

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

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

**Héctor A Martínez H
Consultor**

Moravia, Mayo de 2015

Acrónimos

ACT:	Área de Conservación Tempisque
AFE:	Administración Forestal del Estado
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
BM:	Banco Mundial
CACH:	Centro Agrícola Cantonal de Hojancha
CAF:	Certificado de Abono Forestal
CAFA:	Certificado de Abono Forestal por Adelantado
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CODEFORSA:	Comisión de Desarrollo Forestal de San Carlos
COOPEAGRI:	Cooperativa Agrícola Industrial y de Servicios Múltiples El General
CRUSA:	Fundación Costa Rica - USA
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FONAFIFO:	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FSC:	Forest Stewardship Council
FUNDECOR:	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
IMA:	Incremento Medio Anual
ISO:	International Standard Organization
MINAE:	Ministerio de Ambiente y Energía de Costa Rica
OET:	Organización para Estudios Tropicales
ONF:	Oficina Nacional Forestal de Costa Rica
PIB:	Producto Interno Bruto
PNDF:	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	2
1.1 Marco de referencia	2
1.2 ¿Por qué caoba, cedro y laurel?.....	3
2. Requerimientos biofísicos	3
2.1 Precipitación anual.....	3
2.2 Temperatura	4
2.3 Suelos	4
2.3.1 <i>Textura</i>	4
2.3.2 <i>Drenaje</i>	4
2.3.3 <i>Reacción</i>	5
2.3.4 <i>Profundidad</i>	5
2.4 Altitud.....	5
3. Formas de reproducción y producción en vivero	7
3.1 Reproducción por semillas y otras formas	7
3.2 Fertilización y controles químicos.....	9
3.3 Preparación y envío.....	12
4. Establecimiento.....	12
4.1 Época de plantación	12
4.2 Protección de las plantaciones	13
4.3 Selección del sitio y preparación del suelo.....	13
5. Manejo	17
5.1 Densidad de plantación	17
5.2 Control de malezas.....	19
5.3 Fertilización.....	19
5.3.1 <i>Requerimientos nutricionales para caoba</i>	19
5.3.2 <i>Requerimientos nutricionales para cedro</i>	21
5.3.3 <i>Requerimientos nutricionales para laurel</i>	23
5.4 Podas.....	26

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

Resumen ejecutivo

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

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

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

Especies para sistemas agroforestales: condiciones para su cultivo

Héctor A Martínez H
Consultor

1. Antecedentes

1.1 Marco de referencia

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

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

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

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

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

La promoción del establecimiento de las plantaciones forestales con fines de producción de madera requiere, como paso previo, la identificación de las principales barreras a la actividad. Los términos de referencia para el presente trabajo de consultoría solicitan la elaboración de paquetes tecnológicos para el establecimiento de plantaciones forestales, mejorando las capacidades de los involucrados en dichas actividades, para cinco especies prioritarias. Previamente se elaboró un documento para la priorización de las especies¹ y entre ellas se seleccionó *Cecrela odorata* (cedro), *Cordia alliodora* (laurel) y *Swietenia macrophylla* (caoba) como especies importantes utilizadas en sistemas agroforestales.

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 caoba, cedro y laurel?

