

Fotografía por cortesía: Kurt Valentin S.
Finca La Caribolera S. A. Cobán, Guatemala



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques. Más vida

Paquete Tecnológico Forestal

Cedro
Cedrela odorata L.

Con el apoyo de:



SECRETARÍA
NACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGÍA



Serie Técnica
DT-029 (2019)

Publicación del Instituto Nacional de Bosques (INAB)
7a avenida 12-90 zona 13
Guatemala, Guatemala, Centro América
www.inab.gob.gt

Dirección de Desarrollo Forestal
7a avenida 6-80 zona 13
Guatemala, Guatemala, Centro América
Teléfono: 2321-4600 y 2321-4608

Departamento de Investigación Forestal
7a avenida 6-80 zona 13
Guatemala, Guatemala, Centro América
Teléfono: 2321-4600 y 2321-4608

Se autoriza la reproducción total o parcial de esta publicación para fines educativos o sin intenciones de lucro, sin ningún otro permiso especial del titular de los derechos, con la condición de que se cite la fuente de donde proviene.

Citar este documento como:

Instituto Nacional de Bosques. 2019. Paquete Tecnológico Forestal para Cedro *Cedrela odorata* L. Guatemala, Departamento de Investigación Forestal. 87p. (Serie técnica DT-029-2019).

ELABORADO POR:

Departamento de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Bosques (INAB), con la asesoría y redacción principal del Doctor Daniel Marmillod (consultor), e incorporaciones y sistematización de experiencias (2018) por José Israel Cojóm Pac (consultor) y Joel Nicolás Eliézer Cutzal Chavajay (Departamento de Investigación Forestal del INAB). Se agradece Edwin Oliva Hurtarte (Departamento de Gobernanza Forestal del INAB), por la revisión del presente documento.

Este documento ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) a través del proyecto PD 495/08 Rev. 4(F) "Sistema de información sobre la productividad de los bosques de Guatemala", y cuyos donantes son los gobiernos de Japón y Estados Unidos de América.



La impresión del presente documento ha sido gracias a:



1. Presentación

El Instituto Nacional de Bosques –INAB- es el órgano de dirección y autoridad competente del Sector Público Agrícola, en materia forestal; una de las principales atribuciones del Instituto consiste en impulsar la investigación para la resolución de problemas de desarrollo forestal a través de programas ejecutados por universidades y otros entes de investigación.

En atención a su mandato, el INAB, con apoyo de la Organización Internacional de las Maderas Tropicales –OIMT- presenta el paquete tecnológico forestal de la especie Cedro *Cedrela odorata* L., donde las áreas temáticas relevantes que conforman el contenido son: aspectos introductorios, selección de sitio, producción de plántulas y genética, establecimiento de plantaciones, silvicultura de plantaciones, manejo de plagas y enfermedades, incrementos y existencias en plantaciones, contribuyendo así con proporcionar información de base para orientar actuales y potenciales reforestadores y silvicultores para la planificación del manejo de plantaciones.

El paquete tecnológico forestal está conformado por los principales resultados de investigaciones, documentos científicos y experiencias documentadas que aportan conocimientos novedosos para ciertas etapas del cultivo o bien, que confirman la importancia de realizar actividades mínimas que favorezcan la productividad esperada y permitan alcanzar los objetivos y metas de un proyecto forestal, ofreciendo también insumos a próximos reforestadores para la toma de decisiones, a fin de que se planifiquen actividades que conlleven a una plantación forestal, cuyos productos de calidad satisfagan los requerimientos de los mercados nacionales e internacionales.

En este documento se pone a disposición del sector forestal, datos e información para la planificación de actividades dentro del ciclo del cultivo, desde la colecta de frutos, cosecha de semillas, métodos de propagación, selección adecuada de los sitios para el establecimiento de plantaciones, manejo silvicultural de plantaciones, ejemplos de buena y mala elección de sitios, diagnóstico y manejo de plagas y enfermedades, registro de las existencias de plantaciones a nivel nacional y simulación de la productividad de las plantaciones en busca de la maximización de productos forestales a partir de modelos de crecimiento. La serie de Paquetes tecnológicos forestales publicada por el INAB, pretende propiciar el aumento de la rentabilidad y productividad de las plantaciones forestales de especies consideradas prioritarias, brindando insumos que estimulen la competitividad de las plantaciones forestales en un país de vocación forestal.

Ing. Rony Estuardo Granados Mérida
Gerente INAB

2. Junta directiva del Instituto Nacional de Bosques

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

- Mario Méndez Montenegro
- José Felipe Orellana Mejía

Ministerio de Finanzas Públicas

- Claudia Larissa Rodas Illescas de Ávila
- Julio Rene Alarcón Aquino

Asociación Nacional de Municipalidades

- Edduar Amarildo Chún Champet
- Carlos Alexander Simaj Chán

Escuela Nacional Central de Agricultura

- Edvin Francisco Orellana Ortíz
- Tomás Antonio Padilla Cambara

Cámara de Industria, Gremial Forestal

- Roberto Andrés Bosch Figueredo
- Fernando Alcides Enríquez Flores

ASOREMA

- Miriam Elena Monterroso Bonilla
- Carmen Raquel Torselli Bech

Universidades

- Raúl Estuardo Maas Ibarra
- Mirna Lucrecia Vela Armas

Instituto Nacional de Bosques

- Gerente del INAB y Secretario de la Junta Directiva: Rony Estuardo Granados Mérida.

3. Tabla de contenido

1.	Presentación.....	iv
2.	Junta directiva del Instituto Nacional de Bosques	v
4.	Introducción	1
	Nombre científico	1
	Nombres comunes.....	1
	Descripción morfológica.....	1
	Distribución geográfica de la especie.....	2
	Aptitud forestal – agroforestal.....	4
	Plantaciones puras.....	5
	Plantaciones mixtas	6
	Sistemas agroforestales.....	7
	Usos.....	9
	Importancia de la especie en el país	9
	Estado de protección legal de la especie en el país	12
5.	Selección de sitio.....	13
	Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie	13
	Clima	13
	Fisiografía.....	14
	Suelo	14
	Distribución potencial de la especie en Guatemala.....	15
	Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie	16
	Ejemplos de buena o mala elección	17
6.	Producción de plántulas y genética	18
	Diversidad genética y procedencia	18
	Rodales semilleros	19
	Semilla.....	19
	Descripción	19
	Recolecta.....	20
	Acondicionamiento.....	21
	Conservación y viabilidad.....	22
	Tratamientos pre-germinativos.....	23

Producción de plantas	23
Métodos de propagación sexual	23
Métodos de propagación asexual	24
Sustratos en vivero	26
7. Establecimiento de plantaciones	26
Comportamiento ecológico de la especie	26
Instalación	27
Plantaciones puras	27
Plantaciones mixtas	28
Sistemas agroforestales	30
Plantaciones de enriquecimiento en bosques preexistentes	30
Preparación del terreno	31
Distanciamiento de siembra	34
Fertilización inicial	35
Introducción en sistemas agroforestales	35
8. Silvicultura de plantaciones	39
Control de malezas	39
Poda	41
Raleo	43
Aprovechamiento final	44
9. Manejo de plagas y enfermedades	44
Plagas y enfermedades en vivero	47
Plagas y enfermedades en plantaciones	48
Barrenador de las meliáceas <i>Hypsipyla grandella</i> Zeller 1848	48
Vigilancia forestal	55
10. Manejo de bosques naturales	56
11. Crecimiento y productividad de plantaciones	56
Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala	56
Crecimiento e incrementos	58
12. Existencias	64
Herramientas	64
Análisis y proyección del inventario de producción de cedro	73
13. Conclusiones	77

14. Recomendaciones	78
15. Bibliografía	80

Lista de tablas

Tabla 1. Fuentes semilleras del cedro inscritas en el Registro Nacional Forestal (bajo el nombre científico: <i>Cedrela odorata</i> en Guatemala:	19
Tabla 2. Agentes dañinos del cedro <i>Cedrela odorata</i> reportados* en Guatemala	45
Tabla 3. Número de parcelas permanentes de medición (PPM) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> , por edad de las plantaciones y número de mediciones.....	57
Tabla 4. Número de parcelas permanentes de medición (PPM) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> , por grado de mezcla inicial, con especies asociadas en plantaciones.....	57
Tabla 5. Familia de modelos de crecimiento para <i>Cedrela odorata</i> en Guatemala	58
Tabla 6. Clasificación por categorías de sitio para <i>Cedrela odorata</i> en Guatemala	59
Tabla 7. Aptitud para el crecimiento de <i>Cedrela odorata</i> en municipios de Guatemala con PPMF de la especie instaladas en plantaciones puras.	59
Tabla 8. Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para <i>Cedrela odorata</i> en Guatemala, según categorías de sitio.....	60
Tabla 9. Áreas plantadas por departamento y municipio con <i>Cedrela odorata</i> , incentivadas por PINFOR y PINPEP en Guatemala.	65
Tabla 10. Áreas plantadas con <i>Cedrela odorata</i> beneficiaria con los programas de incentivos forestales, por año de plantación y edad (al año 2018).	69
Tabla 11. Detalle de productividad actual de proyectos de cedro incentivados en Guatemala.	70
Tabla 12. Detalle de productividad actual de volumen (m ³) del primer, segundo y tercer raleo en plantaciones de cedro incentivados en Guatemala.....	72
Tabla 13. Proyección de principales variables y volumen de corta final para las plantaciones de cedro, periodo 2030-2048.....	73
Tabla 14. Proyección del volumen de raleo para plantaciones puras de cedro establecidas mediante programas de incentivos forestales en Guatemala, periodo 2019-2025.	75

Lista de figuras

Figura 1. Daño que provoca el barrenador de los brotes <i>Hypsipylla grandella</i> en las plántulas de las especies de la familia Meliaceae, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.....	5
Figura 2. Plantación mixta de Cedro <i>Cedrela odorata</i> y Caoba de Petén <i>Swietenia macrophylla</i> intercaladas en el mismo surco y Palo Blanco <i>Tabebuia donnell-smithii</i> entre surcos, con una edad de 6 años, en Hacienda Magdalena, Retalhuleu, Guatemala.	6
Figura 3. Sistema agroforestal de árboles en contorno de Cedro y Caoba de Petén, con una edad de 2 años, El Chal, Petén, Guatemala.	8
Figura 4. Gráfica de la tendencia de las reforestaciones realizadas con Cedro por medio de programas de incentivos forestales PINFOR-PROBOSQUE en el periodo 2000-2018 en Guatemala...	11
Figura 5. Gráfica de la tendencia de las reforestaciones realizadas con cedro por medio del programa de incentivos PINPEP en plantaciones puras, periodo 2007-2017 en Guatemala.	11
Figura 6. Gráfica de la tendencia del establecimiento de cedro en distintas combinaciones de sistemas agroforestales con incentivos PINPEP, periodo 2007-2017 en Guatemala.....	12
Figura 7. Mapa de distribución potencial de <i>Cedrela odorata</i> L. en el territorio de Guatemala (fuente: Romero, 2019).....	15
Figura 8. Tallo de plántula de cedro de dos meses de edad, con cicatrices del daño ocasionado por babosa común (no identificada) en plantación forestal, El Chal, Petén, Guatemala.	46
Figura 9. Raíz de planta de Cedro en vivero forestal, con posibles colonias de <i>Metarhizium</i> en San Francisco, Petén, Guatemala.....	47
Figura 10. Larva del barrenador de las meliáceas <i>Hypsipylla grandella</i> (Fotografía de Rony Alexander Albanés Barahona, del INAB).	49
Figura 11. Trampa biológica para el control etológico del barrenador del brote <i>H. grandella</i> en plantaciones de meliáceas, Hacienda Río Dulce, Izabal, Guatemala (Fotografía: proporcionada por Wenner Mejía).	53
Figura 12. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] y edad para plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> en Guatemala.....	61
Figura 13. Familia de curvas de crecimiento en diámetro [cm] para plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> en Guatemala.....	62
Figura 14. Familia de curvas de crecimiento en área basal [m ² /ha] para plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> en Guatemala	62

Figura 15. Familia de curvas de crecimiento en volumen total [m³/ha] para plantaciones de *Cedrela odorata* en Guatemala.63

Figura 16. Grafica de distribución del Volumen Total de producción actual de proyectos de incentivos forestales (%) resumido por departamento, para la especie de *Cedrela odorata* en Guatemala.68

Figura 17. Gráfica de distribución de área de proyectos de incentivos forestales por año de plantación, para la especie de *Cedrela odorata* en Guatemala.69

Figura 18. Grafica de distribución del Volumen Total de producción actual de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento, para la especie de *Cedrela odorata* en Guatemala..71

Figura 19. Gráfica de distribución del volumen total (m³) de producción actual de raleo en proyectos de incentivos forestales, para la especie *Cedrela odorata* en Guatemala.....72

Figura 20. Gráfica de distribución del volumen total (m³) proyectado en proyectos de incentivos forestales, para la especie de Cedro en Guatemala.74

Figura 21. Grafica de distribución del Volumen Total de raleos, proveniente de proyectos de incentivos forestales, para la especie de Cedro en Guatemala.75

4. Introducción

Nombre científico¹

Cedrela odorata L.

SINÓNIMOS: *Cedrela ciliolata* S.F. Blake, *Cedrela cubensis* Bisse, *Cedrela dugesii* S. Watson, *Cedrela imparipinnata* C. DC., *Cedrela longipes* S.F. Blake, *Cedrela mexicana* M. Roem., *Cedrela mexicana* var., *puberula* C. DC., *Cedrela occidentalis* C. DC. & Rose, *Cedrela rotunda* S.F. Blake, *Cedrela sintenisii* C. DC., *Cedrela yucatanana* S.F. Blake, y 25 más de América del Sur (o muy viejos).

Nombres comunes

Basado en López (2008), Cojóm (2015), SEDUMA (2014), Salazar et al. (2000)

NOMBRES VERNÁCULOS: En Guatemala, la especie recibe el nombre de cedro o cedro rojo en español y yaou en q'eqchi'. En Yucatán, México el nombre común maya de la especie es kuyché, y en Belice se llama cedar.

OTROS NOMBRES COMUNES: culche (México), cedro amargo (Costa Rica), cedro real (Nicaragua), cedro colorado (El Salvador), cedro cóbano (Centroamérica).

Descripción morfológica

Basado en Salazar et al. (2000), Cordero y Boshier (2003), Herrera y Lanuza (1997), Stevens et al. (2001) citado por López (2008), Niembro (2010), Cintrón (2000)

PORTE DEL ÁRBOL. Árbol caducifolio de hasta 25-30 [40] metros de altura y 0,6-2 [3] m de diámetro a la altura del pecho. Fuste recto, bien formado, cilíndrico. En suelos poco profundos, el cedro desarrolla raíces extendidas y superficiales, y el fuste se apoya en gambas; mientras que, en suelos profundos y fértiles, las raíces son profundas y la base del fuste acanalada. Copa amplia y follaje ralo. Los cedros de gran tamaño tienen un fuste recto, a menudo de 15 a 20 m de largo hasta la primera rama y una base con contrafuertes estrechos.

CORTEZA. Cuando muerta es agrietada, desprendible en placas grandes de color gris; la corteza viva es fibrosa, rosada a rojo oscuro, con olor a ajo y sabor amargo. Los árboles jóvenes desarrollan fustes rectos, de corteza lisa y grisácea y copas estrechas y ralas. A medida que el árbol madura, aparecen fisuras verticales y la corteza se vuelve pardo grisácea a pardo negruzca. Es característica identificadora en los adultos la corteza muy fisurada longitudinalmente, en un patrón regularmente distribuido.

HOJAS. Compuestas, agrupadas al final de la rama, alternas, paripinnadas, rara vez imparipinnadas, sin estípulas, de 15 a 50 cm de largo. Cada hoja tiene 5 a 11 (6-12) pares de folíolos opuestos, lanceolados a ovalados., de 7-15 cm x 3-5 cm, glabros o con una pubescencia corta.

¹ Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 23 jun. 2017 <<http://www.tropicos.org/Name/20400353>>

Criterio identificador: al estrujar las hojas entre las manos dejan un cierto olor a ajo, mucho más fuerte durante la fase de máxima floración.

FLORES. Perfectas, de color blanco, agrupadas en racimos florales o panículas grandes de 20-40 [50] cm al final de las ramas. Como árbol monoico², tiene flores de ambos sexos (unisexuales) en la misma inflorescencia, pero las flores femeninas se abren primero en un mismo árbol, para fomentar la polinización cruzada.

En su área de distribución natural, la floración coincide con la formación de hojas nuevas, al comienzo de la temporada lluviosa.

FRUTOS. Capsula leñosa redondeada en ambos extremos, con lenticelas blancas prominentes, de (3-4) 5-7 cm de largo. Los frutos se abren en el árbol cuando están maduros y liberan las semillas: cambian de color verde a marrón café oscuro, justo antes de que se abran a lo largo en 5 partes, cada una conteniendo 30-40 semillas aladas. Las semillas, café claras, son planas y miden 5-6 mm (18-20 mm incluyendo el ala).

El desarrollo de los frutos toma de 9 a 10 meses y los frutos maduran durante la siguiente temporada seca. Los árboles comienzan a producir fruto a una edad de 10 a 12 años (Cintrón 2000), aunque Herrera y Lanuza (1997) informan que el árbol alcanza su madurez reproductiva a la edad de 15 años, y luego fructifica abundantemente cada año.

Distribución geográfica de la especie

Basado en Cintrón (2000), Salazar et al. (2000), Grogan et al. (2015), Cordero y Boshier (2003), Vázquez et al. (s.f.), Román et al. (2012), Vivero et al. (2006), INAB (2000), CATIE (2001), López (1999), Grogan et al. (2017), Patiño (1997), Niembro (2010).

DISTRIBUCIÓN NATURAL. El cedro es una especie arbórea neotropical, que crece de manera natural desde la latitud 26° N en la costa pacífica de México, hasta alrededor de la latitud 28° S en el norte de Argentina, incluyendo las islas del Caribe. Su área es mayor a la de la caoba del Petén, ya que va más al norte, más al sur y se extiende más en el medio, hasta las Antillas, las Guayanas y el bosque del Atlántico brasileño. Debido a su amplia distribución en el Neotrópico, forma parte de la flora nativa de todos los países latinoamericanos, a excepción de Chile. Se encuentra no solo en los bosques (sub)tropicales húmedos sino también en los estacionalmente secos.

