



**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

Acrónimos	ii
Resumen ejecutivo	1
1. Antecedentes	3
1.1 Marco de referencia	3
1.2 ¿Por qué teca?.....	4
2. Requerimientos biofísicos	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
3. Reproducción y producción en vivero	8
3.1 Reproducción por semillas y otras formas.....	8
3.2 Fertilización y controles químicos.....	10
4. Establecimiento	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
5. Manejo.....	31
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
Literatura consultada	57
Anexo 1. Metodología para elaboración del mapa de Áreas Potenciales para Especies Seleccionadas	67

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⁻¹ 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⁻¹ 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 especies¹ y entre ellas se seleccionó *Tectona grandis* L. F. (teca).

¹ 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 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 13º C y 35º C, con temperatura media de 24º C (Mahapol 1954), con una variación entre 20º C y 28º C en Asia (Mahapol 1954; Pandley y Brown 2000); en América Central entre 24º C y 29º C (CATIE 1986). En Costa Rica, un estudio reciente (Martinez 2014) muestra que crece bien en sitios con temperaturas entre 24º C y 28º C.

Según Troup (1921) Mahapol (1954) y Weaver (1993), en la India teca tolera temperaturas entre 2º C y 48º C (36º F a 118º F); de acuerdo con Fonseca (2004) en la India teca crece en lugares con temperaturas entre 13º C y 40º 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 ³ ha ⁻¹	P ppm	K ---	Ca cmol L ⁻¹	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.

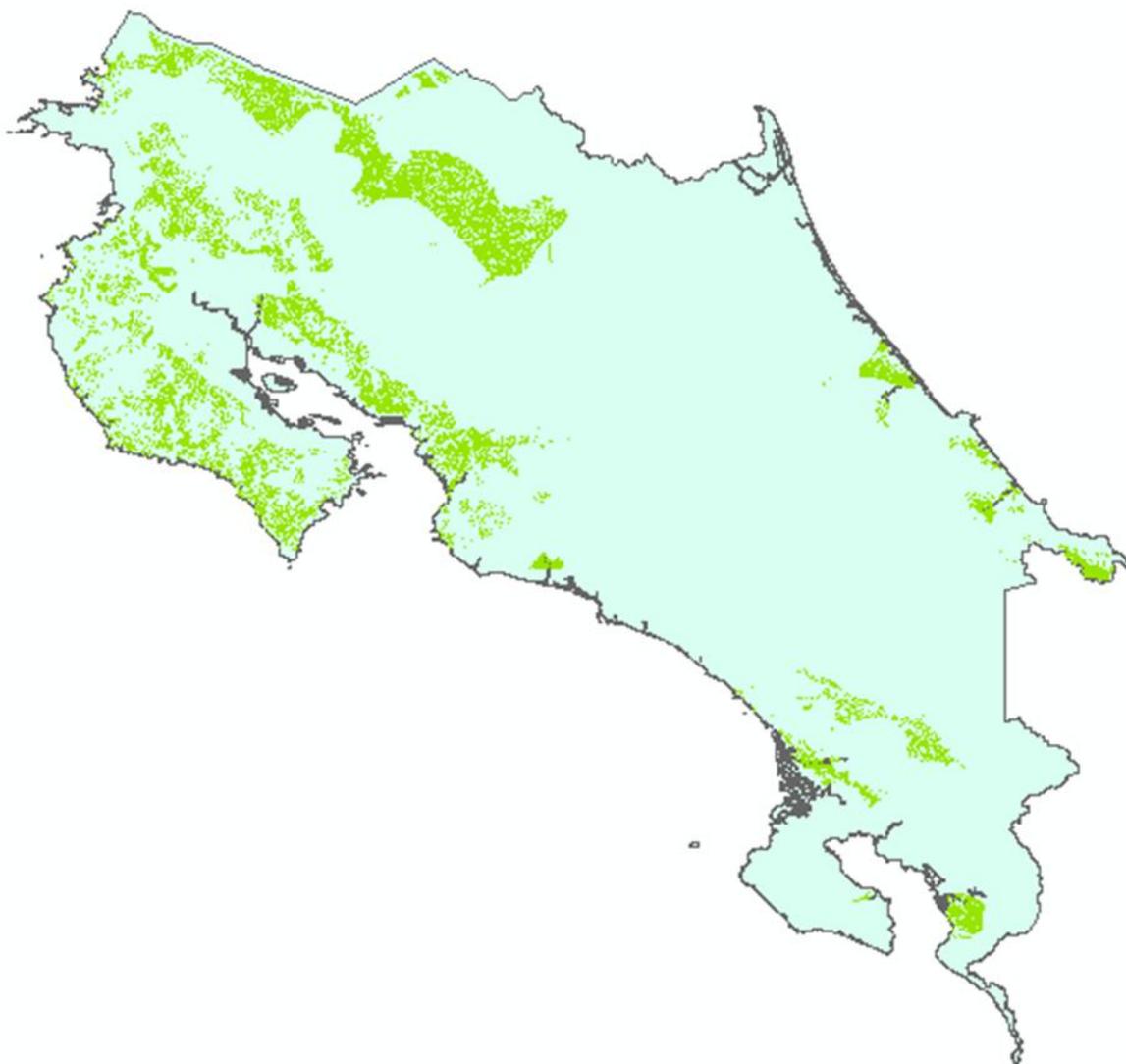
Cuadro 2. Características de sitios para tres condiciones de crecimiento de teca