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

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

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

2. Requerimientos biofísicos

2.1 Precipitación anual

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

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

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

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

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

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

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

2.2 Temperatura

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

2.3 Suelos

2.3.1 Textura

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

2.3.2 Drenaje

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

2.3.3 Reacción

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

2.3.4 Profundidad

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

2.4 Altitud

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

Cuadro 1. Requerimientos de las especies para sistemas agroforestales

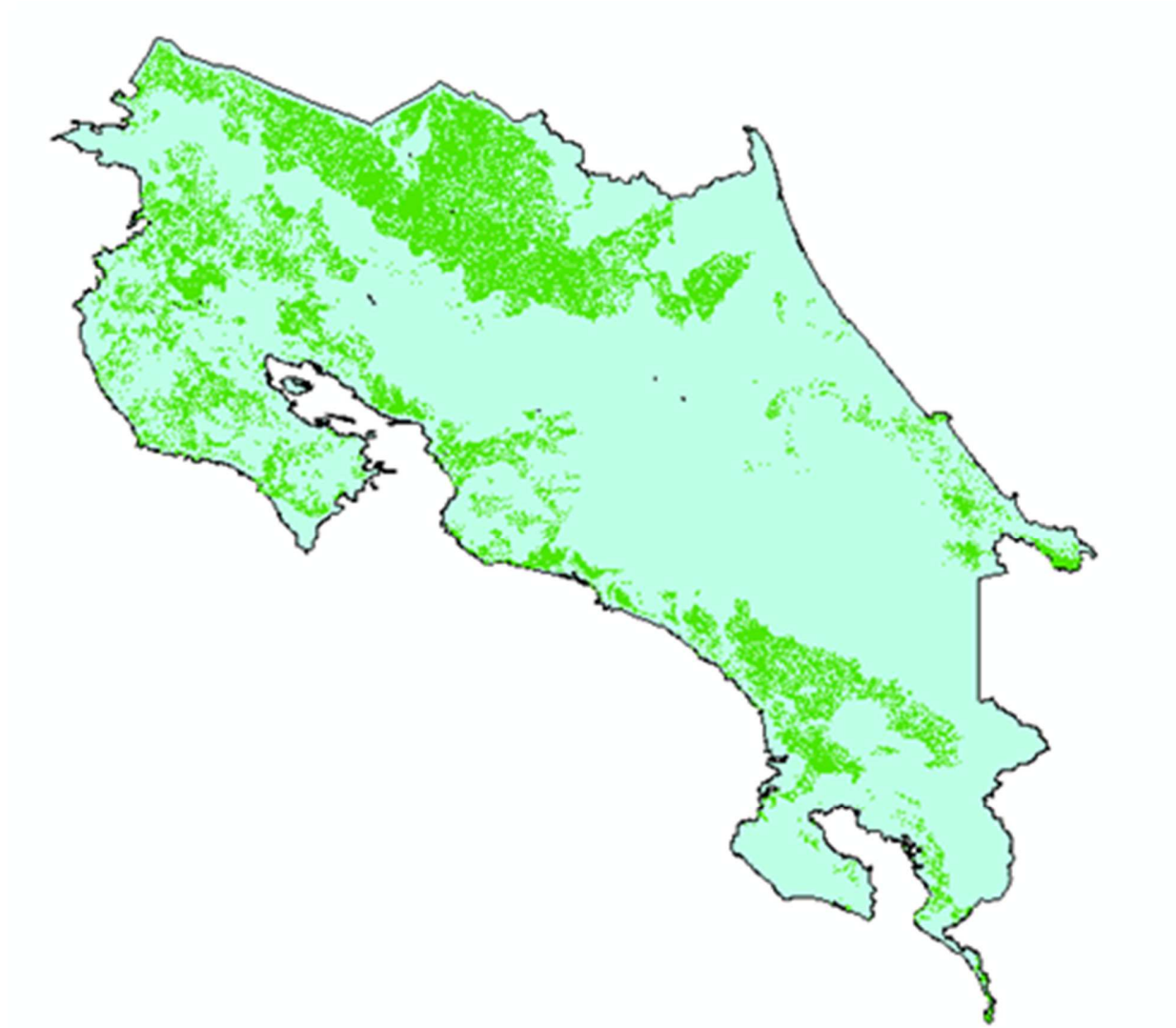
Especie	Suelos	Textura	pH	Fertilidad	Drenaje	Profundidad	Altitud (msnm)	Precipitación (mm año ⁻¹)	Meses secos año ⁻¹	Temperatura °C	Pendiente (%)
SAF	Aquents, Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, Udulfs,	Francos, franco arenosos, franco arcillo arenosos	>5,2	Fértiles, bien aireados, mateira orgánica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

Fuente: Elaboración propia.

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

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

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



Zonas consideradas óptimas para el establecimiento de caoba, cedro y laurel en sistemas agroforestales

Fuente: elaboración propia con cartografía digital de diferentes fuentes.

3. Formas de reproducción y producción en vivero

3.1 Reproducción por semillas y otras formas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2 Fertilización y controles químicos

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

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

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

Vendiola (1995) encontró que la aplicación foliar de nutrimentos cada dos semanas a plántulas de caoba en viveros de Mindoro, Filipinas, incrementó la velocidad de crecimiento y fue económicamente rentable. En Pustaka, Indonesia, Mindawati (1990) menciona que la adición de niveles crecientes de N (0, 2,1, 4,2, 6,3, 8,4 y 10,5 g árbol⁻¹) y de P₂O₅ (0, 2,3, 4,6, 6,9, 9,2 y 11,5 g árbol) no afectó significativamente la altura o el diámetro de arbolitos de caoba, aunque la adición de 6,3 g N árbol con 11,5 g P₂O₅ árbol aumentó en un 30,3% la altura y la adición de 8,4 g N árbol con 11,5 g P₂O₅ árbol aumentó en un 34,0% el diámetro de los arbolitos.

