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, San José, Costa Rica, FONAFIFO. 7 p.

- Promover el establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera para usos de larga duración.

Dentro del objetivo dirigido al desarrollo de paquetes tecnológicos, una de las tareas de la consultoría es la elaboración de un mapa de áreas potenciales para el cultivo de madera, para lo que se han planteado las siguientes tareas:

- a. Recopilar información cartográfica: suelos y fertilidad, lluvias y duración de sequía, uso actual y potencial, infraestructura, desarrollo social y desarrollo humano, PEA y disponibilidad de PEA;
- b. Elaborar diferentes capas con información cartográfica a escala 1:200.000 para obtener zonificación para las especies seleccionadas;
- c. Elaborar los mapas escala 1:200.000 con la zonificación para especies priorizadas

Una tarea previa a la elaboración del mapa fue el análisis de las especies utilizadas para proyectos de reforestación en Costa Rica. Se elaboró el documento “Preselección de especies en la consultoría “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”, que hizo el análisis de las principales especies utilizadas en el país para los diferentes proyectos de reforestación, desde los de carácter industrial (de tamaño grande y especies con mercado relativamente establecido) hasta pequeños proyectos familiares; el análisis incluyó los proyectos financiados tanto por la iniciativa privada, como aquellos que han contado con el pago por servicios ambientales por parte del FONAFIFO, o con financiamiento mixto.

Paralelo a la preselección de las especies se inició un estudio para evaluar la disponibilidad de madera en las plantaciones forestales establecidas hasta la fecha, mediante un muestreo de campo.

Un segundo análisis previo a la elaboración del mapa fue la determinación de las barreras para el establecimiento de plantaciones y reforestación a nivel nacional, dando como resultado el documento “Barreras que desalientan el cultivo de madera”.

Un tercer nivel de análisis fue una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre las especies seleccionadas por el Comité Evaluador del Proyecto, tanto en el ámbito nacional como a nivel externo.

Con la información aportada por estas etapas previas, se seleccionaron los principales indicadores para las especies, que permitieran priorizar áreas para el establecimiento de plantaciones (comerciales, sistemas agroforestales y silvopastoriles). Los indicadores seleccionados fueron: precipitación, distribución de las lluvias y duración de la época seca, temperaturas medias (incluyendo los extremos máximos y mínimos), suelos (órdenes y subórdenes), uso actual (distribución de cobertura vegetal), excluyendo las áreas con bosques, áreas protegidas y otras áreas con bosque; no fue posible obtener información cartográfica de la tenencia (catastro); con la información se espera disponer de un mapa preliminar del área potencia para cada una de las especies seleccionadas (5 mapas a escala 1:200.000), los cuales, complementados con la información en paquetes tecnológicos diseñados para cada una de las especies, permitirían tomar decisiones respecto a la factibilidad de una especie en un sitio determinado. El trabajo de análisis cartográfico fue realizado con el apoyo del Ingeniero Freddy Argotty, consultor privado.

## Metodología

Para alcanzar los objetivos propuestos en la consultoría, fue necesario diseñar un modelo de pesos ponderados el cual permite desarrollar un análisis multicriterio entre varios rasters. Análisis de este tipo generan resultados más robustos puesto que permiten darle mayor importancia a variables de significativa importancia que definen el establecimiento de las especies.

Se trabajó con ocho variables (altitud, pendiente, capacidad de uso, temperatura, precipitación, pH, suborden de suelos y meses secos). Todas las capas vectoriales se convirtieron en rasters manteniendo un marco de trabajo similar en todas las capas<sup>8</sup>. La resolución espacial fue seleccionada de acuerdo al raster con resolución más fina (altitud: 30 m).

### 1. Capa de información: Altitud

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM V2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model).

Descripción: La información fue obtenida a partir del modelo de elevación digital (DEM), de 30 metros de resolución espacial actualizado a 2011. Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y se proyectó a coordenadas CRTM05. Datos de elevación faltantes fueron calculados a partir de interpolación espacial zonal.

### 2. Capa de información: Pendiente

Formato: Grid

Fuente: ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model)

Descripción: A partir del DEM y bajo la herramienta “*slope*” del analista espacial de ArcGis fue generada esta capa para Costa Rica. Se determinó como unidad de medida de salida el porcentaje de pendiente.