En la parte norte de su extensa área de distribución natural, se encuentra tanto en la vertiente caribeña, desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luis Potosí en México hasta Colón en Panamá, pasando por la península de Yucatán, Petén, Belice, la Mosquitia hondureña y nicaragüense y la costa atlántica costarricense y panameña, como en la vertiente del Pacífico, desde Sinaloa en México hasta el Darién en Panamá, ocurriendo entre otros lugares en Chiapas, El Salvador y Guanacaste.

En su amplio rango de distribución, las densidades poblacionales de *Cedrela odorata* son muy bajas y tienden a ser menores que las de *Swietenia macrophylla*, con algunas excepciones, como por ejemplo la "alta" abundancia del cedro en la topografía empinada de Tikal y bosques adyacentes.

² Especies que tienen flores hermafroditas, es decir, con presencia de aparatos reproductivos de ambos sexos en una sola flor

En Guatemala, el cedro se encuentra en los bosques de la costa pacífica seca (departamentos de Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu), y también en los bosques tropicales húmedos (departamento de El Petén, y la parte norte de Izabal y Alta Verapaz), a ambos lados del país, desde el nivel del mar hasta 1200 m. Fuera de los bosques naturales, el cedro forma colonias en la vegetación secundaria, pastizales abandonados y tierras agrícolas.

Villacorta (1981, citado por López 1999) reporta un "bosque de cedro" de más de 5000 km² en la región que llama de "Fallabón", que comprende Uaxactún, Tikal, Yaloch y Yaxhá, y que Grogan et al. (2015) consideran como una excepción al patrón de abundancia rara típico de la especie. Pero es precisamente en las áreas de aprovechamiento anual de concesiones forestales situadas en esta región (Árbol Verde 2006, La Gloria 2006 y Uaxactún 2005) que Grogan et al. (2017) encontraron poblaciones relativamente densas de cedro dominadas por árboles de futura cosecha.

En la concesión comunitaria de San Miguel La Palotada, dentro de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM), se identificaron tipos de bosque con base en la semejanza florística y estructural entre parcelas de inventario de 1 ha, donde se midieron los árboles a partir de 10 cm dap. El cedro presenta su mayor densidad dentro de la Unidad en el bosque de zapotillo – jobo, con 5 individuos por ha, mientras que la caoba no sobrepasa 1.3 ind/ha en el mismo. Las especies que dominan este bosque son zapotillo de hoja fina *Pouteria durlandii*, jobo *Spondias mombin*, ramón oreja de mico *Brosimum costaricanum*, chechén blanco *Pleradenophora tuerckheimiana* y yaxnik *Vitex gaumeri*; la especie comercial de mayor presencia es el chicozapote *Manilkara zapota*, con 21 ind/ha, y la mejor maderable el malerio colorado *Aspidosperma megalocarpon*, con unos 10 ind/ha (CATIE 2001).

En el año 1991 se realizó un inventario forestal por muestreo en la totalidad de los bosques de Petén, donde se identificaron y midieron todos los árboles y palmas mayores de 25 cm de diámetro. *Cedrela odorata* estuvo presente con 0.216 árboles/ha (UNEPET/SEGEPLAN 1992, citado por López 1999).

En las Áreas de Aprovechamiento Anual (AAA) 2005-2006 de 11 concesiones forestales ubicadas en la Reserva de la Biósfera Maya (RBM), el cedro mostró una abundancia media de 0.15 árboles con dap \geq 30 cm por hectárea (rango 0.0-0.79), según los datos de los respectivos censos comerciales (a manera de comparación, la caoba presentó en las mismas AAA una abundancia media de 2.25 ind/ha) (Grogan et al. 2017). La densidad promedio de árboles de tamaño comercial $>$ 60 cm de diámetro fue de cinco árboles por 100 ha (rango: 0–22) y la densidad promedio de árboles $>$ 90 cm de diámetro fue de solo un árbol por 100 ha (rango: 0–4).

En las áreas forestales permanentes del sur de Quintana Roo, México, el cedro está presente con 0.647 árboles con DAP \geq 15 cm por hectárea en promedio (rango 0.028 en Noh Bec - 2.529 en Botes) (Patiño 1997).

LUGARES DE INTRODUCCIÓN. La especie ha sido introducida en diversas regiones de África (Nigeria, Tanzania, Ghana, Sierra Leona), en el sur de Florida y en las islas Fiji. También ha tenido éxito en Trinidad como sombra de café y de cacao.

Aptitud forestal – agroforestal

Basado en López (1999), Grogan et al. (2017), Cordero y Boshier (2003), Cintrón (2000), Jiménez (2012), INAB (2015)

En Petén la extracción del cedro por su madera tomó importancia económica significativa desde el final del siglo XIX. En las márgenes del río Mopán se ejecutaron cortes de caoba y cedro, trabajando la casa comercial Doumgh & Co. con “muy buenos resultados” (tan es así que todavía en la década de los cuarenta, esta compañía extrajo del municipio de Melchor de Mencos más de siete millones de pies cúbicos de madera).

Ya son más de 100 años que se aprovecha el cedro en bosques naturales guatemaltecos. Si bien durante largo tiempo hubo poca o ninguna preocupación para un manejo sostenible del recurso (siendo el periodo 1983-1993 caracterizado por el último saqueo “espectacular” del cedro en Petén), las cosas cambiaron.

A partir de 1994, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas logró otorgar paulatinamente concesiones forestales en casi toda la zona de usos múltiples de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM). Las actividades extractivas de cada concesión están reguladas por criterios de manejo sostenible (CONAP 2012, Manzanero 2005a+b, Grogan et al. 2017), buscando la certificación del FSC (por sus siglas en inglés: Forest Stewardship Council).

Las conclusiones de una investigación reciente sobre el estado de conservación de las poblaciones de cedro en 11 concesiones forestales de la RBM, están extremadamente prudentes acerca del futuro de la especie: “con un grado bajo de certeza, la mayoría de poblaciones de *Cedrela* que tenían densidades extremadamente bajas a escala de paisaje recuperarán la densidad comercial pre cosecha durante el primer ciclo de corta, pero el volumen de producción será mucho menor durante la segunda cosecha. El bajo grado de certeza de la afirmación anterior solo puede mejorarse con datos empíricos que describan las tasas de crecimiento y mortalidad del cedro en la RBM.” (Grogan et al. 2017).

La excelente calidad de su madera, aunada a un crecimiento muy rápido, ha hecho del cedro una especie deseada y muy plantada con fines industriales. El mayor problema a la plantación del cedro es su susceptibilidad al barrenador del tallo *Hypsipyla grandella*. Esta palomilla puede atacar diversas estructuras del árbol, pero el daño principal lo causa al barrenar el brote principal en árboles jóvenes, lo cual provoca ramificación, bifurcaciones, y así, el valor comercial del árbol resulta disminuido o anulado. Sin embargo, una vez superada la etapa vulnerable de brinzal, la especie puede desarrollar todo su potencial productivo.

Esta palomilla puede atacar diversas estructuras del árbol, pero el daño principal lo causa al barrenar el brote principal en árboles jóvenes (ver figura 1), lo cual provoca ramificación, bifurcaciones, y así, el valor comercial del árbol resulta disminuido o anulado. La inminente incidencia de esta plaga en plantaciones puras o significativas proporciones en arreglos mixtos y la falta de un manejo adecuado, le han generado fama para considerarse sin aptitud para programas de reforestación (ver figura 1), sin embargo, experiencias recientes en campo prueban es posible alcanzar el potencial productivo implementando estrictos planes para la prevención y control de dicha plaga.



Figura 1. Daño que provoca el barrenador de los brotes *Hypsipyla grandella* en las plántulas de las especies de la familia Meliaceae, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.

Los programas de reforestación PINFOR (Programa de Incentivos Forestales), PINPEP (Programa de Incentivos Forestales para Poseedores de Pequeñas Extensiones de Tierra de Vocación Forestal o Agroforestal) y PROBOSQUE (Programa de Incentivos para el Establecimiento, Recuperación, Restauración, Manejo, Producción y Protección de Bosques en Guatemala) promueven el uso del cedro, especie considerada prioritaria institucionalmente, para establecer plantaciones forestales para la producción de madera o como componente de sistemas agroforestales.

Plantaciones puras

Esta modalidad de plantación ha sido una de las opciones preferidas para el silvicultor, debido a que simplifica la toma de decisiones respecto al manejo silvicultural y la especie ha demostrado plena aptitud al favorecerse por la competencia intraespecífica³, sin embargo, ha reducido el interés debido a los daños ocasionados por plaga (barrenador del brote) que aprovecha la disponibilidad de alimento.

Es por ello por lo que merece especial atención el manejo (control mecánico y químico) de la palomilla de los brotes *Hypsipyla grandella*, que ofrece una oportunidad para producir árboles con fustes rectos, sin bifurcaciones apicales y prometedora altura comercial, las cuales son características sobresalientes para fines maderables (INAB 2015).

³ Relación Intraespecífica: interacción biológica en entre organismos de la misma especie

Plantaciones mixtas

Uno de los argumentos de realizar distintos grados de mezcla es “esconder” o reducir la incidencia del barrenador del brote, bajo el criterio de manejo integrado de plagas, que se basa en que al no disponer de alimento continuo, el insecto no logra trasladarse con facilidad de un árbol a otro y reducirá su presencia; sin embargo, de acuerdo con las observaciones en unidades de muestreo (parcelas permanentes de medición forestal) y fincas visitadas, el criterio no se cumple solo con el hecho de establecer las plantaciones mixtas y dejarlas crecer, es decir, “si no se toman las medidas de prevención y control adecuado para el barrenador del brote, este afectará los árboles con una significativa incidencia”, sean plantaciones puras o mixtas.



Figura 2. Plantación mixta de Cedro *Cedrela odorata* y Caoba de Petén *Swietenia macrophylla* intercaladas en el mismo surco y Palo Blanco *Tabebuia donnell-smithii* entre surcos, con una edad de 6 años, en Hacienda Magdalena, Retalhuleu, Guatemala.

La figura 2, representa la mezcla de caoba, cedro y palo blanco, dicha combinación se ha establecido considerando que cedro y caoba comparten características similares (por ser meliáceas), desde la semilla, crecimiento, preferencia por el barrenador del brote, turno de corta, hasta características y valor de la madera (aunque el cedro no supera el precio de la caoba); la decisión de establecer este tipo de arreglos mixtos debe tomarse con precaución, ya que en la práctica, se presentan algunas complicaciones al no planificar adecuadamente su diseño, ya que se observó en la mayoría de las plantaciones visitadas que, aun teniendo la misma edad, el cedro presenta mejores dimensiones (diámetro y altura) que la caoba, en consecuencia, el manejo de la caoba se ve comprometido, debido a que en los raleos o aclareos el silvicultor puede preferir dejar el cedro en vez de la caoba, arriesgando el valor comercial de la plantación.

En la figura anterior, en el surco de en medio, el árbol de enfrente corresponde a la especie cedro, la que sigue corresponde a la especie caoba de Petén (más delgada) y en los surcos de los costados (izquierda y derecha) la especie palo blanco; así mismo, logra observarse que el cedro presenta un mayor diámetro, en comparación con la caoba de Petén, ofreciendo según lo indicado por el Sr. Ricardo Bressani⁴, cierta complicación para la toma de decisiones cuando se realicen los raleos, debido a que es lógico ralear los árboles con menor diámetro, pero a la vez se vuelve un criterio ilógico ralear los árboles que representan un mayor valor comercial futuro (refiriéndose a Caoba).

A los 6.3 años de edad, la plantación mixta en proporción de 15% de la densidad inicial para Caoba de Petén, 15% de la densidad inicial para Cedro y 70% de densidad inicial para palo blanco, expresa los siguientes incrementos: incremento medio anual (IMA) de 2.36 cm en DAP e IMA de 1.56 m de altura para Cedro; IMA de 1.96 cm de DAP e IMA de 1.60 m de altura para Palo Blanco y un IMA de 1.70 cm de DAP e IMA de 1.5 m de altura para Caoba de Petén.

Sistemas agroforestales

El cedro se usa con frecuencia en sistemas agroforestales con cultivos perennes o anuales, como sombra de café o de cacao, en linderos o cercas vivas. Por lo general, los árboles jóvenes son respetados por propietarios de tierras cuando se corta el bosque para hacer potreros, usos agrícolas o huertos familiares; por ello, los individuos de diversos tamaños son frecuentes dentro de las fincas.

Pero su uso como árbol de sombra en cafetales es quizás el más común entre pequeños productores. IHCAFE (Instituto Hondureño del Café) en Honduras promueve un sistema que asocia *Inga spp.*, con *Cedrela odorata* como sombra para café, donde el cedro reemplaza progresivamente a *Inga* como sombra permanente. El sistema está diseñado para dar valor al cafetal y reducir el problema del barrenador del tallo de las meliáceas.

En Guatemala, la especie es componente importante del sistema agroforestal "Producción de café en asocio con especies maderables". Dos fincas de la zona sur del país que practican este sistema desde varias decenas de años han sido identificadas por el INAB como experiencias exitosas de manejo forestal en el país, y propuestas como sitios demostrativos (Finca El Parraxé, municipio de Samayac [Suchitepéquez]; finca El Gudiela y Los Abanicos, municipio de Chiquimulilla [Santa Rosa]).

⁴ Sr. Ricardo Bressani. 23 de Octubre de 2018. Raleos en plantaciones mixtas de Cedro, Caoba y Palo Blanco. (Entrevista). Retalhuleu, Guatemala. Propietario de Hacienda Magdalena.

En la parte norte de Guatemala, especialmente en las regiones de Livingston, Izabal, es común encontrar asocios donde especies meliáceas como cedro y caoba de Petén conforman la sombra para la especie agrícola cacao *Theobroma cacao*; tal es el caso de finca Kampura (distanciamientos de árboles maderables de 4 m * 4 m) y Hacienda Río Dulce (distanciamientos de árboles maderables de 3 m * 3 m), ambas en Livingston, Izabal, donde los propietarios están conscientes de que las especies maderables son de largo plazo y con el ánimo de incentivar la inversión para el manejo adecuado de las especies forestales, se ha recurrido a una excelente opción, que consiste en realizar la mezcla con cacao y de esa cuenta percibir ingresos anuales que superen los costos necesarios para el mantenimiento del sistema, especialmente los costos para la fertilización (en búsqueda del vigor) y el combate de *Hypsipylla grandella* en las especies maderables.

Otro tipo de sistema agroforestal, esta vez de “árboles en contorno” (distanciamiento de 1.5 m * 1.5 m) ubicada en el Chal, Petén, puede observarse que las dimensiones de los árboles de cedro superan en incremento a los árboles de la especie caoba de Petén.



Figura 3. Sistema agroforestal de árboles en contorno de Cedro y Caoba de Petén, con una edad de 2 años, El Chal, Petén, Guatemala.

Usos

Basado en Cintrón (2000), Cordero y Boshier (2003), Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003), Santizo (2007), Niembro (2010)

La madera del cedro tiene una alta demanda en cualquier país latinoamericano donde se encuentra disponible todavía, debido a que es naturalmente resistente a las termitas y a la pudrición, y muy fácil de trabajar. De hecho, ha abastecido el mercado internacional bajo el nombre de "Spanish Cedar", "Cigar-box Wood" o "Red Cedar" durante los últimos 200 años.

La albura es de color pardo amarillento y el duramen beige rosado a pardo rojizo; la transición entre albura y duramen es abrupta. La madera es decorativa, de superficie brillante, olor aromático característico y sabor amargo. La madera tiene densidad media a alta: 0.33-0.60 g por cm³ (0.42-0.63 según Niembro 2010). Textura media, lisa al tacto, grano recto a ligeramente entrecruzado. Sus propiedades mecánicas son de muy bajas a bajas, comparables a la caoba de Petén. Duramen durable en ambientes secos, y difícil de preservar.

La albura es fácil de preservar. Resistente a las termitas, pero no a barrenadores marinos (no se recomienda para construcción marina). La madera enterrada o sumergida se pudre con facilidad. Fácil de secar, con velocidad moderada (16 días al aire hasta tasa inferior al 20%) y ligeros defectos como arqueaduras y torceduras. Fácil de trabajar con maquinaria y herramientas manuales: aserrar, cepillar, torneare y lijar y los acabados son excelentes. Fácil de encolar y retiene bien los clavos y tornillos. Madera con elevado lustre y diseño cromático.

La madera del cedro se usa en construcción ligera de edificios (puertas, marco para puertas y ventanas, cornisas, rodapiés, escaleras, lambrín y parqué), decoración de interiores, construcción de barcos (cubiertas y forros); muebles finos, instrumentos musicales, baúles, cajas de puros y estuches; carpintería y ebanistería en general. También se usa para chapa decorativa (rebanada y desenrollada) y tablero contrachapado. El buen olor de la madera hace que se prefiera para joyeros, cajas de cigarrillos, muebles y roperos, pues protege contra el ataque de polillas. En El Salvador se usaba tradicionalmente para la fabricación de las camas de carretas, y en la Mosquitia hondureña es muy buscada para la construcción de pipantes (canoas).

En época de floración es visitada por las abejas pues es una buena especie melífera. La producción de néctar del cedro es abundante si el tiempo es favorable. Los árboles solitarios florecen copiosamente. La infusión que se obtiene del cocimiento de hojas, raíz, madera, y corteza se usa para bronquitis, dolor estomacal, problemas de la digestión, hemorragias, y epilepsia. Las semillas poseen propiedades vermífugas y la corteza abortivas y febrífugas.

Importancia de la especie en el país

Basado en Estadísticas PINFOR-PROBOSQUE 1998-2018⁵, Estadísticas PINPEP 2007-2017⁶

⁵ INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018. Base de datos PINFOR-PROBOSQUE (Programa de Incentivos forestales y Programa de Incentivos para el establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala) 2000-2017. Guatemala, departamento de Incentivos forestales del INAB.

⁶ INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2017. Base de datos PINPEP (Programa de Incentivos forestales para Poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal) 2007-2017. Guatemala, departamento de Incentivos forestales del INAB.

El cedro es una de las principales especies maderables explotada y comercializada en la actualidad en Guatemala, al tener, a nivel mundial, un mercado completamente desarrollado (FAO 2004). CONAP la clasifica como AAACOM (Especies valiosas muy cotizadas con un precio más elevado que las demás en el mercado nacional), una de las dos únicas especies peteneras de uso maderable principalmente en ebanistería, actualmente muy valiosas y cotizadas en el mercado nacional e internacional⁷. Por ahora, su importancia principal descansa en las existencias de la especie en el bosque natural, y en la conservación de las mismas, más que en sus plantaciones.