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

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

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

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

Cedrela odorata tiene un bajo porcentaje de germinación y en vivero se logra el valor mayor utilizando arena como medio de enraizamiento (Mena *et al.* 2000), aunque su producción en vivero es común en Costa Rica. Paniagua (2004), citado por Alvarado 2012, realizó un ensayo de invernadero con plántulas de la especie *C. odorata*, utilizando bolsas plásticas con un Fluventic Dystropepts ácido y bajo en P disponible al que se le adicionó 0, 0,5, 1,0 y 2,0 t CaCO₃ ha⁻¹ con una base de N y P y por aparte también se comparó la adición de 0, 140, 280 y 560 kg P₂O₅ ha⁻¹. Como resultado de la adición de cal el pH aumentó de 4,4 a 5,1, el contenido de Ca intercambiable de 1,4 a 4,6 cmol L⁻¹, la acidez disminuyó de 2,75 a 0,50 cmol L⁻¹ y con la adición de P aumentó su contenido disponible de 3,4 a 9,8 µg ml⁻¹ (extraído con Olsen modificado). Debido a los cambios en el suelo, las plántulas de *C. odorata* presentaron un incremento positivo y significativo en altura, en diámetro y biomasa aérea y radical cuando se adicionó cal y significativo y positivo solo a la adición de 560 kg P₂O₅ ha⁻¹.

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

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

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

Seis meses después de trasplantar las plántulas de cada tratamiento en al campo, las diferencias anteriormente mencionadas aún persistían, pero desaparecieron a los 12 meses después del trasplante; este hecho hace ver la necesidad de continuar con la fertilización al trasplante (Wightman *et al.* 2001). En el Ecuador, se recomienda aplicar abonos foliares con micronutrientes en dosis de 50 cm³ por bomba de 20 litros cada quince días, las primeras adiciones altas en N y las últimas en K, con el fin de inducir la lignificación y producir un árbol resistente al trasplante (Corporación de Desarrollo Forestal y Maderero del Ecuador 2001).

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

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

3.3 Preparación y envío

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

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

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

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

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

4. Establecimiento

4.1 Época de plantación

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

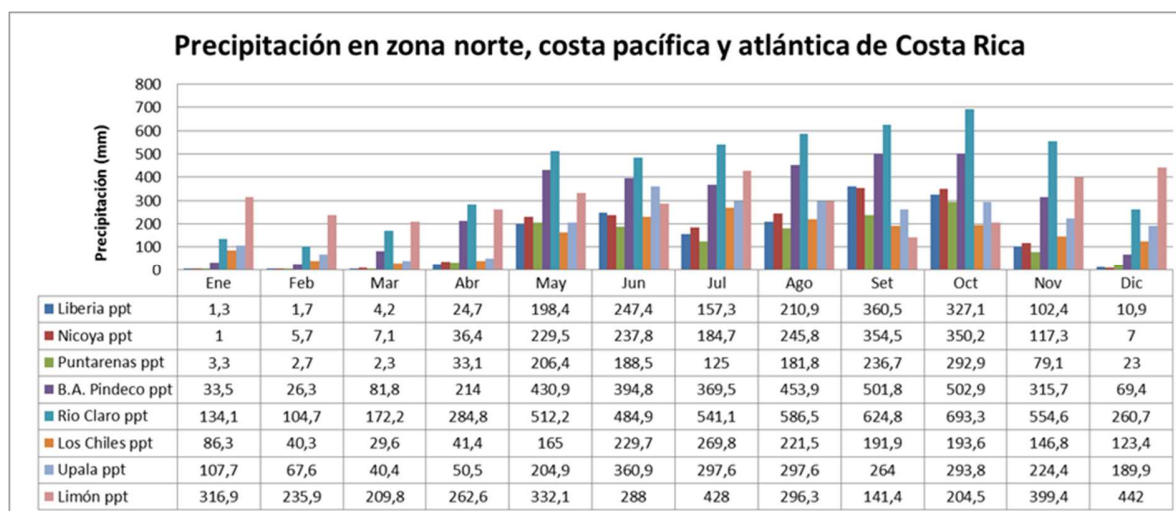


Figura 1. Distribución de la precipitación en zonas seleccionadas de Costa Rica (Fuente: IMN)