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 (30° 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”² 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.

² 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 ²)	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).

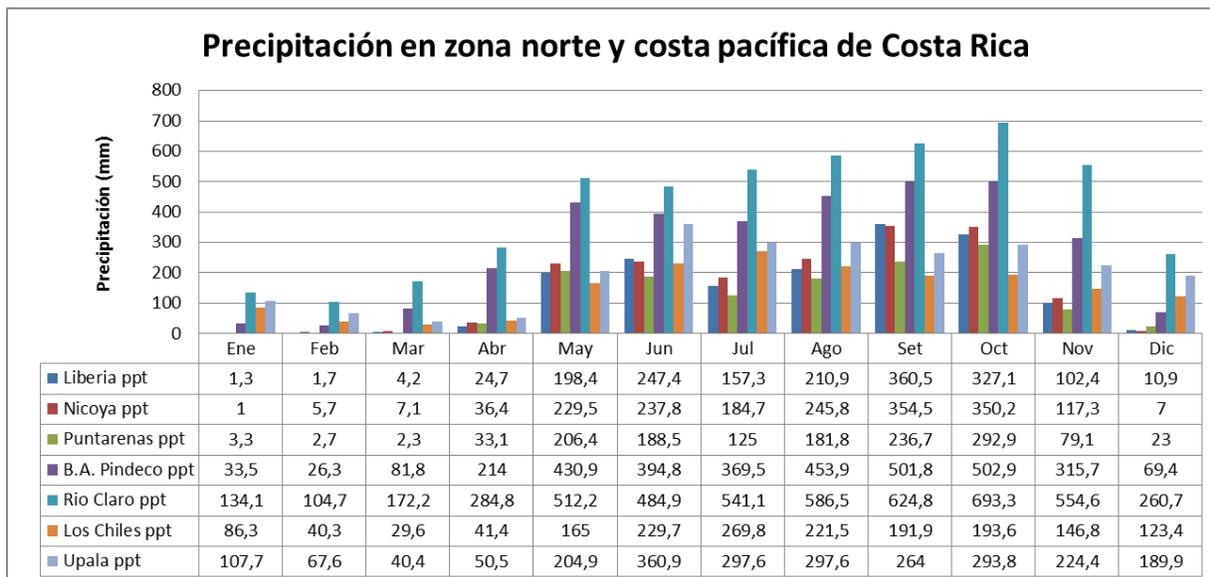


Figura 1. Distribución de la precipitación en zona norte y costa pacífica de Costa Rica.

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

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.

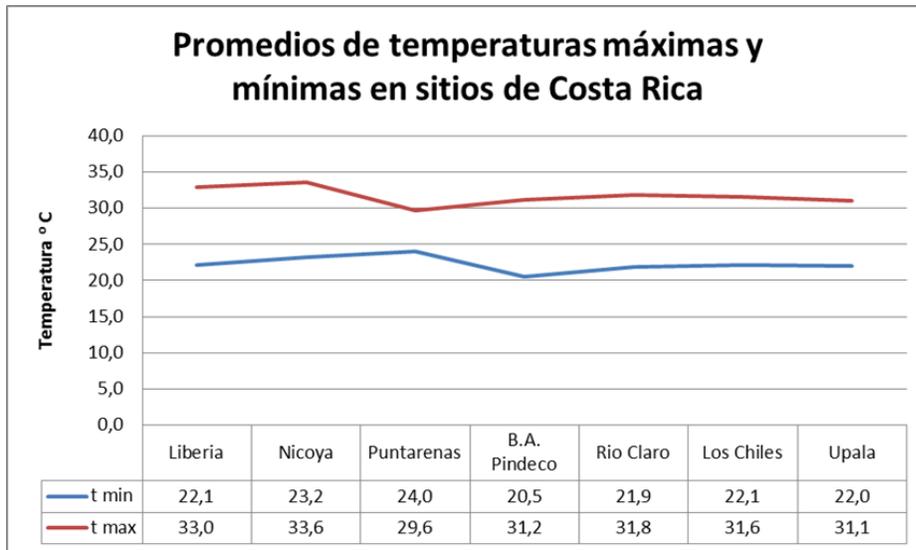


Figura 2. Promedio de temperaturas máximas y mínimas en zona norte y costa pacífica de Costa Rica.