De hecho, el modelo financiero de las concesiones forestales en Petén se ha apoyado, en gran parte, en la venta de *Swietenia macrophylla* y, en menor medida, de *Cedrela odorata*. En el 2013, el 55% del volumen cosechado y el 85% de los ingresos forestales comunitarios provinieron de estas dos especies, según información del CONAP y de Forescom (Grogan et al. 2015).

El país es el principal exportador de cedro de la región hacia los Estados Unidos. El 69% de la madera de esta especie importada por los Estados Unidos en el 2011 desde la región centroamericana, con un valor de 400 mil dólares, provenía de Guatemala. Durante el periodo 2008-2012, el país exportó un total de 3200 m³ de madera de *Cedrela odorata*, por un valor 2.7 millones de dólares (Navarro et al. 2014).

Hasta el año 2018, la especie ha sido establecida mediante reforestaciones (plantaciones puras) esencialmente en la zona norte de Guatemala, principalmente en Petén, Alta Verapaz, Chiquimula, Zacapa e Izabal (por orden de área plantada). Petén presenta la mayor extensión de plantación, y su municipio Sayaxché alberga la mayor superficie de plantación de cedro en el país (210 hectáreas), seguido por La Libertad (66.54 hectáreas), San Francisco (63.53 hectáreas) y Poptún (61.56 hectáreas). En Alta Verapaz encabezan los municipios de Cobán (111.55 hectáreas) y Fray Bartolomé de las Casas (106.29 hectáreas).

En la actualidad, las reforestaciones derivadas de los programas de incentivos PINFOR-PROBOSQUE redujeron considerablemente, en comparación con el área plantada al inicio del programa PINFOR, al punto que, durante el año 2015 y 2016 se reporta un promedio de 16.45 hectáreas anuales reforestadas con cedro, aunque durante el año 2017 y 2018 (inicio del programa PROBOSQUE) la tendencia es a mejorar, ya que se reporta un promedio de 44.49 hectáreas anuales en los últimos dos años (figura 4).

Por su parte, los pequeños poseedores de tierra, mediante el programa PINPEP, expresan su interés en el aumento del área de plantación de cedro, aunque en cantidades pequeña; desde el año 2007 hasta el año 2017, las reforestaciones de cedro con PINPEP tienen un promedio anual de 11.84 hectáreas, dicho promedio se ve superado por las reforestaciones en los últimos dos años, teniendo un promedio de 21.68 hectáreas anuales (ver figura 5). Con respecto a los sistemas agroforestales, su preferencia es obvia, donde, a partir del año 2007 hasta el año 2017, se han plantado 1142.62 hectáreas de cedro en distintos arreglos de sistemas agroforestales (ver figura 6).

⁷ Zac Cruz, W. 21 oct. 2013. Archivo Excel *Listado de especies arbóreas inventario integrado de Petén 2*. San Benito, Guatemala, CONAP Región VIII.

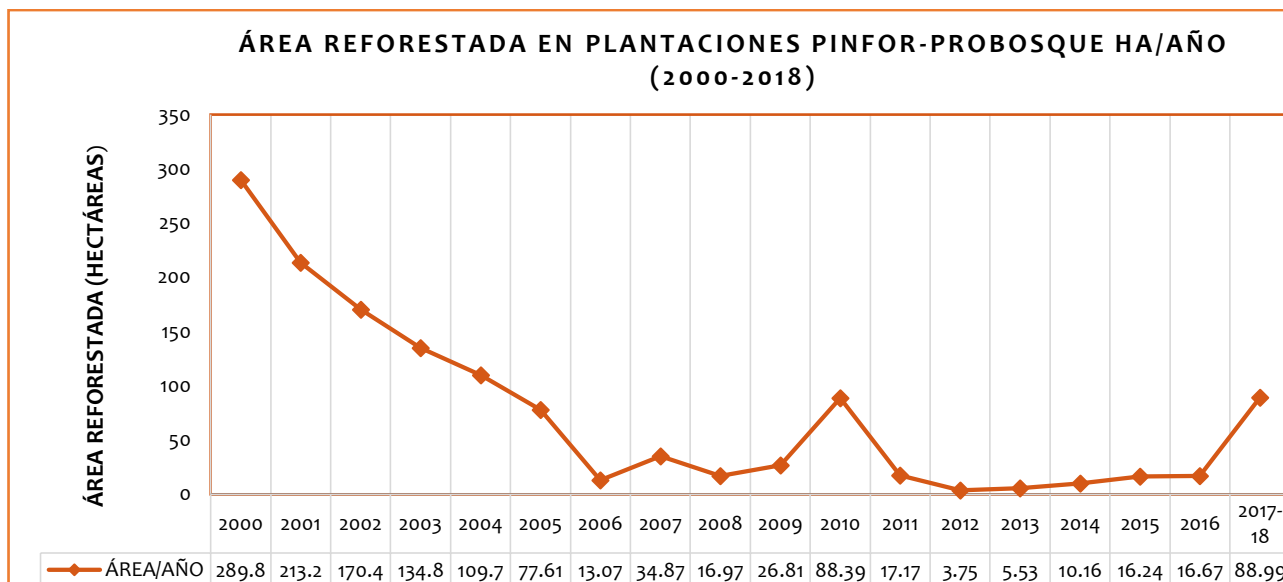


Figura 4. Gráfica de la tendencia de las reforestaciones realizadas con Cedro por medio de programas de incentivos forestales PINFOR-PROBOSQUE en el periodo 2000-2018 en Guatemala.

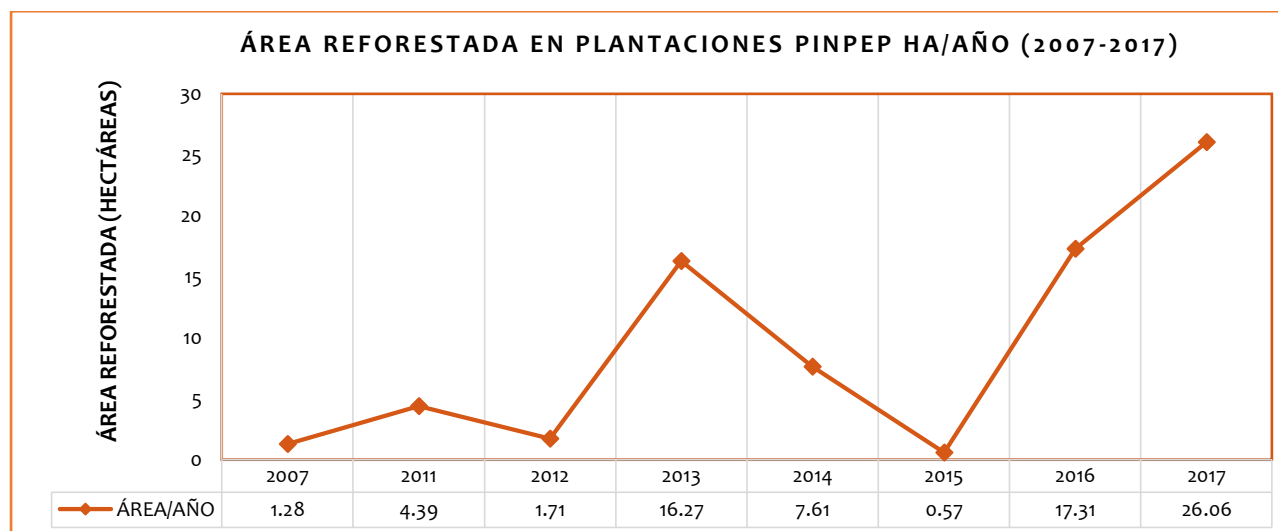


Figura 5. Gráfica de la tendencia de las reforestaciones realizadas con cedro por medio del programa de incentivos PINPEP en plantaciones puras, periodo 2007-2017 en Guatemala.

Los sistemas agroforestales son una excelente alternativa para el aumento de la cobertura forestal, para la diversificación de la producción a los propietarios o poseedores y apoyo de forma general a la estrategia de restauración del paisaje forestal; esta oportunidad ha sido aprovechada por los poseedores mediante el programa PINPEP, donde se reporta desde el año 2007 hasta el año 2017 un número total de proyectos de 1094 que suman un área total de 1142.62 hectáreas de cedro en distintas combinaciones de arreglos agroforestales, el área por proyecto es muy variable, reportándose rangos de áreas que van desde 0.01 hectáreas hasta 15.00 hectáreas (ver figura 6).

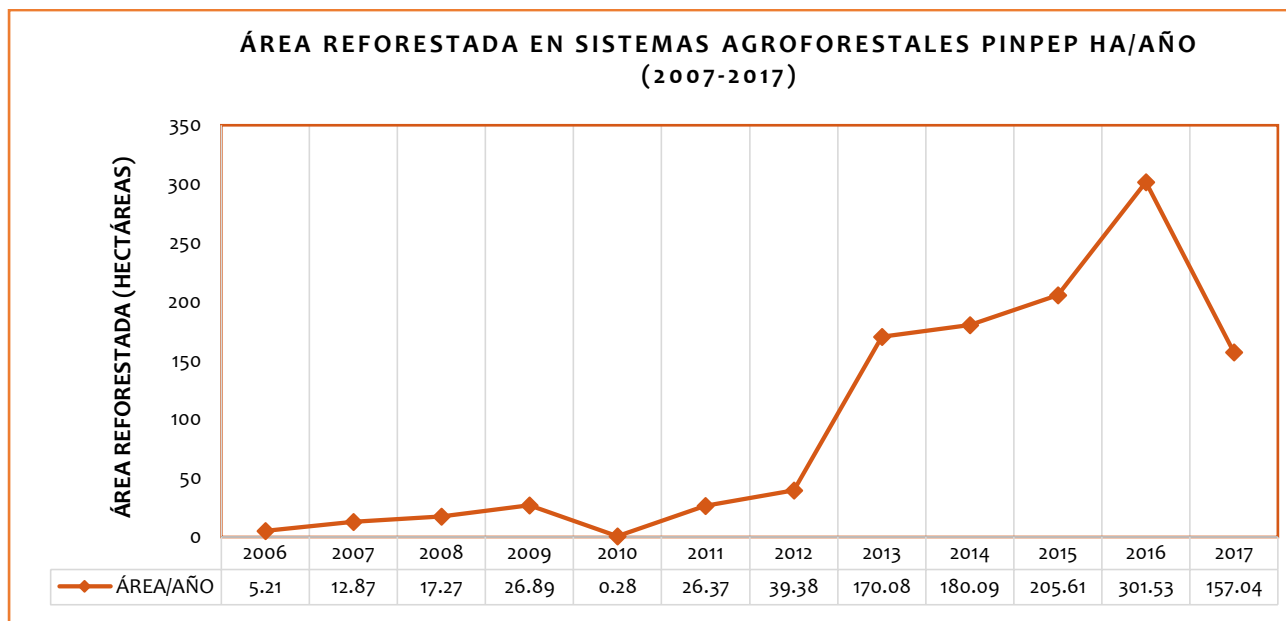


Figura 6. Gráfica de la tendencia del establecimiento de cedro en distintas combinaciones de sistemas agroforestales con incentivos PINPEP, periodo 2007-2017 en Guatemala.

Estado de protección legal de la especie en el país

Basado en CONAP (2009), Vivero et al. (2006), Navarro (2002)

Cedrela odorata es una especie protegida por el CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas), por medio del Listado de Especies Amenazadas (LEA); la institución le asignó la categoría 2, la cual incluye a las especies de distribución restringida a un solo tipo de hábitat (endémicas). Su aprovechamiento con fines comerciales se regulará a través de planes de manejo técnicamente elaborados, los cuales serán aprobados siempre y cuando se garantice la sobrevivencia de la especie o especies de que se trate. Su uso en áreas protegidas requerirá una herramienta de evaluación ambiental.

En el listado de especies amenazadas del CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), *Cedrela odorata* está incluido en el Apéndice III. Esta lista comprende todas las especies que cualquiera de las partes firmantes del convenio manifiesta que se encuentran sometidas a reglamentación dentro de su jurisdicción con el objeto de prevenir o restringir su explotación, y que necesitan la cooperación de otras partes para el efectivo control de su comercio. Las autoridades de Guatemala, Colombia y Perú han declarado sus respectivas poblaciones de cedro dentro del Apéndice III.

Vivero et al. (2006) precisan además que, con base en las categorías y criterios de la UICN, el cedro es considerado vulnerable en Guatemala, por la reducción del tamaño de sus poblaciones, consecuencia tanto de la disminución drástica de su área de distribución natural como del nivel de aprovechamiento actual o potencial.

Es tan así que Navarro (2002) estima que *Cedrela odorata* en estado natural ha sido exterminado en toda su área y que en la mayoría de los casos sobrevive principalmente como una especie "domesticada" en huertos caseros, pastizales, cafetales y otros hábitats artificiales. Este autor considera que el sitio natural más importante para la conservación de la especie en Mesoamérica es el Parque Nacional Tikal en Guatemala.

5. Selección de sitio

Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie

Basado en Cintrón (2000), Cordero y Boshier (2003), Niembro (2010), Vázquez et al. (s.f.), Rivera et al. (2010), Vivero et al. (2006), Salazar et al. (2000), Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003), Grogan et al. (2017), Holdridge (1943) citado por Cintrón (2000), Guevara (1988), Alvarado (2012), Webb et al. (2001)

Clima

TEMPERATURA: En la parte caribeña del área de distribución del cedro, la temperatura media anual oscila entre 23-26°C, en tanto que en la región tropical de América del Sur la media anual ronda los 28°C (Cintrón 2000). Cordero y Boshier (2003) y Niembro (2010) dan un rango mayor de la temperatura media anual dentro del área de distribución natural de *Cedrela odorata*: 20-32 °C, con temperaturas extremas más extremas: 27-36 °C para T máxima media del mes más cálido y 11-22 °C para T mínima media del mes más frío.

La distribución del cedro se encuentra en su mayor parte dentro de los trópicos libres de heladas, aunque se le ha encontrado en las latitudes 26° N y 28° S, en donde se pueden esperar unas heladas ligeras ocasionales.

PLUVIOMETRÍA: Según Niembro (2010), el cedro crece en sitios con precipitación media entre 1600 a 2500 mm por año, con una estación seca de 3 a 4 meses, mientras que para Cordero y Boshier (2003), los rangos son más amplios (precipitación media anual entre 1200 y 3000 mm, estación seca de 0 hasta 6 meses). La especie tolera una larga temporada seca.

El cedro sobrevive en las áreas con una menor precipitación (hasta de aproximadamente 1000 mm anuales), pero crece con lentitud y muestra una forma achaparrada. Se encuentra también ocasionalmente en áreas que reciben hasta 3500 mm de precipitación, pero solamente en los sitios muy bien drenados.

Sin embargo, y en contraste con la información anterior, Vázquez et al. (s.f.) indican que, en México, el cedro se desarrolla en zonas con precipitaciones entre 2500 y 4000 mm anuales; y se cultiva aún con 5000 mm de lluvia. En Costa Rica, Rivera et al. (2010) reportan, en su diagnóstico del estado poblacional de *Cedrela odorata* a nivel nacional, haber inventariado 12,110 árboles con dap mayor o igual a 10 cm: 62% de ellos crecen bajo precipitaciones anuales entre 3000 y 4999 mm, 19 % con menos de 3000 y 19% con más de 5000 mm.

ZONA DE VIDA: El cedro se encuentra naturalmente desde el bosque subtropical seco (en la parte transicional húmeda) en México y en parte de las Antillas, luego en el bosque subtropical húmedo y muy húmedo de las islas del Caribe, hasta las zonas de vida tropical húmeda, muy húmeda y premontana húmeda y muy húmeda en las regiones centroamericanas y ecuatorial.

En México, *Cedrela odorata* llega a ser, en su distribución vertical, un componente del bosque de pino-encino. En Guatemala, se encuentra tanto en los bosques de la costa pacífica seca, como en los bosques tropicales húmedos, a ambos lados del país.

Fisiografía

ALTITUD: El cedro muestra mayor abundancia en altitudes que van entre el nivel del mar y 1200 (0-800-1000) msnm, aunque puede llegar hasta los 1700 (México) o 2000 (Costa Rica) msnm.

En los bosques húmedos, *Cedrela odorata* es sustituido a mayores elevaciones por *Cedrela tonduzii*, *C. angustifolia* y *C. montana*, esta última especie ocurriendo exclusivamente en los países andinos.

PENDIENTE DEL TERRENO: La especie prefiere terrenos rocosos y empinados, preferencia que conlleva a que el cedro aparezca en parches dentro del paisaje de la RBM.

POSICIÓN EN EL PAISAJE: En las áreas de su distribución con mayor precipitación, el cedro invariablemente se encuentra en las cimas, parte superior de las pendientes, ruinas arqueológicas y a la orilla de los caminos y carreteras o en otras áreas con un suelo usualmente bien aireado.

Suelo

TEXTURA: El cedro es exigente en cuanto a sus requisitos de suelo, aunque hasta ahora estos requisitos no se entienden con exactitud.

En las Antillas se le puede encontrar de manera más común en las arcillas derivadas de piedra caliza, pero crece también en sitios bien drenados sobre suelos ácidos derivados de rocas volcánicas (Ultisoles). El denominador común parece ser el drenaje y la aireación del suelo y no su pH. En Trinidad, el único factor común a todos los sitios mostrando un buen crecimiento fue el buen drenaje superficial. De igual manera, en México y América Central, el cedro es común en los suelos y ruinas bien drenados.

La fertilidad del suelo puede ser también importante, ya que en algunos experimentos el cedro creció de mejor manera en los suelos enriquecidos con los restos quemados del bosque secundario. Los síntomas de estrés ocasionado por los suelos pobres son: una apariencia quemada de las raíces, el desarrollo de una forma de "sauce llorón" en los brinzales (las hojas se vuelven delgadas y pendientes) o la pérdida de hojas a intervalos irregulares durante la temporada lluviosa.

Guevara (1988) precisa las siguientes características que promueven un crecimiento rápido del cedro, establecidas a partir de una recopilación de información pedológica colombiana: 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 suelo), profundos, bien drenados, aireados, con buena disponibilidad de elementos mayores y bases intercambiables.

Síntesis del conocimiento actual: el cedro requiere suelos profundos, bien drenados y aireados, con buena fertilidad, especialmente en fósforo, potasio y calcio, de textura variada, desde ligera a pesada, y pH ácido a neutro (pH 5-7). Si se compara el cedro con la caoba, con la que se encuentra estrechamente relacionado, el cedro es mucho más demandante en cuanto a requisitos del sitio, especialmente en cuanto al drenaje.