4.2 Protección de las plantaciones

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

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

4.3 Selección del sitio y preparación del suelo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Preparación del terreno de para plantación

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

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

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

orgánica y particularmente deficientes en P). Cuando se planta en suelos aluviales fértiles, asociado a cultivos como el plátano o el cacao, el crecimiento de la especie es normalmente bueno, si en adición se le agregan enmiendas o se mejora el drenaje natural moderado. En la tierra firme (suelos no pantanosos) del litoral pacífico de Colombia, Peck (1976) encontró que el laurel presenta un buen crecimiento inicial, aunque su yema terminal es muy susceptible a desviarse por la acción de las malezas, principalmente lianas, causando la deformación del fuste; las plantaciones densas tienen la tendencia a estancarse, requiriéndose espaciamientos amplios de unos 50 m² (200 árboles por ha) a los dos años, recomendándose una densidad de plantación inicial de 4x4 m.

5. Manejo

5.1 Densidad de plantación

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2 Control de malezas

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

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

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

5.3 Fertilización

5.3.1 Requerimientos nutricionales para caoba

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

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

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

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

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

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

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

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

5.3.2 Requerimientos nutricionales para cedro

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

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

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

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

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

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

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

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

5.3.3 Requerimientos nutricionales para laurel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.4 Podas

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

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

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

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

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

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

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

5.5 Raleos

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

En condiciones favorables *S. macrophylla* alcanza la madurez (cortabilidad natural), entre los 45 años y los 50 años. Si esta especie no se planta con espaciamiento muy amplio, los primeros aclareos habrá que realizarlos entre los 6 y los 10 años y continuarlos, progresivamente. A los 20 años se recomienda mantener unos 400 árboles ha⁻¹, teniendo cada árbol 25 m² de espacio vital: a los 35 años o 40 años deben quedar en pie unos 200 árboles ha⁻¹, con un área de incidencia de 50 m² para cada árbol. Huguet (1951) y Chapuis (1955), citados por Lamb, B. (1966), informan que las plantaciones hechas en Antillas Francesas en 1906, indican que al final del turno de 45 años pueden quedar para la corta final 200 árboles ha⁻¹.

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

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

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

5.6 Crecimiento

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

rápidamente. Las tasas de crecimiento en bosques tiende a ser menores que en las plantaciones: 0,14 a 0,36 cm año⁻¹ (Lamb, 1966).

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

Según Jimenez (2012), en un estudio realizado en Costa Rica, el crecimiento en diámetro, altura y volumen del laurel fue 4,36 veces mayor en sistemas agroforestales que en plantaciones puras (Somarriba et al. 2001). En Honduras Viera y Pineda (2004) revelaron que en plantaciones de *C. odorata* en linderos de cafetales se puede lograr un incremento medio anual (IMA) de 1,09 m en altura y 3,77 cm en diámetro, lo que representa en 20 años una producción de 0,88 a 7,18 m³ de madera en rollo por árbol. En Ecuador Suatunce et al. (2009) reportaron un mayor IMA en volumen ha⁻¹ en asociaciones con café y plátano que en plantaciones puras de laurel (*Cordia alliodora*), teca (*Tectona grandis*) y guayacán (*Tabebuia neochrysantha*).

Lujan et al. (1996) encontraron en cercos vivos de *C. alliodora* de seis años de edad en Talamanca, Costa Rica, un diámetro promedio de 24,8 cm y 16,7 m de altura y un volumen de 75 m³ km⁻¹. Mediciones del crecimiento de *C. alliodora* en sistemas silvopastoriles (SSP) en la provincia de Limón, Costa Rica (CATIE 1994), indican que para densidades de 175 árboles ha⁻¹ en asocio con *Brachiaria humidicola* el incremento medio anual (IMA) para árboles de 36 cm de dap en promedio (15 cm mínimo y 54 cm máximo) fue de 0.7 cm año⁻¹ (0.1 cm mínimo año⁻¹ y 1.7 cm año⁻¹ máximo).