### 3. Capa de información: Capacidad de Uso del Suelo 2004

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Se hizo una revisión de las categorías de capacidad de uso de suelo para Costa Rica. Las categorías VII y VIII se consideraron como limitante para el establecimiento de plantaciones puesto que se caracterizan por ser tierras que no reúnen las condiciones mínimas requeridas para cultivo o pastoreo, y solo se pueden utilizar en protección total. En esta capa existe el parámetro de áreas protegidas el cual fue restringido en el modelo. Esta información ha cambiado respecto a su distribución en el país, por lo que análisis posteriores permitirán extraer información más actualizada.

### 4. Capa de información: Temperatura

Formato: shape

---

<sup>8</sup> Un marco de trabajo en común es jerárquicamente significativo cuando se trabaja con rasters provenientes de diferentes fuentes y escalas, siendo a menudo prerrequisito para mejorar tareas de geo-procesamiento

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 5. Capa de información: Precipitación

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2014 (IMN: Instituto Meteorológico Nacional) Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo como isoyetas, pero bajo el proyecto TERRA la precipitación se separa y es transformada a formato shape (polígonos).

#### 6. Capa de información: pH

Formato: shape

Fuente: Harmonized World Soil Database V1.0

Descripción: el HWSD es un raster (30 arc-segundo) con cerca de 15000 diferentes unidades de mapeo de suelo que combina información actualizada a nivel regional y nacional y a escala 1:5000000. Las fuentes de esta capa son SOTER, ESD, Soil Map of China, ISRIC-WISE, FAO/UNESCO Soil Map of the World (FAO, 1971-1981). Los datos fuente fueron recortados a nivel de país y proyectados a coordenadas CRTM05.

#### 7. Capa de información: Mapa digital de suelos de Costa Rica 2013

Formato: shape

Fuente: CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas)

Descripción: en 2009 empieza el cambio de información de suelos de formato analógico al digital y en 2013 se lanza el mapa de órdenes y subórdenes de suelos de Costa Rica a escala 1:200000, el cual cuenta con una base de dato de 450 perfiles de suelo.

#### 8. Capa de información: Meses secos

Formato: shape

Fuente: Proyecto Atlas Digital de Costa Rica 2008

Descripción: Originalmente se encuentra en formato ArcInfo, pero bajo el proyecto TERRA el número de meses secos para Costa Rica se separa y transforma a formato shape.

Fue necesario reclasificar todas las variables convirtiendo la información en datos “enteros”.

Para determinar el número de clases, se optó por conservar la información fuente, esto debido principalmente a que se quiso mantener las características de las capas originales bajo la resolución más fina (30 m).

Bajo parámetros técnicos, se asignó a cada variable y para cada especie diferentes pesos de acuerdo a su importancia relativa usando una escala común<sup>9</sup> (cuadro 1).

Para mejorar la distribución de la condición bajo la cual se establecen las especies, además de incluir las ocho variables y sus pesos de acuerdo a su importancia relativa, se determinó tres escenarios bajo los

---

<sup>9</sup> Según las características ecológicas y rangos de ocupación de cada especie

cuales se desarrollarían las especies (optimo, medio y deficitario) (Anexo 1). Cabe aclarar que los pesos para los tres escenarios se mantienen.

Cuadro 1. Pesos de acuerdo a la importancia relativa de las variables para teca.

Especie	Variable	Peso
Tectona grandis	Altitud	20
	Meses secos	15
	pH	13
	Sub orden de suelos	12
	Pendiente	11
	Capacidad de uso	11
	Precipitación media anual	10
	Temperatura media anual	8
Total		100

La selección de la mejor condición para Teca (*Tectona grandis*) se visualiza para cada variable de acuerdo a la figura 1. Cabe aclarar que las áreas seleccionadas para reforestación con teca, no pueden sustituir áreas cubiertas con bosques (primarios o secundarios), así como tampoco estarán en áreas protegidas, razón por la cual este informe preliminar es una orientación de las áreas potenciales y a partir de un análisis posterior se permitirá conocer y seleccionar las áreas efectivas que representen la condición respectiva para cada especie.