FACTORES LIMITANTES: No tolera el encharcamiento ni niveles altos de zinc, hierro y aluminio⁸. No prospera en los sitios con suelos densos o anegados.

Distribución potencial de la especie en Guatemala

Romero (2019) en coordinación con el departamento de Investigación Forestal del INAB desarrolla una metodología para conocer la distribución potencial de Cedro en Guatemala, mediante el análisis multicriterio a través del uso de sistemas de información geográfica, analizando información climática, edáfica y fisiográfica obtenida mediante revisión bibliográfica, disponibilidad de variables ambientales en la cartografía nacional y la ubicación de puntos de presencia de la especie en el país consultadas en las bases de datos biológicas (GBIF), herbarios, documentos científicos publicados y base de datos de parcelas permanentes de medición forestal (PPMF).

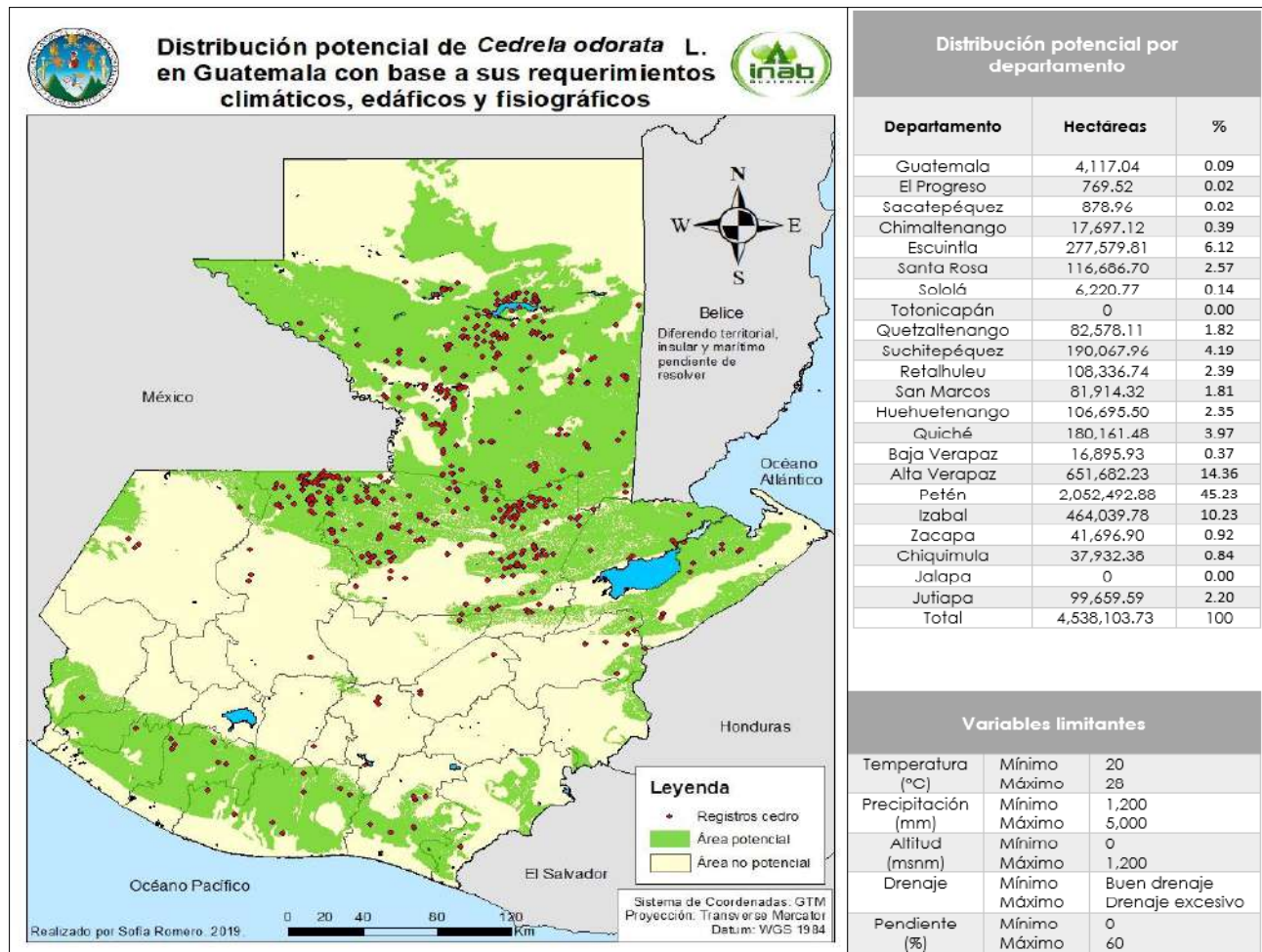


Figura 7. Mapa de distribución potencial de *Cedrela odorata* L. en el territorio de Guatemala (fuente: Romero, 2019).

⁸ Alvarado (2012), citando a Webb et al. (2001), describe en un cuadro los síntomas de la deficiencia foliar desarrollados a nivel de invernadero por *Cedrela odorata*, utilizando la técnica del elemento faltante. Pero la "guía visual para los trastornos nutricionales de *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*" de Webb et al. (2001), ilustrada con muchas fotografías, constituye sin duda la herramienta más práctica para un diagnóstico de campo.

El 41.67% del territorio nacional se considera apto para fines de producción, conservación y restauración de la especie, con base a registros de temperatura promedio anual, precipitación promedio anual, altitud, drenaje y pendiente del terreno; Petén, Alta Verapaz e Izabal son los tres departamentos con mayor área potencial (45.23%, 14.36% y 10.23% respectivamente), abarcando más del 68% del área potencial para cedro en el país; en cuanto a la relación que existe entre el área potencial para la especie y las existencias de plantaciones forestales por departamento, El Progreso, Guatemala y Sacatepéquez son los departamentos donde se ha aprovechado mejor la aptitud de la especie (2.36%, 0.27% y 0.22% respectivamente).

En el mapa puede observarse la ubicación de los puntos de presencia con registro (puntos de color rojo en el mapa) y su coincidencia con el área de distribución potencial. El mapa constituye una herramienta de análisis previo para la correcta selección del sitio para proyectos de reforestación, en este caso con una especie preciosa o de alto valor comercial; sin embargo, para una selección de sitio más precisa deberá analizarse las condiciones climáticas, edáficas y fisiográficas a detalle para cada sitio en particular haciendo un especial énfasis en evitar establecer reforestaciones en sitios con condiciones adversas (presencia de factores limitantes) para la especie.

Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie

Basado en Cintrón (2000), Wightman et al. (2006), Vázquez et al. (s.f.), Rivera et al. (2010), Guevara (1988), Hilje y Cornelius (2001)

Cedrela odorata crece mejor en climas estacionalmente secos. Su mejor desarrollo lo alcanza con precipitaciones medias anuales de 1200-2400 mm y una estación seca de 2 a 5 meses de duración. Sin embargo, puede desarrollarse perfectamente en áreas con una precipitación hasta de 5000 mm: lo importante, es respetar las características climáticas del sitio a reforestar y usar material genético proveniente de una zona de vida y altitud sobre el nivel del mar similar. Guevara (1988) coincide en la importancia de la zona de vida como criterio discriminatorio.

El cedro es una especie adaptable a diferentes tipos de suelo, pero crece mejor en suelos fértiles y de buen drenaje. Soporta los suelos rocosos, pero no los que se inundan. No se recomienda para sitios degradados, cuyos suelos estén muy compactados y tengan poca materia orgánica. Para Colombia, Guevara (1988) considera que para lograr el establecimiento de una plantación sana y vigorosa de *Cedrela odorata*, es esencial plantar la especie sobre suelos francos, con buen drenaje, aireados, fértiles y medianamente ácidos.

Pareciera que en suelos con altos niveles de calcio la incidencia del ataque de *Hypsipyla grandella* es menor, pero este hallazgo aún requiere mayor sustento experimental. En todo caso, no tiene sentido seleccionar sitios de excelente calidad si no se mantiene adecuadamente la plantación en los primeros años (ningún tipo de vegetación acompañante, o maleza, debe sobrepasar la altura de los árboles).

La especie no es resistente a los incendios, además, el cedro se adapta muy bien a las plantaciones en sistema multiestrato⁹.

⁹ Es un sistema diversificado que combina cultivos, producción de frutos, leña y madera para construcción, mueblería o partes de exportación.

Ejemplos de buena o mala elección

Basado en Wightman et al. (2006), Guevara (1988), Cintrón (2000), Hilje y Cornelius (2001), Cordero y Boshier (2003)

En Ucayali (Amazonia peruana), se ha observado que el cedro crece mejor en sistemas agroforestales establecidos en sitios cercanos a los ríos (en terrazas medias y bajas); allí es común registrar un crecimiento del diámetro de los árboles de 2 a 4 centímetros por año. En Colombia también, la asociación agroforestal en zonas aluviales se presenta como la mejor alternativa para el cultivo de la especie.

Los intentos para cultivar *Cedrela odorata* en sistemas de plantación en América Latina fueron hasta hace poco un fracaso. Estos fracasos se han atribuido a la mala selección de los sitios (demasiado húmedos, suelos no apropiados), a un mayor riesgo de ataque por los insectos a las poblaciones artificialmente densas y a un concepto falso sobre los requisitos de luz de la especie. Sin embargo, unos cuantos intentos exitosos podrían señalar el camino a seguir para los experimentos productivos en el futuro. Bajo unas condiciones secas, el cedro se cultivó con éxito en unas plantaciones en Ecuador sin sombra alguna y sin ningún problema con *Hypsipyla*. Se han establecido unas plantaciones en hileras con éxito en Surinam y se ha usado el método taungya en México.

Las plantaciones en fajas de enriquecimiento no han dado muy buenos resultados porque les falta luz. Sin embargo, no debe descartarse la posibilidad de plantar cedro en fajas de enriquecimiento de bosques, con la condición de que se haga en ellas un mantenimiento continuo en que, sobre todo, se permita la entrada de suficiente luz.

En muchos países no se planta el cedro por la amenaza de la palomilla *Hypsipyla*, plaga que aleja a los cultivadores. Sin embargo, las experiencias que se han hecho demuestran que es posible cultivar esta importante especie si se aplica un manejo adecuado a la plantación.

Pero, "es esencial como primer paso escoger un sitio de buena calidad", consideración crítica para el manejo del barrenador de las meliáceas *Hypsipyla grandella*. 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 de la palomilla se presentan como episodios periódicos, los árboles de mayor rapidez en su crecimiento tendrán mayor oportunidad de desarrollar secciones intactas del tallo relativamente largas.

En la costa sur de Guatemala, especialmente en el departamento de Retalhuleu, la Hacienda Magdalena ha reforestado un arreglo mixto (cedro, caoba y palo blanco), los incrementos reportados mediante Parcelas Permanentes de Medición Forestal expresan que: a los 6.3 años de edad, la plantación mixta en proporción de 15% de la densidad inicial para Caoba de Petén, 15% de la densidad inicial para Cedro y 70% de densidad inicial para palo blanco, reporta un incremento medio anual (IMA) de 2.36 cm en DAP e IMA de 1.56 m de altura para Cedro. Este aspecto nos permite reflexionar acerca del potencial del crecimiento que tiene cedro en la costa sur de Guatemala, ya que sus incrementos superan los valores de crecimiento promedio típicos para sitios excelentes en Guatemala (IMA en DAP de 1.54 cm e IMA en altura de 1.03 m versus el IMA en DAP de 2.36 cm e IMA en altura de 1.56 m de altura obtenidos en hacienda Magdalena, Retalhuleu). Aunque en dicho arreglo mixto, se refleja que aun siendo de la familia de las meliáceas, el cedro tiene mayor crecimiento que caoba.

6. Producción de plántulas y genética

Diversidad genética y procedencia

Basado en Cintrón (2000), Ramírez et al. (2012), Navarro (2002), Newton et al. (1995) citado por Patiño (1997), Hilje y Cornelius (2001)

El género *Cedrela* ha sufrido dos importantes revisiones sistemáticas desde 1960. Después de la más reciente, el cedro común, *Cedrela odorata* L., incluye a otras 28 especies nombradas, entre otras a *Cedrela mexicana* M. Roem. El resultado es que, en su presente constitución taxonómica, *C. odorata* es una especie que muestra un alto grado de variación poblacional. El material de las Antillas, sobre el cual se basó la descripción original de la especie, se caracteriza por un follaje liso con hojuelas sésiles, mientras que la "variedad" (anteriormente especie) "mexicana" de América Central y del Sur posee diferentes grados de pubescencia, a la vez que unas hojas por lo general de mayor tamaño y con hojuelas pecioladas. Experimentos recientes sobre procedencias sugieren la existencia de muchas razas ecológicas de cedro.

Ramírez et al. (2012) no identifican ningún estudio acerca de la diversidad genética de las poblaciones de cedro en Guatemala. Navarro (2002) ha estudiado la diversidad genética del cedro en Mesoamérica con base en 34 poblaciones distribuidas desde el Istmo de Tehuantepec (México) hasta el río Atrato (cerca de la frontera entre Panamá y Colombia), incluyendo la península de Yucatán y Petén. Sus resultados, concordantes con investigaciones anteriores, muestran una clara diferenciación en dos grupos principales o eco tipos: un grupo septentrional (o del norte: México, Guatemala, Honduras, Nicaragua hasta la costa pacífica norte de Costa Rica) y otro grupo de la costa caribeña y pacífica sur de Costa Rica y Panamá. Existen al menos dos formas bien diferenciadas de *C. odorata*, cada una adaptada localmente para vivir en condiciones ambientales contrastantes (secas versus húmedas, que Navarro llama ambientes xéricos y mésicos).

Por otro lado, los resultados de su investigación demuestran que existen excelentes posibilidades para seleccionar progenies y procedencias con mejor desempeño en crecimiento y resistencia al barrenador de las meliáceas en sistemas agroforestales (donde resistencia abarca tanto el grado de preferencia del insecto por la planta, como la capacidad de la planta de producir un solo brote principal después de un ataque, con alta dominancia apical).

Otro resultado práctico: la progenie de árboles solitarios muestra un crecimiento deprimido, lo que indica que la selección negativa por el aprovechamiento de los mejores árboles reduce la diversidad genética global. Implicación: nunca coleccionar semillas de individuos aislados.

Hilje y Cornelius (2001) también encontraron diferencias genéticas notorias entre procedencias de cedro. Por ejemplo, en un experimento, ubicado en la zona atlántica de Costa Rica, a los 20 meses la procedencia de Upala mostró una altura promedio 36% mayor que la de otras tres procedencias de la zona atlántica. En la misma especie se ha encontrado también variación genética a nivel de la procedencia, tanto en la dominancia apical después del ataque simulado (decapitación), como en el contenido foliar de taninos y protoantocianidinas, que podrían actuar como defensas contra insectos; de hecho, en otro experimento, la procedencia con mayor contenido de estos compuestos resultó ser la menos atacada durante los primeros cinco meses de desarrollo.

Además, existe variación genética de importancia a nivel individual. Por ejemplo, en un experimento clonal con *Cedrela odorata*, los promedios para la altura hasta la primera bifurcación variaron entre 2.2 y 5.7 m entre clones.

El potencial para el mejoramiento genético es evidente, y es indudable que si se dispusiera de programas de mejoramiento bien financiados, se podrían obtener importantes ganancias de tipo práctico.

Rodales semilleros

Basado en el Registro Nacional Forestal de Guatemala, Hernández (2004)

Tabla 1. Fuentes semilleras del cedro inscritas en el Registro Nacional Forestal (bajo el nombre científico: *Cedrela odorata*) en Guatemala:

Registro	Departamento	Municipio	Finca	Bosque	Área [ha]
FS-1038	Escuintla	Escuintla	Rústica	natural	1.1
FS-1078	Retalhuleu	El Asintal	Buenos Aires	natural	10.0

Fuente: Base de datos del Registro Forestal Nacional

A la fecha de consulta, las dos fuentes eran activas. Además, el BANSEFOR maneja fuentes semilleras de cedro en Uaxactún, Santa Elena y San Francisco (Petén), Los Amates (Izabal), Obero, Puerto San José y Tiquisate (Escuintla) y Cocales, Patulul y Mazatenango (Suchitepéquez), todos en Guatemala.

Si bien Uaxactún Petén, Guatemala, está pegado al Parque Nacional Tikal, llama la atención que la población de cedro de Tikal no haya sido incorporada a las fuentes semilleras controladas de *Cedrela odorata* en Guatemala, a pesar de su reconocido valor mesoamericano.

Semilla

Descripción

Basado en Niembro (2010), Salazar et al. (2000), INAB (2000), Cordero y Boshier (2003), Patiño (1997), Hernández (2004), Wightman et al. (2006), Zúñiga (2000)

Las semillas son samaroides, abultadas en su ápice, de (1.2) 2-3 (4.0) cm de largo y 5 (5-8) mm de ancho, incluyendo el ala. La semilla estricta tiene forma de huevo, de unos 5-6 mm de largo. El tegumento es de color pardo claro a rojo-pardo, rugoso, opaco, cartáceo y extendido en la base en un ala lateral delgada, lisa y fácilmente quebradiza.

Conforme el follaje comienza a caer, el fruto madura y se seca, las 4-5 valvas de la capsula lenticelada se abren del ápice hacia la base. Cada fruto contiene (13) 25-34 (40) semillas aladas.

Existe una relación aproximada de (15,700) 30,000-68,000 (89,000) semillas por kilogramo, con porcentaje de germinación de (70) 85- 95%, y porcentaje de pureza del 40 al 95%. En una investigación de grado apoyada por el BANSEFOR, Zúñiga (2000) determinó para dos fuentes semilleras identificadas en Obero, Masagua (Escuintla) un número de semillas puras por kilogramo de 66,600-82,600, con poder germinativo bajo de 52%, y porcentaje de pureza de 66-77%.

Recolecta

Basado en Cintrón (2000), Niembro (2010), Vázquez et al. (s.f.), INAB (2000), Hernández (2004), Teni (2007), Contreras (2006), Patiño (1997), Wightman et al. (2006), Wightman et al. (2005), Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000), Zúñiga (2000).