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

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

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

Según Dzib (2003) los árboles maderables son una fuente de ingresos para los caficultores, pero para la venta de los árboles hay que esperar a que estos alcancen una altura y diámetro comercial. La venta de madera representa un alto porcentaje respecto a los ingresos de café durante el mismo tiempo de cultivo; estos pueden ser desde 6 hasta 83%, dependiendo de los precios de mercado de la especie plantada (Jimenez 2012). En Ecuador, la extracción de madera en SAF representó ingresos por finca del 2.5% de los ingresos totales, en comparación a los ingresos de café y cacao, considerando que en promedio por finca se extrae 6,6 m³ año⁻¹.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fuente: Jiménez (2012).

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

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

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

Fuente: Jiménez 2012.

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

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

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

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

Fuente: tomado de CATIE (2006)

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

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

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

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

5.7 Plagas y enfermedades

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.8 Cosecha

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

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

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

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

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

5.9 Costos de establecimiento y rentabilidad de la inversión

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

Literatura citada

- ALVARADO A. 2012. Nutrición y fertilización de *Cedrela odorata*. I.). In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 213-219
- ALVARADO, A.; LEIVA, J.A. 2012. Nutrición y fertilización de *Swietenia macrophylla*. In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 307-315
- ALVARADO, A.; RAIGOSA, J. 2012. Nutrición y fertilización de *Cordia alliodora*. In ALVARADO A, RAIGOSA J. (eds). 2012. Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. ACCS, San José, Costa Rica. pp. 249-259
- ARGUEDAS, M. 2007. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. 1ª ed. – San José, Costa Rica, Corporación Garro y Moya, 2008. 69 p.
- ARNAEZ, E.; MOREIRA, I.; ROJAS, F.; TORRES, G. 1992. Especies forestales tropicales: CEDRO. Depto. Ingeniería Forestal y Depto. Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 8 p. Subserie de Cuadernos Científicos y Tecnológicos, Nº 3.
- ARRIAGA, V.; CERVANTES, V.; VARGAS-MENA A. 1994. Manual de Reforestación con Especies Nativas: Colecta y Preservación de Semillas, Propagación y Manejo de Plantas. SEDESOL / INE – Facultad de Ciencias UNAM. México, D.F.
- BABBAR, L.; EWELL, J.J. 1989. Descomposición del follaje en diversos ecosistemas sucesionales tropicales. *Biotropica* 21(1):20-29.
- BASCOPE, R.; BERNARDI, L.; LAMPRECHT H.; MARTINEZ, P. 1957. El género *Cedrela* en América. Descripciones de Árboles Forestales 2. p. 1-22. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, Mérida, Venezuela.
- BEARD, J. S. 1942. Summary of silvicultural experience with cedar, *Cedrela mexicana* Roem. in Trinidad and Tobago. *Caribbean Forester* 3(3):91-102.
- BELANGER, R. P.; BRISCOE, C. B. 1963. Effects of irrigating tree seedlings with a nutrient solution. *Caribbean Forester* 24(2):87-90.
- BERGMANN, C.; STUHRMAN, M.; ZECH, W. 1994. Site factors, foliar nutrient level and growth of *Cordia alliodora* plantations in the humid lowlands of Northern Costa Rica. *Plant and Soil* 166(2):193-202.
- BERMÚDEZ, HM. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. Flook) y laurel (*Cordia alliodora* R.& P.) Cham en Turrialba, Costa Rica. Tesis de Maestría. Centro Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 74 p.
- BOSHIER, D.H.; LAMB, A.T (eds.). 1997. *Cordia alliodora* genética y mejoramiento de árboles. Oxford Forestry Institute, Department of Plant Sciences, University of Oxford. Oxford, UK. Oxford Univ. Press. 100 p. Tropical Forestry Research Papers, Nº 36.
- CADENA, M.E. 1989. Análisis nutricional de la especie *Cordia alliodora* asociado a hidroponía. *Colombia Forestal* 3(5):6-16.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Antecedentes

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

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

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

Objetivos

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

Los objetivos específicos son:

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

² 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 capas³. 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

³ 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 común⁴ (cuadro 1).