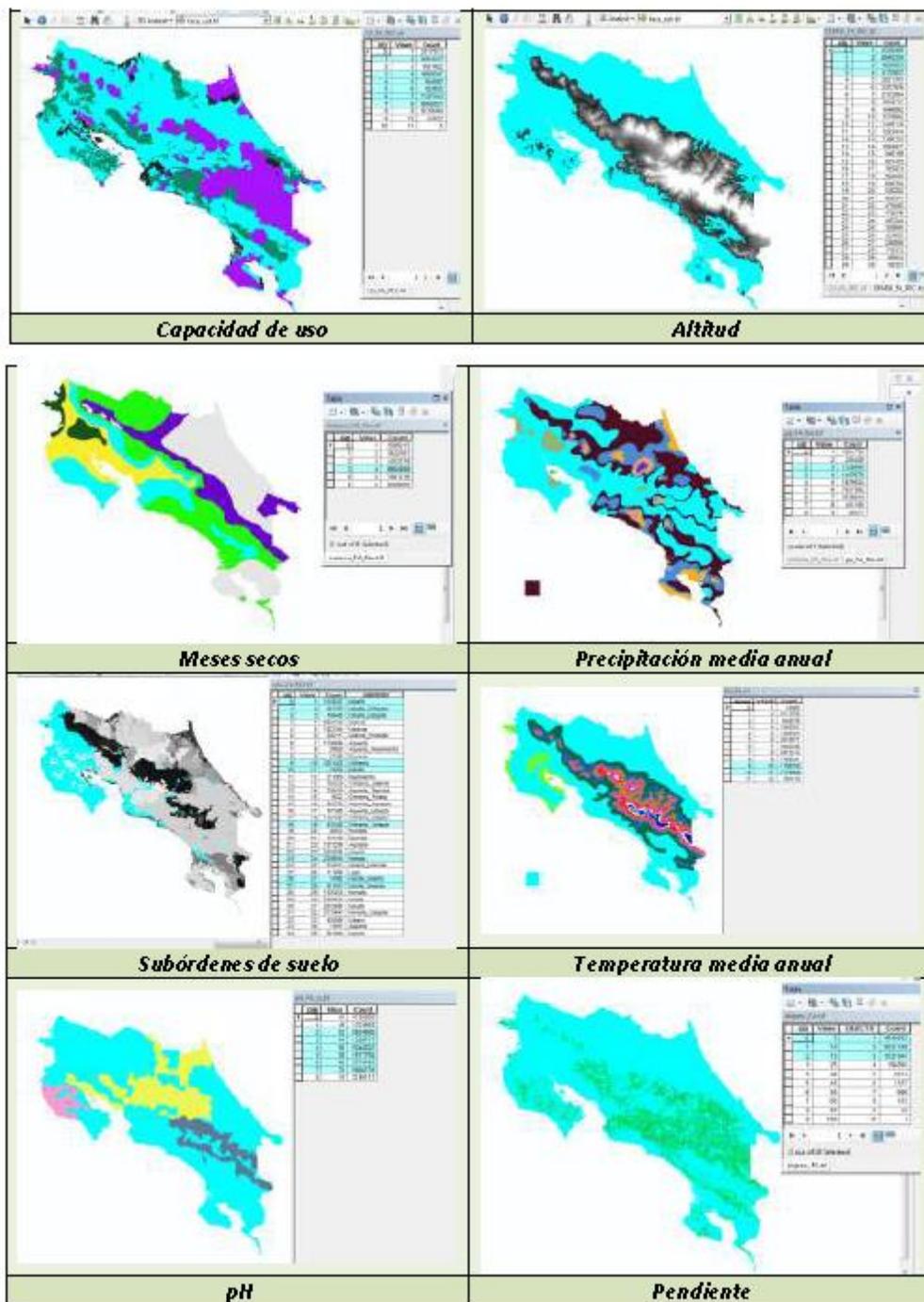


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Optima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica																					
Condición		Optimista						Medio						Defidatario							
Especie	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Teca	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24
Melina	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs, Humulfs	6,0-6,5	<25%	<500	2000-2500	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs	5,5-5,9	25%-30%	<600	1000-4000	4-6	22-32	sin restricción	<5,5	30-35	>600 hasta 800	<1000 o >4000	<2 o >5	<23
Pino	sin restricción	5,0-6,5	<30%	<500	1000-2000	4	24-30	sin restricción	4,0-6,5	<35%	<800	1000-3200	2-6	22-30	sin restricción	<4,0	>35%	>800 hasta 1000	<1000 o >3200	>6	<22
Eucalipto	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,0-6,5	<25%	<600	1000-2500	1-3	22-30	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,8-6,5	25%-30%	500-800	1500-3000	1-3	22-32	sin restricción	<4,8	30-35	<1000	<1500 o >3000	>4	<22
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs, Humulfs	>5,2	<25	<600	1200-1800	2-4	22-28	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs	5,0-6,2	25%-30%	400-800	1800-2500	3-4	20-30	sin restricción	<5,0	30%-35%	<1000	<1200 o >2500	>4	<20