CALENDARIO DE RECOLECCIÓN (EN GUATEMALA): Tanto el crecimiento del cedro como su reproducción están sincronizados con el comienzo de las lluvias. En su área de distribución, *Cedrela odorata* florece al comienzo de la temporada lluviosa. La floración inicia cuando las nuevas hojas comienzan a expandirse. El desarrollo de los frutos toma aproximadamente de 9 a 10 meses y las capsulas maduran durante la siguiente temporada seca, conforme el follaje va cayendo. Los vientos secos y cálidos ayudan a la maduración y la dehiscencia. El cedro es caducifolio: los árboles terminan de tirar las hojas cuando han madurado totalmente los frutos de la temporada anterior, antes de florecer.

En Guatemala, la fructificación del cedro es anual y se da entre los meses de febrero a mayo (INAB 2000). Hernández (2004) indica que el período de colecta se extiende entre 9-22 de febrero, probablemente refiriéndose a la zona sur del país. En la eco-región de Lachuá, la recolecta se da entre marzo y abril (Teni 2007), al igual que en Petén (Contreras 2006). Los frutos permanecen adheridos al árbol después de haber soltado la semilla, por lo que es común observar frutos en los árboles todo el año.

En los estados de Campeche y Quintana Roo, en México, el árbol florece de mayo hasta agosto, y los frutos maduran durante la estación seca desde enero hasta marzo del año siguiente, con la época de producción de semillas en los meses de abril y mayo, cuando el árbol ha tirado sus hojas.

Los árboles comienzan a producir fruta a una edad de 10 a 12 [15] años. En bosques naturales de Flores, Petén, Contreras (2006) determinó que árboles con dap \geq (mayor o igual) 20cm producen semillas tan viables como aquellas producidas por árboles \geq (mayor o igual) 60cm dap.

EVALUACIÓN PREVIA A COLECTAR FRUTOS: Antes de la colecta de frutos, se seleccionan y marcan los árboles semilleros, tomando en cuenta las características deseables siguientes: árbol dominante, con fuste recto, sin bifurcaciones, sin hilo en espiral, sin afectación por plagas ni enfermedades, maduro. Se recomienda marcar 30 árboles por lo menos, que no sean aislados (o sea, que NO se encuentren a más de 500 metros de distancia de otros árboles de la misma especie), pero que NO estén ubicados a menos de 100 metros uno del otro para reducir la probabilidad de parentesco entre ellos (lo que reduciría la diversidad genética). Se recomienda emplear semilla de la misma zona de vida y de un piso altitudinal parecido al del sitio de la plantación.

Los frutos se abren en el árbol cuando están maduros para liberar las semillas. Por esto deben ser recolectados del árbol cuando cambian de color verde a marrón café, justo antes de que se abran. Los frutos ideales para la colecta son de buena forma y tamaño, de color café oscuro, marrón o negro con puntos blancos. Unas primeras pocas cápsulas abiertas longitudinalmente en un árbol indican que ya es momento de colectar; otro indicador es cuando los árboles están defoliados.

La cantidad de semillas producida varía considerablemente de un árbol a otro y de año con año. Los datos de Zúñiga (2000) ilustran esta observación: de 10 árboles semilleros previamente marcados y luego cosechados, el mejor produjo 5,613 g de semillas, mientras que el peor nada más que 71 g.

PRÁCTICA DE RECOLECCIÓN: Los frutos se recolectan directamente del árbol, antes que las capsulas se abran. El árbol puede ser escalado haciendo uso de equipo apropiado como espolones, cinturón con arnés, casco y lazo de seguridad con un largo de 40 m, ropa resistente y confortable, guantes de lana, botas altas con tacón y que protejan el tobillo. Herramientas: una vara de aluminio de 4.5 metros de largo con un gancho tipo S en el extremo y un machete.

Normalmente, basta con sacudir fuertemente (halar y empujar) las ramas cargadas de frutos para que se desprendan los frutos sazones. Previamente, se tiende una lona o sarán bajo el árbol para reducir el contacto del fruto con el suelo y facilitar el acopio. Si el escalador debe cortar los frutos, es esencial que tenga mucho cuidado de no dañar las ramas.

Los frutos se separan de restos de ramas y se depositan en sacos de yute o pita para un transporte rápido hasta el lugar de procesamiento.

RENDIMIENTO: Un escalador con experiencia puede cosechar un saco y medio de fruto por día, con el apoyo de otra persona. Zúñiga (2000) reporta cosechas de 24 kg/hombre/día con un equipo de 3 trabajadores, rendimiento que varía entre 17 kg/hombre/día cosechados de 5 árboles hasta 32 kg/hombre/día cosechados de 1 sólo árbol.

La producción de frutos varía de 3 kg a 95 kg por árbol, con una mediana de 14 kg por árbol y un promedio de 22 kg. Los rendimientos usuales varían de 0.4 a 0.7 kg de semilla por árbol.

Acondicionamiento

Basado en Hernández (2004), Niembro (2010), INAB (2000), Wightman et al. (2006), Cordero y Boshier (2003), Zúñiga (2000)

POSTMADURACIÓN DE LA FRUTA: Los frutos que ingresan al lugar de procesamiento se limpian en un sitio bajo sombra y ventilado; se eliminan hojas, ramillas, cápsulas inmaduras y enfermas. Los frutos se colocan en cajas de madera con malla metálica o plástica en el fondo (zarandas), en capas delgadas (3-5 cm) para asegurar una buena aireación. Es conveniente separar las vainas muy maduras o algo secas de las sazones, pues se abren antes y la semilla se dispersa.

Las cajas deben mantenerse siempre en un lugar con sombra, fresco y buena ventilación, por un periodo de 3 a 4 días. Los frutos NO deben ponerse a secar al sol, porque esto reduce la viabilidad de las semillas al exponerlas a temperaturas altas, causando un daño irreversible.

SECADO DE LA FRUTA: Conforme los frutos se secan, las valvas se abren naturalmente y liberan las semillas. Usualmente las valvas comienzan a abrirse para el segundo o tercer día.

Cuando los frutos se empiezan a abrir, se pueden sacar al sol en las zarandas, durante periodos muy breves (1-2 horas al día), utilizando los periodos de menor exposición solar, para que terminen de abrir. Los frutos deben estar dispersos y no amontonados para propiciar un buen secado y la apertura de las cápsulas; es necesario remover los frutos durante el secado.

Cordero y Boshier (2003) indican que los frutos muy verdes pueden secarse al sol por 24-35 horas, por periodos de 3 a 6 horas por día para que se abran. Sin embargo, advierten que no hay que excederse pues la semilla pierde viabilidad.

EXTRACCIÓN DE LA SEMILLA: Cuando las cápsulas han abierto completamente, se retiran de las cajas tratando de dejar únicamente la semilla, separando algunos frutos que no abrieron. En caso de ser necesario, se sacuden las cápsulas abiertas para desprender las semillas.

SECADO DE LA SEMILLA: Hernández (2004) asegura que es conveniente asolear la semilla por una hora, removiéndola en forma suave y constante para que seque completamente. También INAB (2000) recomienda colocar las semillas al sol por un periodo de 4 a 5 horas (por la mañana), para que sequen las alas. No obstante, Cordero y Boshier (2003) afirman que la semilla de cedro nunca debe exponerse al sol.

LIMPIEZA DE LA SEMILLA: Las semillas son desaladas frotándolas suavemente con las manos, lo cual debe hacerse sobre un cernidor. En el proceso de limpieza, se puede usar un ventilador manual a velocidad baja para eliminar basura y semilla vana. La limpieza puede culminar colocando la semilla en un recipiente con agua a temperatura ambiente por un periodo de tres minutos; esto ayuda a separar semilla vana y basuras que flotan. Según Hernández (2004), la semilla buena volvería a colocarse al sol por un período de 3 a 4 horas hasta que esté bien seca.

RENDIMIENTO. Un kilogramo de semilla con ala contiene 60 % de semilla buena, 16 % de semilla vana y 24 % de basura.

Según Hernández (2004), el rendimiento de un saco con frutos es de 1.8 kg de semillas, pero para INAB (2000), no es más que 1.04 kg. Según esta última fuente, se requiere 30 kg de frutos (el equivalente a un saco aproximadamente) para obtener 1 kg de semilla pura. Considerando solamente los pasos del acondicionamiento de la semilla (sin incluir el proceso de recolección), un operario procesa un poco más de medio saco diariamente (17.4 kg de frutos), para producir 581 g de semillas. Zúñiga (2000) reporta para el mismo proceso, que en un día, un operario es capaz de procesar hasta 13.88 kilogramos de frutos y obtener así hasta 0.72 kg de semilla.

Conservación y viabilidad

Basado en Salazar et al. (2000), Wightman et al. (2006), Cordero y Boshier (2003), Hernández (2004), Contreras (2006)

En condiciones de temperatura y humedad ambientales, la viabilidad de las semillas disminuye rápidamente después de un mes (Salazar et al. 2000, Wightman et al. 2006, Cordero y Boshier 2003). Pero Contreras (2006) muestra que semillas de cedro oriundas de Petén mantienen su viabilidad encima de 85% hasta el tercer mes de almacenamiento en condiciones ambientales de Flores; recién a partir de este momento baja drásticamente su poder germinativo.

Cedrela odorata se considera una especie ortodoxa. Las semillas almacenadas en bolsas de polietileno herméticas a 5 °C de temperatura y 7% de contenido de humedad, mantienen un porcentaje de germinación de 50 a 60% a los dos años (Salazar et al. 2000). Cordero y Boshier (2003) afirman que se puede lograr una germinación del 90% después de 4 años a la misma temperatura de conservación, pero con la indicación poco precisa "y con bajo contenido de humedad".

Hernández (2004) reporta la conservación de semillas de caoba con contenido de humedad de 6-12% en cuarto frío con temperatura de 5-6°C (o en la parte baja de un refrigerador), pero no indica cuanto tiempo mantiene la semilla su poder germinativo en estas condiciones.

Tratamientos pre-germinativos

Basado en Salazar et al. (2000), Cordero y Boshier (2003)

La semilla de cedro no requiere tratamiento pre germinativo. No obstante, para uniformizar la germinación se sumergen las semillas en agua por 24 horas antes de la siembra.

Producción de plantas

Basado en Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000), Wightman et al. (2006), Niembro (2010), Herrera y Lanuza (1997), Reyes (1998), Pereira (2002), Navarro y Hernández (2001), Teni (2007), Cintrón (2000), Román et al. (2012), Martínez (2015), Zanoni (1975), Mesén (1998), Díaz (1991), Pérez et al. (2002, 2006), Sampayo-Maldonado et al. (2016), García-González et al. (2011).

El cedro se reproduce básicamente por semilla. Existen protocolos experimentales para reproducir la especie vegetativamente, pero aún no validados para producción masiva.

Métodos de propagación sexual

La semilla del cedro es pequeña, por lo que se siembra inicialmente en camas de germinación, sin necesidad de un tratamiento previo (ver acápite "Tratamientos pre-germinativos" para mayores consideraciones operativas). Se siembran aproximadamente unas 2000 semillas (40 g) por m² a una profundidad de 0.5-1.5 cm, dejando el ala fuera. Salazar et al. (2000) recomiendan regar las semillas al voleo y cubrirlas con una capa de arena. Wightman et al. (2006) sugieren siembra directa de la semilla en los contenedores.

La germinación es epigea y se realiza por la parte inferior de la semilla; después de los cotiledones, se desarrollan hojas trifoliadas, de 4 cm de longitud aproximadamente, las cuales van cambiando a la forma madura de hojas pinnadas. La germinación comienza a los (6) 8-10 (12) días después de la siembra y termina a los (27) 30 días.

Estudios para incrementar el porcentaje y la velocidad de germinación de la semilla de cedro (Reyes 1998, Pereira 2002) condujeron a resultados experimentales alentadores en condiciones de laboratorio. A nivel práctico, ambos investigadores coinciden en que condiciones ambientales con temperatura entre 24 y 28°C, fotoperiodo de 12 horas luz y sustrato de arena son favorables y permiten tener plántulas en menor tiempo. En el Laboratorio de Semillas Forestales del Campo Experimental de China (Campeche, México), las semillas se colocan en germinadores con luz continua y una temperatura constante de 28°C.

Las plantitas se repican a bolsas o bancales en cuanto alcanzan 5-8 cm de altura y aparecen las primeras hojas verdaderas. En ese momento la plántula ha desarrollado raíces profundas, por lo que es necesario extraerlas cuidadosamente con la ayuda de una espátula. Después del trasplante es necesario colocar sombra durante unos 10 días.

PLANTAS A RAÍZ DESNUDA: En el sureste de México, la especie se propaga en viveros principalmente por el método a raíz desnuda; Niembro (2010), que da esta información, da pocos detalles sobre el proceso productivo. La producción inicia 4 meses antes del trasplante a campo definitivo. Las plantas que alcanzan una altura de 30 a 40 cm y un diámetro de 1 cm en el cuello de la raíz, se plantan.

PLANTAS EN BOLSAS: Para la siembra directa en el envase, se colocan 1-2 semillas por bolsa, justo debajo de la superficie del sustrato, que debe cubrirlas siempre. Salvo Herrera y Lanuza (1997) y Wightman et al. (2006) que recomiendan la siembra directa en los envases, todos los demás autores enfatizan hacer semillero primero para uniformizar luego el desarrollo de las plantas en los contenedores.

Las plantas requieren 3-4 (5-6) meses en vivero, con los primeros 10 días sombreados, y luego con mucha iluminación. En el caso de sistemas agroforestales, se recomienda llevar al campo árboles con una altura aproximada de 60 cm cuando el café *Coffea arabica* o cacao *Theobroma cacao* están pequeños y de 80 cm cuando el cultivo perenne tiene varios años de establecido (según las dimensiones requeridas de las plantas, se deberá elegir un tamaño adecuado de bolsa, con el fin de evitar deformación de raíces).

Los contenedores destinados a plantaciones convencionales para la propagación de cedro y caoba son bolsas de polietileno negro de (8) 10 (12.5) X 20 cm. Pero para introducir la especie en sistemas agroforestales, se recomienda bolsas de dimensiones mayores (aproximadamente 18 x 23 cm de diámetro y altura respectivamente con fuelle en la base). Este tipo de bolsas permite un mejor desarrollo de la plántula, y así, una mejor calidad de plantas al momento de plantar en el campo.

En la ecoregión Lachuá, se recomienda poner las semillas a germinar a partir del mes de julio para un trasplante a campo definitivo en octubre. El desarrollo de las plántulas es rápido siempre que la humedad y la luz sean adecuadas. Las plántulas cultivadas a la sombra son susceptibles a quemarse con el sol y al subsecuente ataque por los insectos cuando se mueven a un lugar soleado. Si se observan daños del barrenador del tallo, se debe aplicar insecticida de inmediato. El riego se debe reducir durante las 3-4 semanas previas a la plantación, pero se debe regar el día previo al traslado al sitio de plantación.

SEUDOESTACAS: El cedro puede establecerse mediante pseudoestacas, producción que requiere 6-7 meses en vivero.

Para tal fin, se repican las plántulas en bancales, a distancias de 15-20 cm entre plántulas (la densidad en estos bancales no debería sobrepasar las 25 plántulas/m²). Las pseudoestacas deberán tener entre 1.5 y 2.5 cm de diámetro en el cuello, 5-10 cm de tallo, 15-25 cm de raíz (podando las raíces laterales), bien lignificadas, rectas, sin torceduras en la raíz o el tallo.

Métodos de propagación asexual

ESTACAS: El cedro no rebrota con facilidad al ser cortado y no produce vástagos radicales con facilidad. Es capaz de crecer nuevamente después del desmoche (un nuevo crecimiento terminal parcial después de un daño moderado por el viento o una muerte de terminales parcial) si el árbol se encuentra bien establecido.

Fors (1957, citado por Zanoni 1975) indica que en Cuba, el cedro se reproduce abundantemente por estacas cortadas de árbol padre defoliado, y Burgos (1954, citado por Zanoni 1975) reporta que la misma especie en la Amazonía peruana, presentó acentuada aptitud para enraizar estacas tratadas con AIB (ácido indol-3-butírico).

Al inverso, los ensayos de: De Vastey (1962, citado por Zanoni 1975) para enraizar estacas de cedro tomadas de árboles de 5-6 años de edad, no tuvieron éxito. Por su lado, Zanoni (1975) concluye que, con condiciones ambientales adecuadas, la especie puede propagarse por estaca, a pesar que sus resultados son negativos (después de 12 semanas, 137 de las 192 estacas plantadas estaban muertas, y de las 55 latentes restantes, solo 2 habían formado callo). En la práctica, no existe a la fecha un protocolo sólido para la reproducción del cedro mediante estacas.

Para conservar y multiplicar genotipos superiores, Cordero y Boshier (2003) informan que la especie puede propagarse vegetativamente mediante estaquitas juveniles enraizadas. Dentro de un propagador de sub-irrigación (Mesén 1998) con sustrato superior de arena, se colocan para enraizar estaquitas suculentas de 6 cm de largo, provistas con algunas hojitas (área foliar de 100 cm²). Previamente, se aplica en la base de cada estaquita una dosis de 10 µl (microlitro) de AIB (Ácido Indolbutírico) disuelto en metanol (en concentración de 0.2%) (Díaz 1991).

INJERTOS: Cintrón (2000) afirma que el cedro puede ser injertado y reproducido por acodos, sin dar mayor información.

PROPAGACIÓN IN VITRO: Varias investigaciones tratan de desarrollar una metodología de micro propagación aplicable a genotipos selectos de *Cedrela odorata*; estos estudios se diferencian por la edad del material vegetativo fuente (plantas con 45 días de nacidas hasta árboles de 12 años). No pertenece al presente paquete tecnológico forestal entrar en los detalles metodológicos de los procesos de propagación presentados: quien tenga interés en estos detalles puede consultar los artículos citados a continuación.

En el Laboratorio de Cultivo de Tejidos del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Pérez et al. (2002, 2006) lograron armar un esquema general de micropropagación de *C. odorata* a partir de explantes epicotiledonares de 2-3 cm (microestacas) obtenidos de plántulas de 45-60 días de edad y provenientes de semilla germinada in vitro. La semilla corresponde a los mejores genotipos del ensayo de procedencias del proyecto "Mejoramiento genético de meliáceas" ejecutado por el CATIE en América central.

En instalaciones del Colegio de Postgraduados y del Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) de México, Sampayo-Maldonado et al. (2016) desarrollaron un protocolo para la propagación in vitro de *C. odorata*, a través de yemas axilares y ápice de plantas de unos 2 años de edad establecidas por semilla. La semilla fue recolectada de la familia 99 del Huerto semillero del Campo Experimental El Palmar, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Después de año y medio, se realizaron tres podas cada dos meses a una altura de 6 cm sobre el cuello de raíz para estimular la formación de material juvenil. Los brotes sin lignificar que tuvieron una longitud mayor a 25 cm y diámetro de 1 cm, fueron recolectados y se seccionaron en explantes de aproximadamente 5 cm de largo y llevados al laboratorio. La investigación evaluó los efectos de diferentes medios de cultivo en fases de establecimiento, multiplicación y enraizamiento de cinco genotipos seleccionados de *C. odorata*.