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

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.

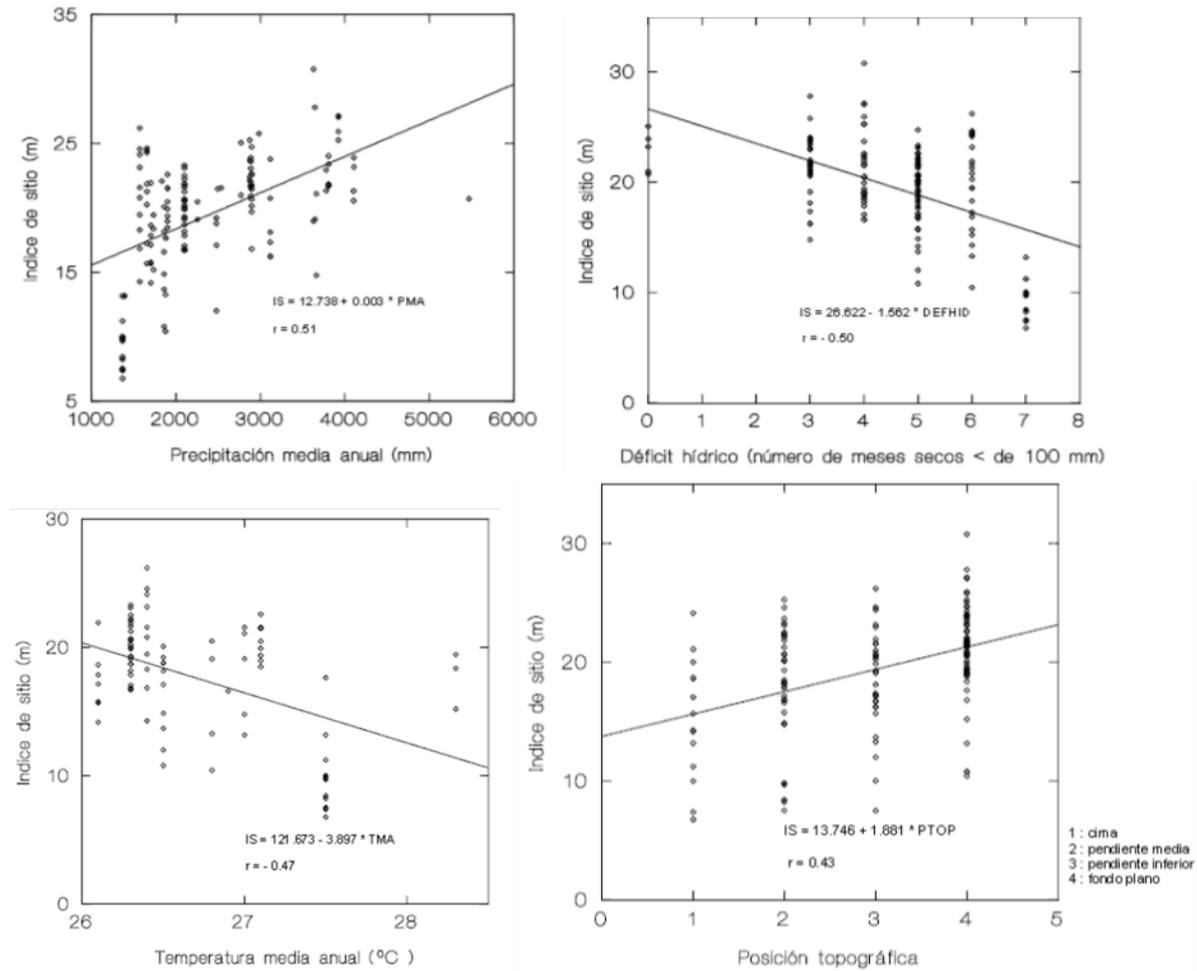


Figura 3. Índice de sitio para teca y variables ambientales en sitios de Costa Rica

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.