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

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

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

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

⁴ Según las características ecológicas y rangos de ocupación de cada especie

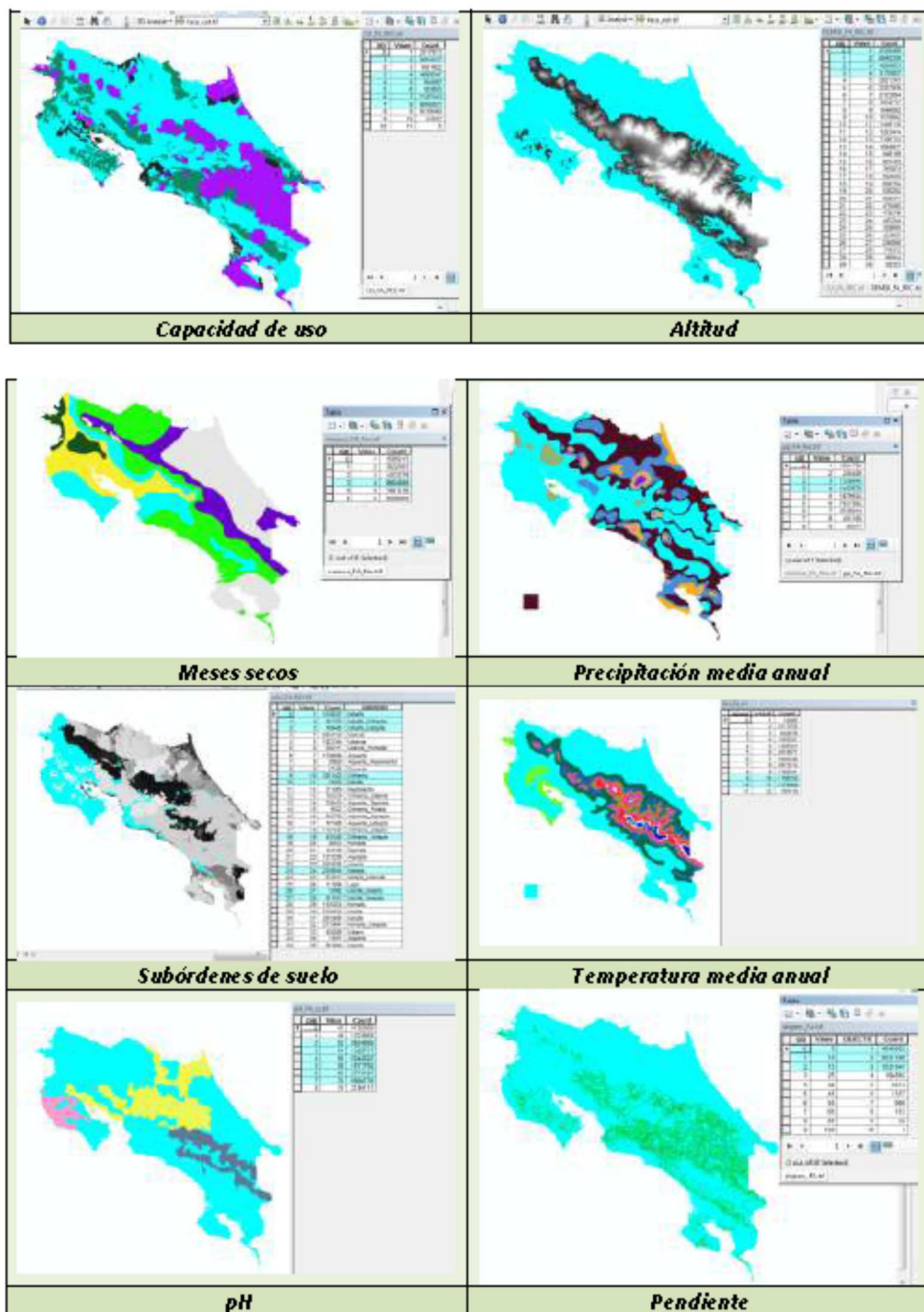


Figura 1. Selección de variables bajo condición "Optima" para Teca (*Tectona grandis*).

Indicadores (primera aproximación) para especies seleccionadas para reforestación en Costa Rica																					
Condición		Optimista						Medio						Deficitario							
Especie	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp	Tipo suelos suborden	pH	pendiente	altitud (msnm)	precipitación (mm)	sequía (meses)	Temp
Teca	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents	5,1-6,5	<25%	<380	1500-3000	4	24-28	Ustalfs, Ustepts, Orthents	4,9-5,0	25%-30%	<500	2500-3500	4-6	22-30	sin restricción	<4,9	30-35	>500 hasta 600	<1500 o >3500	<3 o >6	<24
Melina	Ustolls, Ustalfs, Ustepts, Orthents, 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