En Talca, Chile, García-Gonzáles et al. (2011) desarrollaron un protocolo de establecimiento *in vitro* y micropropagación de *C. odorata* a partir de segmentos nodales de estacas juveniles obtenidas de plantas de campo.

Para la investigación, los brotes estacionales juveniles se obtuvieron de plantas adultas de *C. odorata* ubicadas en la Granja de Semillas de la Estación Experimental Agroforestal de Camagüey, Cuba. Los árboles tenían de 10 a 12 años de edad con una altura media de 12 m.

Sustratos en vivero

Basado en Cordero y Boshier (2003), Wightman et al. (2006), Barrientos (2011), Navarro y Hernández (2001), Teni (2007).

CAJAS GERMINADORAS: Arena fina colada, lavada y desinfectada.

BOLSAS Y CAMAS DE VIVERO: El sustrato debe ser un suelo de buena calidad, de textura franca o franco-arenoso "virgen" (agregue una parte de arena por tres de suelo, si este es arcilloso). El cedro responde muy bien cuando el sustrato tiene compost; se han obtenido tasas de crecimiento en altura hasta dos veces mayores que las obtenidas empleando suelo únicamente. Barrientos (2011) confirma esta recomendación: determinó que el sustrato de tierra negra, arena y estiércol vacuno en proporciones 2:1:1 mejora la altura de las plantas, el diámetro del tallo y el número de hojas por planta. Siempre es recomendable la aplicación de un fungicida a la mezcla para minimizar problemas de mal del talluelo comunes en la etapa de vivero.

En la ecoregión Lachuá, el sustrato se compone de 2 partes de tierra negra que presente bajo porcentaje de arena, 1 parte de arena y 1 parte de material orgánico completamente descompuesto. Si la tierra negra ya contiene arena en el porcentaje adecuado, no es necesario agregarle.

De acuerdo con la experiencia de producción de meliáceas obtenida en San Francisco, Peten, cuyos tratamientos se basan en el uso reducido de químicos a través de la incorporación de productos biológicos, se recomienda realizar la desinfección del sustrato con Detruire¹⁰ cuando este se encuentre contenido en el envase, es decir, aplicarlo directamente sobre las bolsas o recipiente. En consistencia con el uso reducido de químicos, la utilización de fertilizaciones a base de compuestos orgánicos, como el Natural Soil¹¹, ha demostrado que proporciona vigor y promueve el crecimiento de las plantas.

7. Establecimiento de plantaciones

Comportamiento ecológico de la especie

Basado en Cintrón (2000), Cordero y Boshier (2003), Rivera et al. (2010), Detlefsen y Somarriba (2012)

NATURALEZA DE LA ESPECIE. El cedro es intolerante a la sombra durante la etapa de brinzal y después. Su copa rala y esparcida con un follaje verde claro sugiere una especie con una demanda de luz alta, al igual que su potencial para un crecimiento rápido y su aparición después de los incendios, en los cercos y en las ruinas. Cintrón (2000) la describe como una especie sucesional tardía con una vida moderadamente larga. En Trinidad y en otras partes no es raro encontrar cedros con más de 100 anillos de crecimiento.

¹⁰ Producto obtenido a través de fermentación biológica controlada para la cual se usan bacterias y levaduras productoras de ácidos orgánicos a partir de oligosacáridos y polisacáridos. Formulado para el control de hongos del suelo.

¹¹ Fertilizante orgánico de origen natural el cual contiene un alto contenido de aminoácidos que nutren la planta. Soluble de Pescado 30%; Ácido fosfórico 5.0%; Carbohidratos 7.5%; Ácidos orgánicos 5.0%; ingrediente inerte 50%

Cordero y Boshier (2003) la caracterizan como una especie que demanda luz y debe plantarse en lugares abiertos.

Para Rivera et al. (2010), el cedro es una especie oportunista, generalista y pionera, que produce gran cantidad de semillas muy livianas, dispersas por el viento. Se establece preferentemente en lugares abiertos y con mucha luminosidad, y se ve altamente beneficiado por las alteraciones naturales y antrópicas, como son también charrales – tacotales – guamiles y bosques secundarios de crecimiento inicial.

COMPORTAMIENTO RADICULAR: Las plántulas y los brinzales desarrollan sistemas radiculares muy superficiales, por lo que son susceptibles al desarraigo o daños mecánicos a las raíces. De adulto, el cedro muestra un sistema radicular ampliamente extendido en las capas superiores del suelo. Sin embargo, en suelos ligeros y bien aireados, flojos, toscos o con fisuras, la especie desarrolla raíces profundas.

Instalación

Basado en Wightman et al. (2006), Hilje y Cornelius (2001), Cordero y Boshier (2003), Prado (2006), Detlefsen y Somarriba (2012), Guevara (1988), Navarro y Hernández (2001), INAB (2015), Martínez (2015), Herrera y Lanuza (1997).

El aspecto más importante en el manejo de una plantación de cedro es el control de una plaga provocada por un barrenador de brotes (la mariposa nocturna *Hypsipyla grandella*). Desde el enfoque silvicultural, la estrategia de tal manejo incorpora la calidad del sitio donde plantar el cedro (tratado en el capítulo anterior), el uso de sombra lateral a los árboles de cedro y las podas (esta última práctica se tratará en el capítulo siguiente). El cómo crear condiciones de sombra lateral, como medida de control de la plaga, conllevó reforestar la especie en todos los ambientes posibles, desde condiciones de cultivo agrícola hasta bajo dosel protector del bosque alto.

Plantaciones puras

Las plantaciones puras generalmente no son recomendables en esta especie, debido al barrenador del tallo. Sin embargo, es posible generar plantaciones puras exitosas con una buena selección de sitio y tratamientos silviculturales oportunos (limpiezas iniciales y podas). Prado (2006) reporta plantaciones puras de cedro en Sayaxché (Petén) y Livingston (Izabal). En este último sitio, las plantaciones recibieron un buen manejo silvícola (podas de saneamiento y de formación aplicadas a tiempo), por lo que la calidad de los fustes observados era muy buena. En el 2005 iba a iniciarse el raleo de estas plantaciones.

En finca Tomatales, Retalhuleu, Guatemala, con base a los registros de Parcelas Permanentes de Medición Forestal, existe una plantación forestal pura y cuentan con registros importantes, ya que, si analizamos las tres mediciones consecutivas realizadas en dicha PPMF, especialmente los datos de alturas, el crecimiento del cedro expresa el siguiente resultado: a la edad de 1.4 años alcanzó los 4.1 m de altura, a los 2.5 años alcanzó los 5.7 m de altura y a la edad de 3.4 años alcanzó una altura de 7.2 m; la importancia de esta información radica en conocer la aptitud del crecimiento del cedro en la costa sur del país, ya que, su capacidad (aptitud) de crecimiento supera en los primeros tres años la altura de vuelo de *H. grandella*; por lo cual podemos concluir que con un adecuado plan fitosanitario, una adecuado plan de fertilización y manejo cultural apropiado, se estaría garantizando el éxito de la plantación durante los primeros 4 años en plantaciones puras.

Otro caso exitoso se reporta en finca La Cartuchera, Gualán, Zacapa, Guatemala, donde se estableció una plantación pura de Cedro a una densidad inicial de 4 m entre planta * 4 m entre surco (625 árboles/hectárea), la cual, a sus 10.8 años de edad, se registra un diámetro promedio de 24.7 cm y una altura promedio de 15.7 metros, correspondientes a un incremento medio anual de 2.4 cm de DAP y 1.5 m de altura, estos valores superan los rangos de IMA promedios reportados para las variables de DAP y altura en sitios excelentes a nivel de Guatemala (IMA en DAP de 1.54 cm e IMA en altura de 1.03 m). Es importante resaltar la aptitud de crecimiento para cedro, en especial, su agresivo desarrollo inicial, ya que, según los registros de PPMF instaladas en dicha finca, a los 6.5 años de edad, la plantación ya expresaba una altura promedio de 10.5 metros.

Un tercer ejemplo exitoso en plantaciones puras, se ubica en Finca El Triunfo, San Jorge, Petén, Guatemala, donde se estableció una plantación de cedro con distanciamiento de 3 m * 3 m (densidad inicial de 1111 árboles/hectárea), la cual, a sus 22.5 años de edad registra un diámetro promedio de 33.1 cm de DAP y una altura promedio de 25.6 metros, correspondientes a un incremento medio anual de 1.5 cm de DAP y un IMA de 1.1 m de altura, estos valores superan los rangos de IMA promedios reportados para las variables de DAP y altura en sitios excelentes en Guatemala (IMA en DAP de 1.54 cm e IMA en altura de 1.03 m).

Plantaciones mixtas

Hay evidencias de que la presencia de "sombra lateral" reduce el daño de la plaga, debido a que estimula el crecimiento vertical y la autopoda. 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 varias opciones, entre ellas la mezcla con otras especies arbóreas. Para ser exitoso, este tipo de plantación requiere un buen control silvicultural, ya que el cedro no soporta estar en condición suprimida por la copa de las otras especies. Es el sistema de plantación del cedro más usado en los departamentos de Alta Verapaz (zona del Polochic y la Franja Transversal del Norte), Izabal y Petén, todas en Guatemala.

En su caracterización de las plantaciones de cedro y caoba en Guatemala, en los departamentos de Alta Verapaz (zona del Polochic y la Franja Transversal del Norte), Izabal y Petén, Prado (2006) diferenció 8 tipos de mezcla del cedro con otras especies maderables: en tres casos lo acompaña el conacaste *Enterolobium cyclocarpum*, también en tres ocasiones la caoba *Swietenia macrophylla*, en dos el matilisguate *Tabebuia rosea*, y en una sola vez el Cericote *Cordia dodecandra*, el palo blanco *Tabebuia donnell-smithii*, la leucaena: *Leucaena leucocephala*, el tinto blanco *Pithecellobium leucocalyx*, la amapola *Pseudobombax ellipticum*, y la teca *Tectona grandis*. Mientras el asocio con el cedro parece beneficioso para el tinto blanco y la amapola, que muestran fustes rectos y buen crecimiento en DAP y altura total, la mezcla parece negativa para el conacaste, que desarrolla una pésima calidad de fuste.

El asocio del cedro con el cante o madrecajo *Gliricidia sepium* es perjudicial para el cedro: en todas las plantaciones donde hubo tal arreglo inicial, desapareció el cedro, quedando el cante como única especie presente en este momento, con otras especies de menor valor comercial, un adecuado plan para el manejo de podas dirigidas a madrecajo, orientadas a favorecer el crecimiento del cedro, pudieron haber hecho la diferencia. (Prado 2006). Herrera y Lanuza (1997) indican otro asocio malo para el cedro: se debe evitar la combinación con eucalipto, especie de crecimiento rápido, para no propiciar que las plantitas queden oprimidas.

Para crear una sombra lateral educadora del cedro, se recomienda establecer plantaciones mixtas con otras especies arbóreas que tengan forma y comportamiento similar, como por ejemplo el laurel *Cordia alliodora*. Cordero y Boshier (2003) recomiendan además *Leucaena* spp, Conacaste *Enterolobium cyclocarpum*, Teca *Tectona grandis* o Cenícero *Samanea saman*, dado su crecimiento más rápido o similar. Aunque para las condiciones de Guatemala, tales recomendaciones deben analizarse de forma específica para cada región y tipo de arreglo combinatorio durante su establecimiento, ya que, las tasas de crecimiento varían de una región a otra; por ejemplo, en Finca Santa Julia, Retalhuleu, Guatemala existen reportes de incrementos de Conacaste *Enterolobium cyclocarpum* en plantación puras de 3.3 cm de Incremento Medio Anual (IMA) en DAP y 2 m de IMA en altura, mientras que en el mismo municipio, el cedro reporta crecimientos de 2.36 cm de DAP y 1.56 m de altura, la diferencia en incrementos de altura para ambas especies puede ser contraproducente para el cedro, el cual quedaría suprimido por efecto del acelerado cierre de dosel (cierre de copas) si se llega a combinar con Conacaste.

En Hacienda Magdalena, Retalhuleu, Guatemala, existe una plantación mixta de 6.3 años de edad, establecida con una densidad inicial de 1111 arb/ha, con la siguiente proporción: 15% de la densidad inicial para Caoba *Swietenia macrophylla*, 15% de la densidad inicial para Cedro *Cedrela odorata* y 70% de densidad inicial para palo blanco *Tabebuia donnell-smithii*, con respecto a las variables dasométricas, expresa los siguientes incrementos: incremento medio anual (IMA) de 2.36 cm en DAP e IMA de 1.56 m de altura para Cedro; IMA de 1.96 cm de DAP e IMA de 1.60 m de altura para Palo Blanco y un IMA de 1.70 cm de DAP e IMA de 1.5 m de altura para Caoba. Este aspecto nos permite reflexionar nuevamente acerca del potencial del crecimiento que tiene cedro en la costa sur de Guatemala, ya que sus incrementos superan los valores de crecimiento promedio típicos para sitios excelentes en Guatemala (IMA en DAP de 1.54 cm e IMA en altura de 1.03 m versus el IMA en DAP de 2.36 cm e IMA en altura de 1.56 m de altura obtenidos en hacienda Magdalena, Retalhuleu). Aunque en dicho arreglo mixto, se refleja que aun siendo de la familia de las meliáceas, el cedro tiene mayor tasa de crecimiento que caoba.

Al analizar las variables de DAP (cm) y altura (m) para las tres especies anteriormente descritas, mediante una prueba de "t" para medias independientes a un nivel de confianza del 95%, se determinó que los crecimientos en altura para las especies Cedro y Palo Blanco son estadísticamente iguales, esto nos permite suponer con base a las experiencias obtenidas en Hacienda Magdalena, Retalhuleu, Guatemala, que el asocio entre cedro y palo blanco es prometedor para la región de la costa sur del país, únicamente se debe hacer énfasis en el diseño del arreglo combinatorio de ambas especies durante el establecimiento, ya que debe planificarse la plantación considerando evitar complicaciones en la toma de decisiones en la época de los raleos.

Por el contrario, en el norte de Guatemala, se reporta un caso de una plantación mixta de cedro y melina *Gmelina arborea*, específicamente en el municipio de San Francisco, Petén; dicho arreglo mixto ha generado una lección, que ambas especies presentan tasas de crecimiento totalmente distintas, al punto de expresar a sus 6 años de edad, un incremento medio anual para el cedro de 1.6 cm de DAP y 0.9 m de altura, mientras que la especie melina presenta incrementos de 4.3 cm de DAP y 2.1 m de altura; este escenario nos permite concluir que no es prudente combinar el cedro con melina, ya que el crecimiento agresivo de melina en los primeros años dejará totalmente suprimido al cedro.

Sistemas agroforestales.

El cedro también puede establecerse en combinación con cultivos agrícolas anuales o perennes (café, cacao), en potreros y, ocasionalmente, en linderos. Los insumos y cuidados al cultivo agrícola benefician a los árboles, los cuales pueden crecer más rápidamente y superar la fase de susceptibilidad al barrenador en menor tiempo. Guevara (1988) considera que la introducción del cedro en un sistema agroforestal o silvopastoril es la mejor alternativa para el cultivo de esta especie maderable, por los buenos incrementos observados. Navarro y Hernández (2001) recomiendan el establecimiento de cedro y caoba combinado con café, porque la incidencia del ataque del barrenador de los brotes disminuye. En la zona sur de Guatemala, el cedro es componente importante del sistema agroforestal "Producción de café en asocio con especies maderables".

En la parte norte de Guatemala, especialmente en las regiones de Livingston, Izabal, es común encontrar asocios donde especies meliáceas como cedro y caoba de Petén conforman la sombra para la especie agrícola cacao *Theobroma cacao*; tal es el caso de finca Kampura (distanciamientos de árboles maderables de 4 m * 4 m) y Hacienda Río Dulce (distanciamientos de árboles maderables de 3 m * 3 m), ambas en Livingston, Izabal.

La preferencia para el establecimiento de Cedro en sistemas agroforestales mediante el programa de incentivos PINPEP ha motivado a los pequeños poseedores de tierras a implementar distintos arreglos combinatorios, al tal punto que de los 1094 proyectos registrados en sistemas agroforestales desde el año 2007 al 2017, el 68.65% (751 proyectos) de Sistemas Agroforestales se ha establecido bajo la modalidad de árboles en línea, el 12.3% (136 proyectos) bajo la modalidad de sistemas silvopastoriles, el 10.41% (115 proyectos) bajo la modalidad de árboles forestales con cultivos perennes y el 8.41% (92 proyectos) bajo la modalidad de árboles forestales con cultivos anuales. La extensión de tierra no ha sido excusa para no reforestar cedro bajo distintos arreglos combinatorios ya que existen proyectos en rangos de áreas que van desde 0.10 hectáreas hasta 15 hectáreas.

Plantaciones de enriquecimiento en bosques preexistentes.

Quizás es el sistema de plantación del cedro más viejo empleado en varios países de América tropical: se abren franjas de unos pocos metros de ancho en el bosque alto (tradicionalmente 2 m), espaciadas a 10-12 m entre franjas, y se planta el cedro a lo largo de las franjas.

Prado (2006) no encontró ninguna plantación de cedro bajo dosel protector alto en los departamentos de Alta Verapaz (zona del Polochic y la Franja Transversal del Norte), Izabal y Petén, Guatemala.

De manera general, las plantaciones en fajas de enriquecimiento no han dado muy buenos resultados porque les falta luz. Sin embargo, Wightman et al. (2006) consideran que no debe descartarse la posibilidad de plantar cedro en fajas de enriquecimiento de bosques y charrales, a condición de que se haga en ellas un mantenimiento continuo en que, sobre todo, se permita la entrada de suficiente luz.

Una plantación bajo un dosel de bosque bajo o charral fue establecida en Santa Elena, Petén y documentada por Prado (2006): este experimento parece muy positivo después de 6 años, quizás por la facilidad de asegurar plena iluminación vertical sobre los árboles de cedro.

El investigador (Prado, 2006) recomienda plantar mediante este sistema: utilizar la vegetación secundaria baja de los guamiles, abrir los carriles de plantación con orientación este-oeste, y, detalle esencial, controlar el desarrollo de la vegetación lateral, para asegurar una iluminación vertical permanente sobre los cedros.