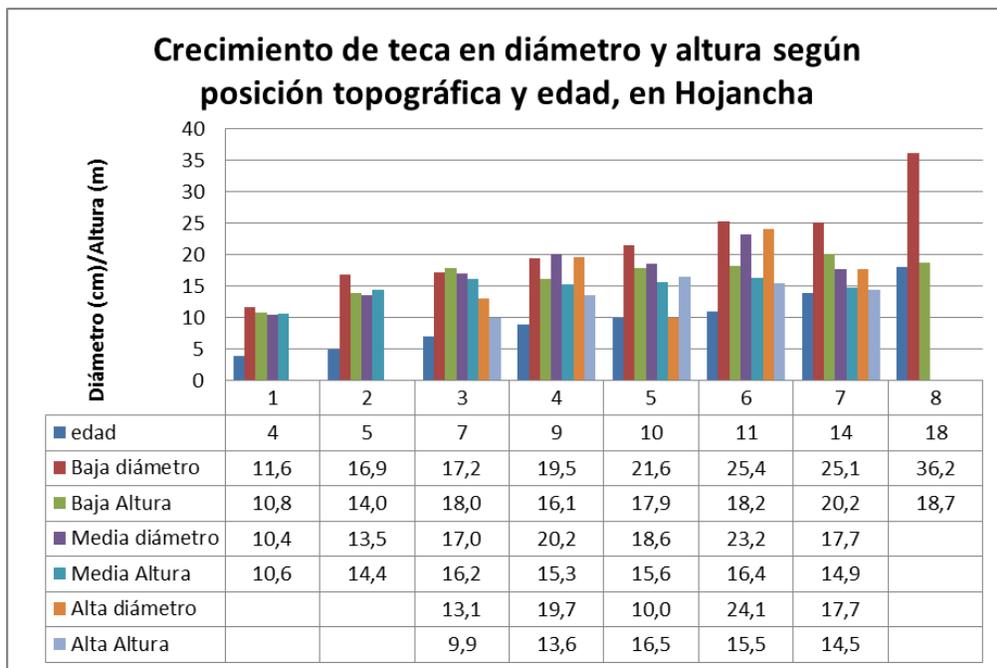


Figura 4. Crecimiento de teca en Hojancha según posición topográfica

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 ⁻¹]	0,7	5	0,31	30	0,15	33	0,48	81	0,23
Ca [cmol(+) L ⁻¹]	4,45	44	21,36	28	20,97	38	13,22	74	36,99
Mg [cmol(+) L ⁻¹]	1,46	47	6,89	54	5,25	64	4,08	89	5,6
K [cmol(+) L ⁻¹]	0,13	109	0,33	87	0,36	82	0,24	101	0,47
CICE [cmol(+) L ⁻¹]	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 ⁻¹]	3	114	3	146	2	0	3	124	1,2*
Zn [cmol(+) L ⁻¹]	2	84	3	58	3	107	2	77	0,3*
Cu [cmol(+) L ⁻¹]	8	19	11	85	4	83	9	71	4,6*
Fe [cmol(+) L ⁻¹]	165	23	37	81	65	154	102	75	15*
Mn [cmol(+) L ⁻¹]	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 ⁻¹									