Pero, antes de decidirse por un sistema e iniciar el establecimiento de una plantación, "controle a consciencia la aptitud del sitio para *Cedrela odorata*": un mal sitio incidirá negativamente en la capacidad del cedro para reaccionar con vigor al ataque de la palomilla.

Preparación del terreno.

En el norte de Guatemala, Belice y Quintana Roo (México) se emplean diferentes maneras de preparar el terreno previo al establecimiento con cedro: 1) el método agrícola tradicional (roza, tumba y quema): toda la vegetación se corta, se deja secar y luego se quema; 2) lo mismo, pero sin la quema (roza, tumba y deja): toda la vegetación se corta, una pequeña parte se saca de la parcela, la mayoría de los escombros vegetales se deja en el propio lugar de corta; o 3) preparación mecánica: se derriba la vegetación con tractor de oruga y se almacena en las orillas de la parcela (con la posibilidad de ejecutar además un arado superficial y una escarificación profunda con un subsolador).

La preparación mecánica (3) y el método agrícola tradicional (1) son favorables a una instalación exitosa del cedro, ya que reducen mucho la competencia subsiguiente causada por los rebrotes, los cuales se controlaron efectivamente mediante la quema y el desarraigo mecánico de la vegetación previa.

Los terrenos a plantar deben estar bien drenados; en su defecto debe diseñarse una buena red de drenajes que garantice la evacuación 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 Hacienda Río Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala, la preparación de suelo para el cultivo de especies meliáceas incluye la realización de enmiendas en el suelo, se realiza 15 días antes del establecimiento de la plantación, que consiste en la aplicar en el fondo del agujero donde se colocara la planta, de 8 a 16 onzas de cal agrícola (de 0.22 a 0.45 kg) en los suelos con mayor proporción de arcilla (rojizos), mientras que en suelos franco-limosos se aplica de 16 a 20 onzas (0.45 a 0.56 kg) de una mezcla de magnesio, cal y yeso; en ambos casos, se complementa con 8 a 16 onzas (de 0.22 a 0.45 kg) de roca fosfórica. Se realizan dos aplicaciones más de roca fosfórica para un total de 3 aplicaciones durante el primer año, con un intervalo de 3 a 4 meses entre aplicación.

Durante la visita de campo a Finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala, a través del Ing. Rafael Mejía¹², pudieron compartir el protocolo generalizado que realizan durante las actividades de preparación del terreno para plantaciones forestales de especies de coníferas y latifoliadas, considerando dos aspectos fundamentales, estos pueden denominarse (1) "aspectos previos a la preparación del sitio" y (2) "actividades de preparación del sitio", los cuales se detallan a continuación:

¹² Ing. Rafael Mejía. 19 jun 2019. Actividades de preparación del sitio para el establecimiento de plantaciones forestales. (Entrevista). Finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala.

(1) Los "aspectos previos a la preparación del sitio" consisten en actividades de control de la calidad de la planta y actividades que garanticen su entrega oportuna, y así garantizar que las actividades de establecimiento en campo se realicen en el tiempo de mejor adaptabilidad de la plántula y que las características de la misma sean homogéneas, para una adecuada respuesta inicial de la plantación. Algunas recomendaciones prácticas que pueden considerarse son:

- a. Cuando las áreas a forestar son de grandes extensiones, es prudente no depender de un solo proveedor, sino se debe incrementar el número de proveedores para evitar riesgos de entrega a destiempo y evitar riesgos de entrega de cantidades incompletas.
- b. Dedicar el tiempo para el monitoreo de la producción de la planta con los proveedores seleccionados, esta actividad es prudente llevarla a cabo con el objeto de verificar la procedencia de la semilla con la cual se produce la planta (aspecto determinante para el desarrollo futuro de la planta y garantía de la inversión), dar seguimiento a la evolución de la plántula en el vivero, velando que reciba los tratamientos adecuados que garanticen su vigor y su desarrollo adecuado para que posea las características adecuadas para la entrega (tamaño de 20 a 30 cm, antes que se establezca la época lluviosa).
- c. Una vez se lleva a cabo la entrega de la planta, el transporte puede realizarse introduciendo las bandejas de plántulas o las bolsas en cajas plásticas o cajas de madera; de esa cuenta, se garantiza un mejor acomodo de la planta, menor daño por el movimiento en el transporte y protección a daños físicos; en la práctica, se realizan modificaciones temporales en los diferentes tipos de transportes, en camiones, pueden realizar hasta cuatro camas (compartimientos verticales) que permitan transportar mayor número de plantas por viaje.
- d. Se debe considerar la compra de un 5 a 10% de planta adicional, previendo pérdidas en el transporte y por sobrevivencia en campo.
- e. El control de calidad de la plántula se realiza en el casco de la finca, ya que, existe probabilidad de que no toda la planta que se ha transportado vaya al campo definitivo, de esa cuenta evitamos transportar planta defectuosa al área de reforestación y después regresarla al casco de la finca; algunos aspectos a verificar en el control de calidad son:
 - Realizar un muestreo al azar de algunos pilones (aproximadamente 100)
 - La altura del pilón debe estar comprendida entre 10 a 20 cm de altura
 - El sustrato del pilón debe ser consistente, es decir, al separarlo del tubete o bolsa, el sustrato no debería disgregarse ni esparcirse.
 - Énfasis en el enrollamiento radicular, provocado por el exceso de humedad en los viveros, el defecto provoca que las plantas futuras sean tumbadas por el viento con facilidad, ya que, los árboles pierden su capacidad de un adecuado anclaje; se identifica cuando se separa el pilón del recipiente que lo contiene (tubete o bolsa) y se observa que la raíz pivotante tiene forma espiral en los costados del sustrato, es decir que no mantiene una dirección vertical hacia abajo, sino una posición lateral, con enrollamiento hacia arriba.

- Plantas sin plagas, de color verde, vigorosas (sin enfermedades), sin daños físicos provocados en el transporte.
- Las plántulas que tengan algún defecto como altura inadecuada, sustrato poco consistente, falta de vigor, etc. Son almacenados en el casco de la finca, se promueve un manejo intensivo para la mejora de la plántula, la cual se utiliza en actividades de resiembra.

(2) Las “actividades de preparación del sitio” consisten en aspectos relacionados en la adecuación del sitio para una adecuada reforestación o establecimiento de la planta en campo definitivo, estas actividades conllevan ciertas características, las cuales se describen a continuación:

- a. Se realiza un chapeo general (con machete, motoguadaña u otra herramienta) dos meses antes del establecimiento, este chapeo no se hace al ras del suelo, sino se hace con el objeto de eliminar la vegetación semi leñosa, este chapeo se realiza a una altura aproximada de 30 cm sobre la superficie del suelo.
- b. 15 días antes del establecimiento de la plantación, se realiza una aplicación química con el producto Gramoxone® en una dosis de 1 litro de producto/ha, dicha dosis se mezcla en 200 litros de agua (1 tonel); el producto químico también se mezcla con un adherente y corrector de pH cuando se requiera; el rendimiento durante la aplicación química es de 0.70 ha/jornal. Esta aplicación tiene como objeto eliminar los rebrotes de la plantas semi leñosas a las cuales se les aplicó el chapeo general (inciso a) y también eliminar la maleza de característica herbácea; esta aplicación se realiza 15 días antes del establecimiento, para evitar algún efecto dañino para la plántula, derivado de la residualidad del producto químico.
- c. La aplicación química se realiza con el equipo de protección necesario, con bombas de mochila de 20 litros y se hace un especial énfasis en el tipo de boquilla, que en este caso se utiliza el de tipo “espuma”, este último aspecto es importante para garantizar el efecto y el rendimiento de la aplicación del producto químico.
- d. El control del insecto con nombre común Zompopo *Atta spp.*, inicia 15 días previo al establecimiento de la planta en campo definitivo. (aspecto que se detalla en el capítulo “manejo de plagas y enfermedades”, en el título “plagas y enfermedades en plantaciones”).
- e. El trazo, diseño y estaquillado para el establecimiento de una plantación forestal cobra importancia, ya que a partir de esta actividad, se debe garantizar un distanciamiento homogéneo entre plantas, para que cada árbol tenga el mismo espacio para poder desarrollarse, de esa cuenta se puede evaluar con certeza los individuos dominantes para posteriores análisis; después de haber establecido un gran número de reforestaciones, en finca La Eminencia ejecutan el siguiente procedimiento para el trazo y estaquillado del área:
- f. La plantación como tal se realiza una vez se estabiliza la época lluviosa, con el propósito que la planta aproveche todo el periodo lluvioso, para el efecto, se realiza un ahoyado de 30 a 40 cm de profundidad con el objeto de suavizar el sustrato para un adecuado desarrollo radicular. En términos de rendimiento (ahoyado de 20 cm de diámetro y 30-40 cm de...

...profundidad, y plantas en tubete con bandejas), en finca La Eminencia han preferido el sistema de ahoyado + plantación, el cual les representa un rendimiento de 300 plantas establecidas + ahoyado por día y por persona; en cambio, cuando se realiza únicamente el ahoyado sin el establecimiento de la planta, se obtienen rendimientos de 333 ahoyados por persona y por día; de esa cuenta, el primer sistema les ha sido mucho más óptimo y conveniente de utilizar en términos de tiempo y recursos invertidos.

El rendimiento del sistema ahoyado + plantación podría variar si la planta está dispuesta en bolsas de polietileno (convencional), debido a que su traslado se complica, por el espacio que ocupa cada planta y la fragilidad del material (bolsa) que contiene el sustrato, lo que provoca que por efectos del movimiento durante el traslado, se disgregue el sustrato. Es recomendable consultar con otros reforestadores acerca de una técnica adecuada para garantizar un adecuado transporte y calidad de sustrato en plantas con bolsa de polietileno.

Distanciamiento de siembra.

El espaciamiento "convencional" para plantaciones puras es de 3 m * 3 m (1111 arb/ha), aunque se han establecido plantaciones de hasta 5 m * 5 m (400 arb/ha). En plantaciones mixtas con otras especies arbóreas, se planta en arreglos desde 6 m * 4 m (416 arb/ha) hasta 14 m * 7 m (102 arb/ha), o a mayores distancias: Cordero y Boshier (2003) consideran mejor mezclarlo con otras especies a una tasa de 10-15 árboles por hectárea. Prado (2006) no logró identificar un diseño unificado de cómo realizar una plantación mixta con *Cedrela odorata* en los departamentos de Alta Verapaz (zona del Polochic y la Franja Transversal del Norte), Izabal y Petén, a pesar de ser el sistema de plantación más común para el cedro.

El distanciamiento convencional de 3 m * 3 m (1111 arb/ha) ha dado buenos resultados en plantaciones puras en la finca Tomatales, Retalhuleu, Guatemala y en finca El Triunfo, La Libertad, Petén, Guatemala; en ambos escenarios, los índices de sitio que se reportan son excelentes, considerando la categorización de sitios derivado de la evaluación de plantaciones forestales en toda Guatemala, la densidad de plantación (factor competencia) es una condición importante que aporta a los criterios de evaluación de la productividad de la plantación, ya que influye directamente en la proyección de los rendimientos de volumen, área basal, diámetro y altura, tal como se explica en el capítulo de "Crecimientos e Incrementos".

El distanciamiento de 4 m * 4 m (625 arb/ha) también ha resultado muy beneficioso para el adecuado desarrollo de la especie, tal es el caso de finca La Cartuchera, Gualán, Zacapa, Guatemala, donde los incrementos reportados superan los valores de incrementos característicos de sitios excelentes registrados en Guatemala y con una tendencia muy prometedora en torno a los crecimientos y rendimientos; es importante mencionar que este distanciamiento trae consigo otras ventajas, por ejemplo, la incorporación de cultivos agrícolas perennes como el cacao *Theobroma cacao* durante los primeros años de la plantación forestal (como el caso de finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala), así mismo, con menor competencia derivado de una menor densidad inicial de plantación, el primer raleo puede realizarse hasta los 8 años, permitiendo convertirlo en un raleo atractivamente comercial.

En plantaciones de enriquecimiento de bosques, las franjas están espaciadas a 10 m entre sí, y se planta el cedro a lo largo de las franjas cada 5 m.

Fertilización inicial.

El requerimiento de fertilización inicial depende de las propiedades del suelo de la plantación. Lastimosamente, Prado (2006) no ha documentado en su caracterización la fertilización recibida por las plantaciones estudiadas. Pero sí aconseja, en sus recomendaciones finales, fertilizar. Es importante mencionar que el cedro introducido en sistemas agroforestales se beneficia del abono que se da al cultivo agrícola.

Además de las experiencias con fertilizantes aplicados al suelo, como el caso de Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala, (utilización de roca fosfórica), la mayoría de los casos basan sus programas de fertilización en aplicaciones foliares, bajo la premisa que la disponibilidad y asimilación de los nutrientes es inmediata, comparada con los fertilizantes aplicados al suelo, además, ofrece la ventaja al sincronizarse (por las aplicaciones foliares) para hacer efectivo de forma simultánea el programa de control fitosanitario en plantaciones de meliáceas.

En el caso de la Finca "Hacienda Rio Dulce", su programa de fertilización contempla iniciar con las aplicaciones de fertilizante foliar a partir de los 2 meses después del establecimiento de la plantación, agregando un adherente para reducir pérdidas por la lluvia, además cumplen con un estricto horario de aplicación de 6:00 a 11:00 horas (por principios fisiológicos de apertura y cierre de las estomas). Los productos que utilizan son: Onex bio 20, omega fish, maxi grow¹³.

La frecuencia de las aplicaciones es a cada 2 meses durante el primer año y segundo año, o hasta el período necesario donde los árboles logran alcanzar un promedio de 3.5 metros de altura, hasta donde es posible asperjar con las varas telescópicas.

En el caso de la Finca Kampura, se utiliza un criterio basado en la altura del árbol, de tal forma que se inician las fertilizaciones foliares cuando los árboles alcanzan un promedio de 1.5 metros de altura, utilizando un compuesto foliar denominado Solucat triple (20-20-20), en una dosis aproximada de 4 kg/tonel¹⁴. Debido a la sincronía (por las aplicaciones foliares) con el programa de control de plagas, la frecuencia de las aplicaciones es de 15 días hasta que el árbol logra un promedio de 7 a 8 metros de altura. Como se indicó anteriormente, la combinación de factores (selección de sitio, manejo, fertilizaciones y control fitosanitario) ha permitido que las plantaciones de especies meliáceas puedan lograr promedios de altura de 13 metros en 4 años, que dan sentido a un manejo intensivo en los primeros 3 años de la plantación.

EFECTO DE LA ÉPOCA DE ESTABLECIMIENTO (SOBREVIVENCIA): Se recomienda plantar al inicio de la época lluviosa, lo cual depende del sitio (mayo-noviembre): observar este consejo permite incrementar la probabilidad de sobrevivencia de las plántulas hasta en un 80% aproximadamente.

Introducción en sistemas agroforestales

Basado en Navarro (2002), Rivera et al. (2010), Detlefsen y Somarriba (2012), Ibrahim y Zapata (2012), Somarriba et al. (2012), Cordero y Boshier (2003), Jiménez (2012), Martínez (2005), INAB (2015), Navarro y Hernández (2001), Martínez (2015)

¹³ En promedio las dosis son de 50 cc por bomba de 16 litros, correspondiente a un valor estrictamente orientativo, ya que debe atenderse las especificaciones del producto y considerar el estado vegetativo del árbol y la frecuencia de aplicación.

¹⁴ Valor estrictamente orientativo, para definir la dosis debe atender las especificaciones del producto y considerar el estado vegetativo del árbol y la frecuencia de aplicación.

Buscado por su excelente madera resistente a las termitas, el cedro casi ha desaparecido de los bosques, pero entró a formar parte de muchos sistemas de cultivo (Navarro 2002). Tan es así que, en Costa Rica, Rivera et al. (2010) consideran que el cedro tiene una población abundante y distribuida en todo el territorio nacional, a pesar de no ser más hoy en día miembro de la composición y estructura del bosque tropical como tal.

El cedro se encuentra en potreros arbolados, o en combinación con cultivos agrícolas perennes o anuales, o en cortinas rompevientos, o a veces en cercas vivas. La obra colectiva de Detlefsen y Somarriba (2012) da excelente información sobre el manejo y silvicultura de especies maderables en sistemas silvopastoriles, en sistemas agroforestales con cacao y con café, en sistemas taungya y en linderos, con numerosos ejemplos que involucran a *Cedrela odorata*.

Según Ibrahim y Zapata (2012), *Cedrela odorata* es una de las cinco especies de interés maderable más abundantes en potreros de Centroamérica, junto con *Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Samanea saman* y *Cordia alliodora*. Como componente del sistema silvopastoril, el cedro es considerado la especie más débil de las cinco, pues no resiste la inundación, tiene un sistema radicular superficial y sufre el ataque del barrenador de las meliáceas. Sin embargo, es la especie con mayor número de individuos en las fincas con sistemas silvopastoriles del distrito del Cayo, Belice, con un poco menos de 10 árboles/ha con dap \geq 5 cm, todos de regeneración natural. La especie puede representar un importante ingreso maderable para los productores, siempre y cuando se le proporcione un buen manejo (Rosa 2010, citado por Ibrahim y Zapata 2012).

Cedrela odorata es un reconocido componente del dosel de sombra para cacao *Theobroma cacao*, ya sea que se haya plantado junto con el cacao, o reclutado periódicamente por regeneración natural. Su incorporación al sistema aumenta la estabilidad del ingreso de la finca y baja el riesgo financiero. Somarriba et al. (2012) dan ejemplos alentadores de la costa oeste de Ecuador y de Talamanca, Costa Rica. En Guatemala, el INAB no identificó ninguna finca modelo que produzca cacao en asocio con maderables, pero el proyecto UICN¹⁵/MAGA¹⁶ "Desarrollo de la cadena de producción de cacao para la mejora de los medios de vida y la conservación de los corredores biológicos en la eco-región Lachuá" pretende, entre otros objetivos, recuperar áreas deforestadas mediante la implantación de sistemas agroforestales de cacao-maderables: ¿quizás esté interesado en incorporar al cedro entre las maderables de interés?

El uso de *Cedrela odorata* como árbol de sombra en cafetales es quizá el más común entre pequeños productores de la región centroamericana, aún si no gusta a todos, pues algunos aducen que es "muy caliente" por botar sus hojas en época seca.