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



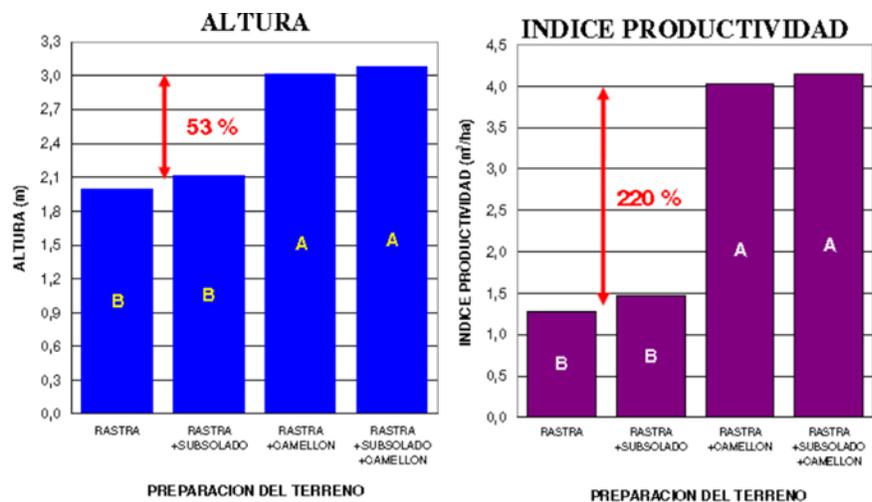
Preparación de lomillos



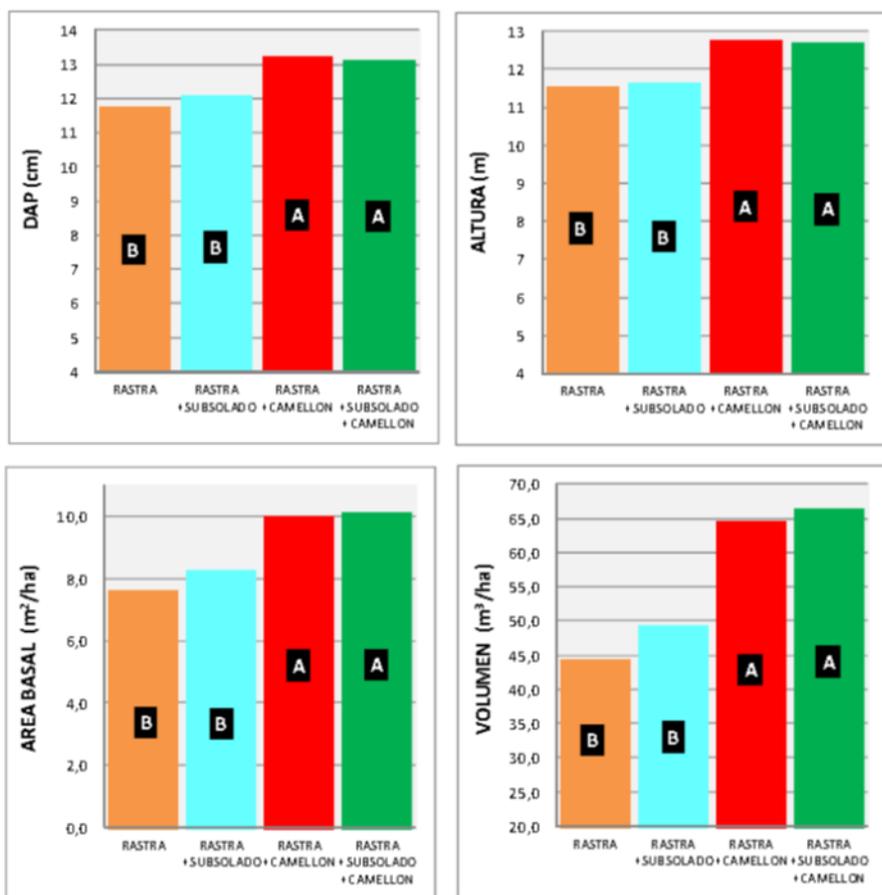
Conformación de lomillos

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 nutrimentos, 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 nutrimentos 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 CaCl₂ 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 redundo 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⁻¹. 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⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente y las tasas de absorción anual son del orden de 264, 17 y 132 kg ha⁻¹ 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 nutrimentos en plantaciones de teca en la zona atlántica de Costa Rica, encontrando que la mayor parte de los nutrimentos 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⁻¹ de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente y tasas de absorción anual de 264, 17 y 132 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente en plantaciones de 20 años en India. Fernández-Moya *et al.* (2011) mencionan datos de absorción de nutrimentos 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. Nutrientes 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 ⁻¹	kg ha ⁻¹				
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 nutrientes 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 nutrientes 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-nutrientes 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 ⁻¹)			10-25	
Zn (mg kg ⁻¹)		11-19	20-50	
Mn (mg kg ⁻¹)	< 30	30-49	50-112	
Fe (mg kg ⁻¹)			58-390	379-1074
Al (mg kg ⁻¹)			85-320	
B (mg kg ⁻¹)			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 (*Tectona grandis* 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 la 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⁻¹) y P (0, 75 y 150 kg ha⁻¹) con una base de 50 kg K kg ha⁻¹, 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⁻¹ 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).

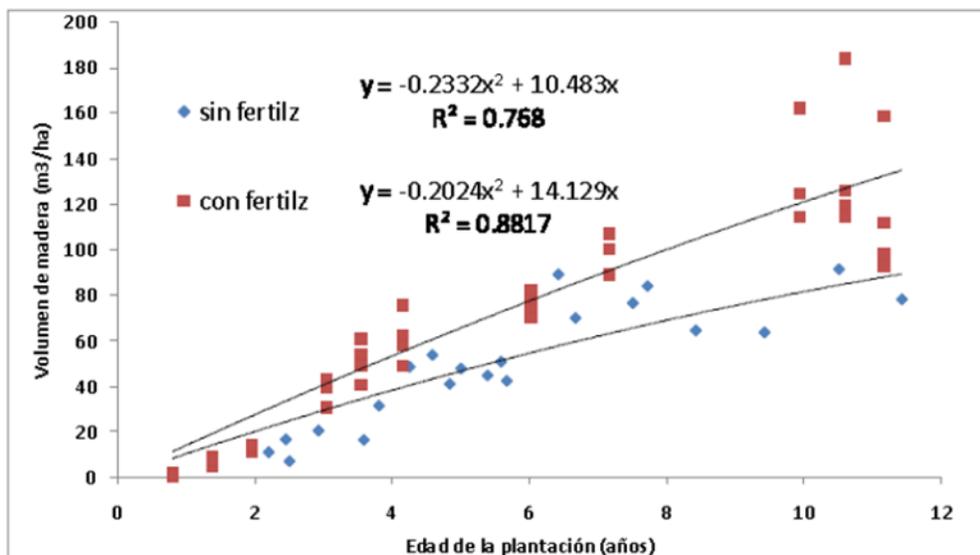


Figura 7. Incrementos en madera con diferentes niveles de fertilización, a diferentes edades, en plantaciones de teca en la zona norte de Costa Rica (tomado de Fallas 2014).

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 quemas (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 escorrentía (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 escorrentía.

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⁻¹ en plantaciones de teca de 20 años, 7,2 t ha⁻¹ plantaciones clonales de dos años y 35,1 t ha⁻¹ 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⁻¹. 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 ⁻¹)			Valores árbol ⁻¹		Valores ha ⁻¹		IMA ha ⁻¹		ICA ha ⁻¹	
			Dap	Altura	g (m ²)	Vol (m ³)	G (m ²)	Vol (m ³)	G (m ²)	Vol (m ³)	G (m ²)	Vol (m ³)
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 autores³ 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>Cyristax 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 árboles 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 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

³ 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⁻¹ a solo 98 ha⁻¹.

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⁻¹ 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⁻¹ (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 m²ha⁻¹, eliminando 6 m²ha⁻¹.

El tercer esquema: partiendo de 1100 árboles ha⁻¹ 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 ²	%				
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⁻¹ (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⁻¹ para la corta final a los 18-20 años.

Cuadro 16. Esquema de manejo para plantaciones de alto rendimiento de teca

Edad (años)	Arboles por hectárea	Raleo (%)	Arboles cortados	Árboles remanentes
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 removió, 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 Hojancha 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.

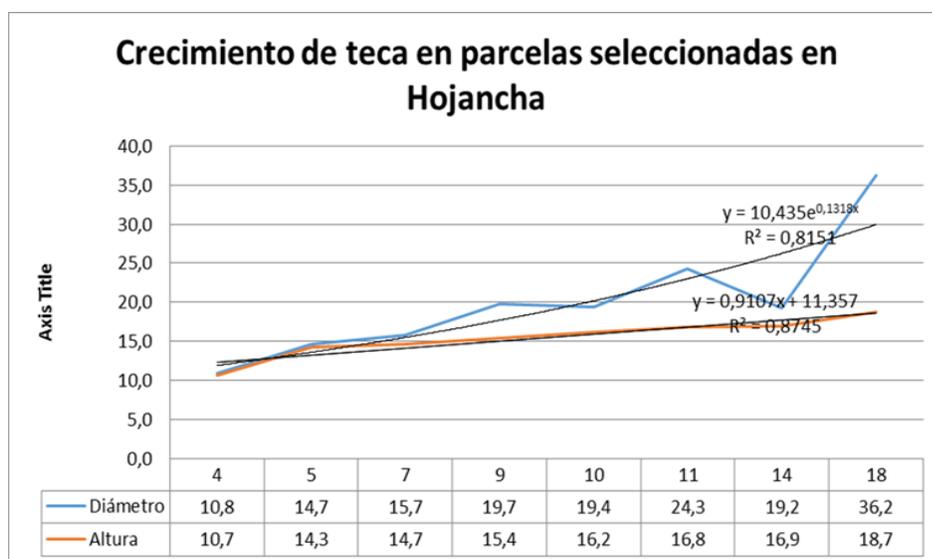


Figura 8. Crecimiento en diámetro y altura en lugares seleccionados de Hojancha.

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

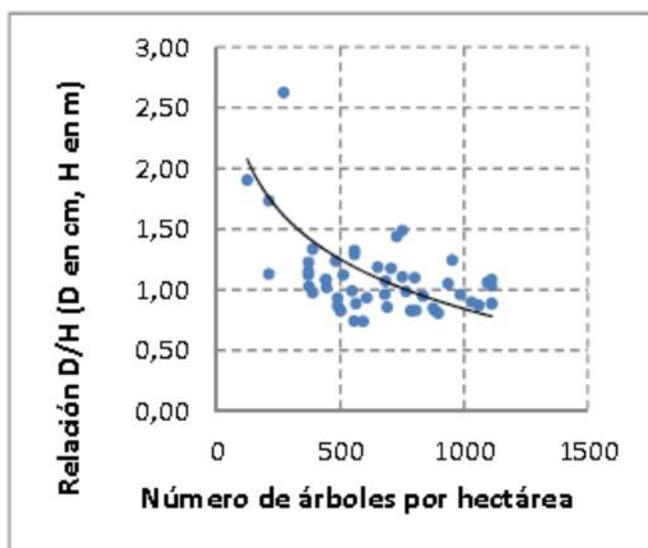
Edad (años)	No. (árboles/ha)	Conservador				Promedio				Optimista			
		Hd (m)	D (cm)	Vtc (m³/ha)	Vex (m³)	Hd (m)	D (cm)	Vtc (m³/ha)	Vex (m³)	Hd (m)	D (cm)	Vtc (m³/ha)	Vex (m³)
1	1111	0,2	0,6	0,0		0,2	0,6	0,0		0,3	0,7	0,0	
2	1030	1,6	2,5	0,3		1,7	2,7	0,4		1,9	3,0	0,5	
3	1000	4,2	5,2	3,2		4,5	5,7	4,1		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
Total				196,5				250,5				314,9	

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 (mucha 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 m³/ha/año. Sin embargo, el crecimiento decrece hasta niveles de 4-8 m³/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 m³/ha/año, frente a los 3-8 m³ ha⁻¹año⁻¹ 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 ⁻¹ y densidad final entre 170 y 1600 árboles ha ⁻¹ . 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 ⁻¹); Baha = Biomasa aérea total (t ha ⁻¹); bfo = biomasa de follaje (kg árbol ⁻¹); brm = biomasa de ramas (kg árbol ⁻¹); bta = biomasa total árbol (kg árbol ⁻¹); 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 ² ha ⁻¹); H = altura promedio del rodal (m); Hd = altura d elos árboles dominantes (m); ht = altura total del árbol (m); T = edad; Tr = Edad de referencia Vccc = volumen comercial con corteza (m ³); Vex = Volumen total extraído (m ³); Vsc = volumen sin corteza (m ³); Vtc = volumen total con corteza (m ³); Vtcc = Volumen total comercial con corteza (m ³); Vts = volumen total sin corteza; Vtsc = volumen total sin corteza (m ³).		

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:

Brotos: *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 "malla 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 µm (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
Plántulas			
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)
Brotes			
		Phomopsis sp. Nigrospora sp.	Arguedas (2008, 2011) Arguedas (2008, 2011)
Follaje			
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/Scolitynae, 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. (Cuculionidae/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)	Cycilndrocladium 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 cancos 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 cancos 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 cancos.
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⁻¹ 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
TOTAL		10 001

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 Hojanca se presentan en el cuadro 23.

Cuadro 23. Volumen y valor por hectárea para plantaciones de teca en Hojanca (200 árboles ha⁻¹ 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 m³ (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 m³ Hoppus o sea, US\$ 647⁴ por contenedor de 19,5 m³. El cuadro 24 presenta los precios por m³ Hoppus sin castigo para madera de teca cargada en el contenedor.

Cuadro 24. Rango de precios para trozas (m³ Hoppus) cargada en contenedor en Hojancha

<i>Rango</i>	<i>Dólares m⁻³ Hoppus</i>	<i>Rango</i>	<i>Dólares m⁻³ 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 madera⁵ Obviamente, los costos de aprovechamiento, transporte a puerto y aduanas difieren según sean las condiciones de la finca y la distancia de transporte.

⁴ Tipo de cambio utilizado US\$1 = ₡33,23

⁵ 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
	34,54	13.815,84	25,92	269.408,88	505,46
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
	97,02	43.438,37	81,5	847.048,18	1.589,21
Total	131,56	57.254,21	107,42	1.116.457,06	2.094,67

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
	73,06	29.223,84	54,83	569.864,88	1.069,16
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
	97,02	43.438,37	81,5	847.048,18	1.589,21
Total	170,08	72.662,21	136,33	1.416.913,06	2.658,37

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\$ 0,319⁶ pmt) hasta ₡250 pmt⁻¹ en 2013 (0,507 pmt) ₡190 pmt⁻¹ 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).

Circunferencia	2010	2011	2012	2013	2014	Variacion 2010-2014
121 - >	503	585	555	505	585	116%
111 - 120	453	445	505	455	538	119%
101 - 110	403	400	455	400	485	120%
91 - 100	355	345	400	350	425	120%
81 - 90	315	300	350	300	355	113%
71 - 80	270	250	285	240	295	109%
61 - 70	230	205	235	200	235	102%
51 - 60	160	135	165	110	160	100%
40 - 50	95	70	100	45	95	100%

Fuente: tomado de Sage (2014)

⁶ 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>	2010	2011	2012	2013	2014	Variacion 2010-2014
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>	1%	2%	3%	4%	5%	6%	TIR
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 Hojanca, 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>	1%	2%	3%	4%	5%	6%	TIR
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>	1%	2%	3%	4%	5%	6%	TIR
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^{er} 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 Chavarriga, 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 *Proceedings of the 10th 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*. *Unasylva* 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
- 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 Hojancha. 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)⁷ 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.

⁷ 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 capas⁸. 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

⁸ 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 común⁹ (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

⁹ 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.

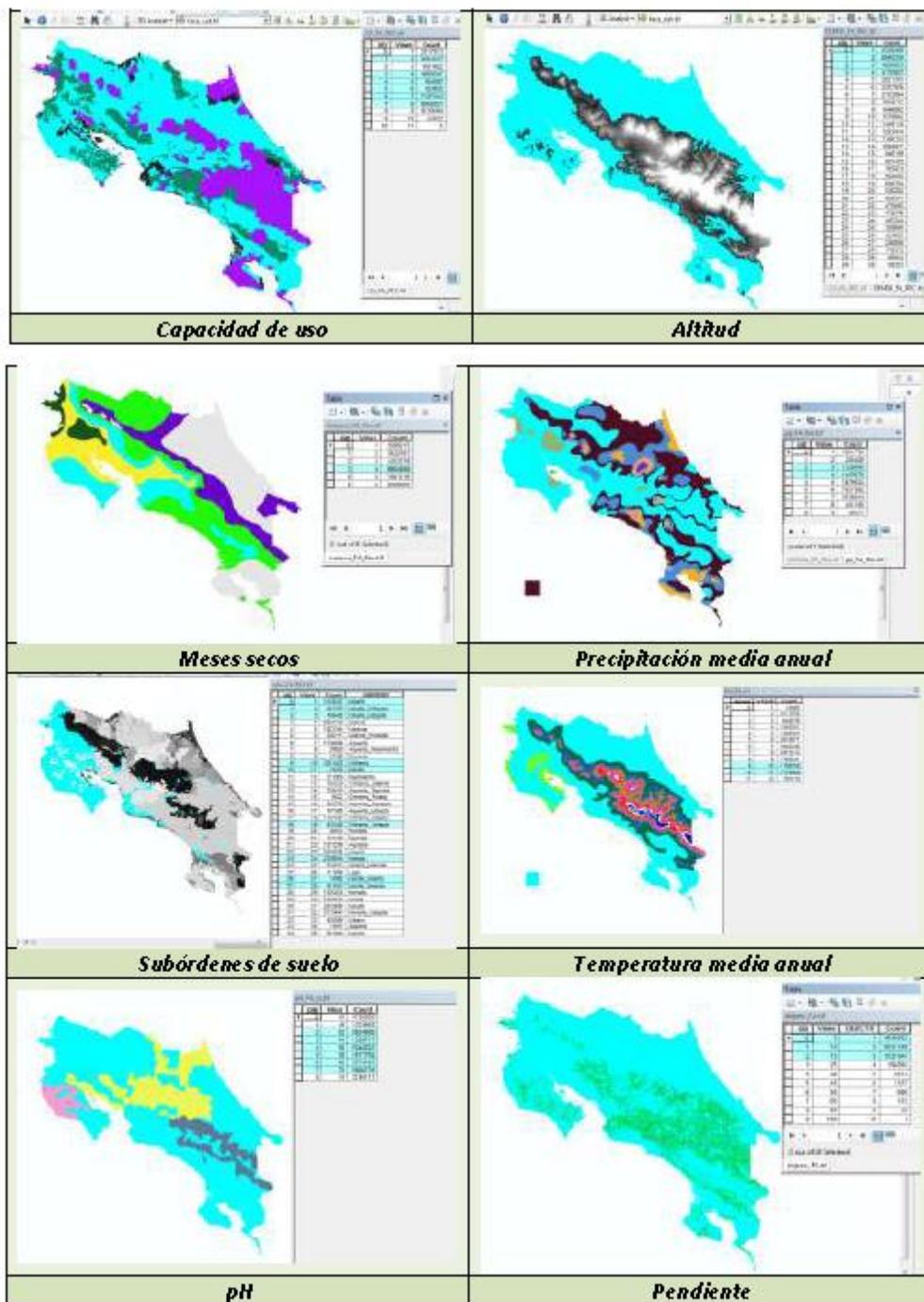


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Optima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica																					
Condición		Optimista						Medio						Defiditario							
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