En Honduras, un sistema asocia *Inga* spp., con *Cedrela odorata* como sombra para café, donde el cedro reemplaza progresivamente a *Inga* como sombra permanente. El sistema es apto para cualquier maderable con buen valor comercial, amplia variedad de usos y buenas tasas de crecimiento como *Cordia megalantha*, *Dalbergia glomerata*, *Guarea grandifolia*, *Huerteia cubensis*, *Hyeronima alchorneoides*, *Swietenia macrophylla* o *Swietenia humilis*.

¹⁵ UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

¹⁶ MAGA: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

Sin embargo, un estudio reciente enseña que, en la zona cafetalera de Honduras, la caoba no tiene un potencial productivo tan promisorio como el cedro, probablemente por razones ambientales.

En Guatemala, es componente de los sistemas agroforestales con café de la costa del Pacífico. En un estudio realizado en fincas cafetaleras de la boca costa pacífica del país, Martínez (2005) identificó que existe un gran potencial en el mercado local para la madera de especies con alto valor y aceptación en el mercado como palo blanco *Tabebuia donnell-smithii*, cedro *Cedrela odorata* y caoba del sur *Swietenia humilis*, pero que el poco conocimiento de los productores sobre el manejo silvicultural dentro de los sistemas agroforestales con café no permite incrementar la eficiencia económica del sistema.

El INAB (2015) escogió dos fincas con potencial demostrativo del sistema:

La finca El Gudiela y Los Abanicos (Municipio de Chiquimulilla, Santa Rosa, Guatemala) muestra dos sistemas exitosos, en un área bajo manejo de 245 ha. Por un lado, la combinación de árboles con el cultivo de café, y por el otro el asocio de cítricos, palo blanco, cedro, teca, izote y banano. Este último sistema es considerado ejemplar, porque todas las especies que coexisten en el sistema, se encuentran con un buen manejo y en producción desde décadas.

La finca El Parraxé (Municipio de Samayac, Suchitepéquez) se dedica principalmente al cultivo de café con sombra en un área bajo manejo de 270 ha. Hace aproximadamente 13 años, el propietario de la finca inició la introducción de especies maderables de rápido crecimiento al cafetal. Las especies maderables que forman parte del sistema son: mundani *Acrocarpus fraxinifolius* y eucalipto *Eucalyptus spp.*. Luego fue introduciendo palo blanco y cedro a las plantaciones para incrementar el valor de las mismas, debido al precio de estas especies en el mercado. Hoy en día los árboles muestran características de forma y crecimiento sobresalientes y son aprovechados de forma sincronizada con los ciclos del cultivo de café. El sistema agroforestal, consiste básicamente en dos estratos verticales claramente diferenciados.

Lastimosamente, los aspectos técnicos de estos sistemas agroforestales en estas fincas no están documentados. Navarro y Hernández (2001) dan las siguientes recomendaciones prácticas generales.

DISTANCIAMIENTO DE SIEMBRA EN ASOCIO CON CAFÉ: La densidad de siembra de las especies maderables es un factor que dependerá de las necesidades del sistema agroforestal y del distanciamiento de las plantas de café. La densidad inicial puede variar entre 100 y 300 árboles por hectárea (6 m * 6 m hasta 9 m 9 m), que en sistemas multiestratos puede bajar a 70-90 árboles/ha (9 m * 12 hasta 12 m x 12 m). Son relativamente muy pocos árboles si se compara con la reforestación tradicional (1111 árboles/ha); por esto, debe de asegurarse que los árboles seleccionados para llevar al campo, sean los de mejor calidad.

En los cultivos de café es frecuente la siembra en curvas de nivel y se recomienda que el establecimiento de árboles maderables continúe el mismo patrón de siembra, de tal forma que se facilite el manejo de los árboles en el cafetal.

En Honduras, el productor de café generalmente planta las maderables dispersas de manera desordenada en el cafetal. Sólo uno de cada cinco productores introduce el cedro con distanciamientos de siembra ordenados de 3 m * 3 m o 6 m * 6 m.

DISEÑO DEL SISTEMA AGROFORESTAL CON CAFÉ: Existen dos posibilidades para el establecimiento de los árboles dentro de cafetales existentes: plantarlos entre las líneas de café (en las calles) o en las líneas de café. La principal ventaja de establecerlos entre las líneas de café es que los árboles reciben mayor cantidad y calidad de radiación solar, posibilitando un mayor crecimiento inicial en diámetro y altura. La principal desventaja es una mayor probabilidad de sufrir daños ocasionados por los trabajadores de la finca, especialmente cuando se realiza el control de malezas (manuales o con herbicidas) y las cosechas. Por otro lado, establecer los árboles en la misma fila del café tiene la ventaja que los árboles son menos dañados por los trabajadores de la finca, dejando el espacio libre para el paso de los recolectores o la aplicación de insumos, pero una menor calidad y cantidad de luz llega a los árboles. Por esta razón, se deben realizar podas a las plantas de café que se encuentren a ambos lados de los árboles maderables.

FERTILIZACIÓN INICIAL CON CAFÉ: Cuando se plantan los árboles se recomienda aplicar 50 gramos de fertilizante al fondo del hueco previo a la reforestación (evitar contacto directo con las raíces). Otro cuidado que se debe tener a la hora de plantar los árboles, es que el pan de tierra debe estar bastante húmedo, de tal forma que el árbol pueda soportar periodos cortos de sequía inmediatamente después del establecimiento.

Los insumos y cuidados al cultivo agrícola benefician también a los árboles, los cuales pueden crecer más rápidamente y superar la fase de susceptibilidad al barrenador en menor tiempo. Sin embargo, solamente el 1% de los productores de café en Honduras fertilizan el cafetal, y ninguno la plantación maderable.

EFFECTO DE LA ÉPOCA DE ESTABLECIMIENTO CON CAFÉ: La plantación de árboles debería realizarse después de la cosecha del café, ya que esta por lo general es ejecutada por personas ajenas a la finca, las cuales tienen poco o ningún cuidado con los árboles. Cuando el cafetal es nuevo y se desea plantar en las líneas del café, se aconseja realizarlo una o dos semanas después de que se haya establecido el cultivo de café. De esta manera se evita el tener que remover árboles que ocupen el espacio de una planta de café, además de que las plantas de café sirven de guía para la plantación de los árboles.

8. Silvicultura de plantaciones

Control de malezas

Basado en Cintrón (2000), Rosa (2010) citado por Ibrahim y Zapata (2012), Herrera y Lanuza (1997), Cordero y Boshier (2003), Wightman et al. (2006) y sistematización de experiencias (2018).

El cedro es tolerante a las malas hierbas en la etapa de plántula (lo que le permite germinar exitosamente en pastizales), pero intolerante a las malezas y a la sombra en etapas posteriores. Por tal razón, es esencial haber realizado una buena preparación del terreno y ejecutar buenas limpiezas durante los primeros tres años. En particular, durante el primer año se debe limpiar al pie de los arbolitos (plateo), ya que son muy susceptibles a la competencia.

Una forma generalizada utilizada en Finca La Eminencia, Escuintla, Guatemala, para el control de malezas en plantaciones forestales, bajo pleno conocimiento de que los cuidados culturales, durante los primeros años (3 a 4) de establecida la planta en campo definitivo, son fundamentales para que la planta exprese sus mejores atributos derivados del sitio y del ambiente; dicho protocolo de limpiezas se aplica tanto para especies coníferas y latifoliadas, la cual se describe a continuación:

(1). LIMPIAS DURANTE EL PRIMER AÑO DE LA PLANTACIÓN (todas las aplicaciones descritas se realizan en bombas de mochila de 20 litros de capacidad y con boquilla del tipo “espuma”):

- a. Plateo: consiste en la eliminación completa de las malezas aledañas a la planta recién establecida en campo, la actividad se lleva a cabo a los 25 días después de la reforestación, el radio del área de plateo es de 65 cm; es importante para garantizar que no existan enredaderas que agobien a la planta en su primera fase de crecimiento.
- b. Primera limpia: Consiste en una aplicación química, que se lleva a cabo a los 30 días después de la reforestación, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis de la primera limpia es de 1 litro de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.
- c. Segunda limpia: Consiste en una aplicación química, que se lleva a cabo a los 60 días después de la reforestación, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis de la segunda limpia es de 2.5 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.
- d. Tercer limpia: Consiste en una aplicación química, que se lleva a cabo a los 90 días después de la reforestación, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis de la tercera limpia es de 0.5 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.

- e. Cuarta limpia: se lleva a cabo en los meses de noviembre o diciembre, su objeto principal es que la plantación se mantenga libre de malezas durante la época seca (reducir el material combustible) y que la plantación tenga una nueva limpia hasta inicios de la época lluviosa del próximo año, se utiliza el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis es de 0.2 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.

(2). LIMPIAS DURANTE EL SEGUNDO, TERCER Y CUARTO AÑO DE MANTENIMIENTO: (todas las aplicaciones descritas se realizan en bombas de mochila de 20 litros de capacidad y con boquilla del tipo “espuma”).

- a. La primera limpia se realiza 30 días después del inicio de la época lluviosa, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis de la primera limpia es de 1 litro de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.
- b. La segunda aplicación se realiza a los 60 días después del inicio de la época lluviosa, utilizando el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis de la segunda limpia es de 2.5 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.
- c. Eliminación de lianas y enredaderas: en sitios donde la precipitación pluvial es constante en toda la época lluviosa, existe presencia abundante de lianas o enredaderas, actividad que en campo se le denomina “desbejuado” y consiste en eliminar las enredaderas y plantas trepadoras desde las raíces, alrededor del árbol (65 cm de radio), dicha actividad se realiza en el transcurso del mes de agosto (3 meses después del inicio de la época lluviosa) con el objeto de evitar el agobio de las plantas en sus primeras fases de crecimiento.
- d. La tercer y última limpia se realiza en los meses de noviembre o diciembre, su objeto principal es que la plantación se mantenga libre de malezas durante la época seca (reducir el material combustible) y que la plantación tenga una nueva limpia hasta inicios de la época lluviosa del próximo año, se utiliza el producto denominado Glifosato®, un adherente y corrector de pH (si fuera necesario), la dosis es de 0.2 litros de producto químico por hectárea, dicha dosis de producto es diluida en un tonel de 200 litros, que se utiliza para una hectárea. Durante la aplicación, se obtiene un rendimiento de limpia de 0.7 ha por persona por día.

CONTROLES MECÁNICOS Y QUÍMICOS: Para controlar las malezas, se puede utilizar controles manuales (cuchillo, chapia mecánica con tractor agrícola, motoguadaña). También es acertado el control químico (Gramoxone por ejemplo), siguiendo las indicaciones de la etiqueta (por lo general, de 4 a 6 onzas de herbicida por bomba de mochila), o la combinación de controles manuales y químicos. Si se realiza control químico se debe tener cuidado de no aplicar el producto sobre las plántulas.

CONTROL BIOLÓGICO: El establecimiento casi simultáneo con cultivos tradicionales, como maíz, por ejemplo, reduce los costos de mantenimiento inicial. Otra opción corresponde al uso de cultivos de cobertura (poco utilizado), aunque los resultados son seguros, como el caso de la Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala, donde se ha tenido la oportunidad experimentar con falso maní *Arachis pintoi*, camote *Ipomoea batatas*, pepitoria *Cucúrbita spp.*, utilizando principalmente Pueraria o Kudzú *Pueraria phaseoloides*.

Es importante agregar, que el establecimiento de los cultivos de cobertura genera una considerable inversión inicial, aunque requiere una menor inversión a lo largo de la persistencia del cultivo, la decisión de haber establecido cultivo de cobertura radica en que las zona de Izabal específicamente, está expuesta a un amplio periodo de precipitación pluvial, e inclusive, algunos años es difícil que se establezca una época seca muy marcada, lo anterior provoca que la persistencia de malezas afecte de forma agresiva y constante a la plantación durante todo el año, debido a ello, se ha optado por establecer cultivo de cobertura, para evitar realizar limpiezas manuales o mecánicas con alta frecuencia.

DESARROLLO DE UN "RODAL ACOMPAÑANTE": Como hay evidencias de que la presencia de "sombra lateral" reduce el daño del barrenador del tallo (sombra que impide, además, el desarrollo de ramas laterales como respuesta del cedro al ataque), el silvicultor puede tratar de usar la maleza para crear esta sombra lateral, eliminándola a lo largo de las líneas de plantación, pero dejando una franja enmontarse con vegetación natural entre líneas, para permitir el desarrollo de barreras vivas entre las hileras de los árboles. También puede aprovechar charrales jóvenes, para crear una plantación en hileras dentro del bosque joven.

En Cuba se ha experimentado introduciendo "flor del sueño o florifundia" *Brugmansia spp.*, en el "rodal acompañante" de plantaciones de cedro. El aroma de estas flores dificulta a las polillas hembras encontrar los árboles de cedro. Pero, el fomento y desarrollo de cualquier rodal acompañante se revelará positivo, "solamente si se asegura que los arbolitos de cedro ¡reciban luz desde arriba!" Cualquiera que sea el método empleado, no deje que los arbolitos (o árboles jóvenes) de las otras especies obstruya el ingreso de la luz vertical del sol encima de los cedros.

Poda

Basado en Wightman et al. (2006), Cordero y Boshier (2003), Hilje y Cornelius (2001), Martínez (2015), Jiménez (2012)

El cedro es atacado por una mariposa nocturna *Hypsipyla grandella*. Esta mariposa pone sus huevos en las hojas de los brotes tiernos del árbol. De estos nacen las larvas, que enseguida penetran en los brotes terminales y empiezan a comer la médula del brote. Este brote muere y, como una respuesta a esa pérdida, el árbol produce varias ramas. "La poda controla las ramas secundarias" que resultan del ataque de *Hypsipyla*.

En una plantación de cedro, es mejor podar cada 2 meses durante los primeros 3 años. Esta recomendación no significa que tendrá que podar todos los árboles cada 2 meses: significa que usted lleva una tijera de podar cuando supervise su plantación (monitoreo), y poda los árboles que lo necesiten. Hay dos tipos de poda que son útiles para controlar la plaga *Hypsipyla*: i) Podas de sanidad y ii) Poda de formación; 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 escalera o pértiga telescópica de poda.

Aplicando y repitiendo estas medidas las veces que sea necesario hasta que el ataque se diluya en ramas secundarias donde el efecto no es tan importante, se pueden lograr fustes rectos de cedro de 3.5 metros o más. “Si usted no las aplica, es muy posible que su plantación de cedro nunca tenga un valor comercial”.

A manera de mal ejemplo a “no seguir”, sólo uno de cada diez productores de café en Honduras realiza podas de formación a su plantación maderable: por descuido, 9 productores pierden calidad de la madera producida en su sistema agroforestal, y por ende beneficios.

PODA SANITARIA: Es fácil detectar el ataque de la plaga porque los excrementos de la larva del insecto, que tienen apariencia de aserrín, son visibles en el exterior del brote. Cuando los vea al hacer monitoreo a la plantación, haga una poda sanitaria, así: corte el brote principal atacado en un punto localizado inmediatamente debajo de donde termina el daño. Abra el trozo que cortó y mate la larva para impedir que se aloje en otro árbol.

Dejando un corte impecable que cicatriza rápidamente, los árboles podados reiniciarán, aparentemente, su crecimiento más rápidamente que los árboles atacados.

PODA DE FORMACIÓN. Cuando encuentre un árbol que haya sido atacado y que tenga más de un rebrote, corte todos menos el mejor (eje dominante). Estos cortes pueden hacerse solamente cuando este brote se haya vuelto leñoso (unos tres meses y más después del corte de eliminación de la larva), para reducir así la probabilidad de reincidencia del ataque en la sección del brote ya producida. Esta práctica evita la formación de bifurcaciones en la parte baja del árbol, la más valiosa desde el punto de vista maderable. ¡Cuidado!: al aplicar esta poda, se debe dejar la mayor cantidad de follaje que se pueda.

En el caso de árboles más viejos, que han respondido al daño emitiendo dos o más ejes, debe efectuarse una poda para dejar solamente el mejor eje (caso que nunca debería ocurrir si monitorea correctamente su plantación desde el establecimiento de la plantación).

Las podas de formación deben realizarse al menos una vez al año durante los primeros años posteriores a la reforestación, ya sea que se trate de plantaciones puras, mixtas 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.

La percepción de los silvicultores observada durante la sistematización de experiencias y las referencias en algunos estudios afirman que la poda estimula el crecimiento en altura de los árboles, es decir, luego de una poda observaron un desarrollo adicional en comparación con los árboles que no reciben poda.

Utilizar adecuadamente esta tendencia, integralmente con las otras recomendaciones de manejo que se han venido mencionando (no por daños de plagas) proporciona muy buenos resultados, como el caso de la Finca Kampura, en Livingston, Izabal, Guatemala cuyos árboles reciben al menos una poda al año para eliminar las ramas inferiores, dejando una proporción del 25% de la copa en relación a la altura total del árbol.

Es importante señalar que la realización de podas anuales ofrece la ventaja de evitar daños en el fuste principal del árbol, debido a que las ramas son delgadas, esto a su vez, favorece que la herida sane rápidamente y se eviten infecciones u otras complicaciones, logrando así, producir las trozas con mayor valor económico libre de daños.

Es mejor podar cada 2 meses durante los primeros 3 años. Esta recomendación no significa que tendrá que podar todos los árboles cada 2 meses: significa que usted lleva una tijera de podar cuando supervise su plantación (monitoreo), y poda los árboles que lo necesiten. Hay dos tipos de poda que son útiles para controlar la plaga *Hypsipyla*:

- **Tipo 1.** Es fácil detectar el ataque de la plaga porque los excrementos de la larva del insecto, que tienen apariencia de aserrín, son visibles en el exterior del brote. Cuando los vea al hacer monitoreo a la plantación, haga una poda sanitaria, así: corte el brote principal atacado en un punto localizado inmediatamente debajo de donde termina el daño. Abra el trozo que cortó y mate la larva para evitar que se aloje en otro árbol.
- **Tipo 2.** Cuando encuentre un árbol que haya sido atacado y que tenga más de un rebrote, corte todos menos el más alto (eje dominante). Estos cortes pueden hacerse solamente cuando este brote se haya vuelto leñoso (unos tres meses y más después del corte de eliminación de la larva). Esta práctica evita la formación de bifurcaciones en la parte baja del árbol, la más valiosa desde el punto de vista maderable.

En el caso de árboles más viejos, que han respondido al daño emitiendo dos o más ejes, debe efectuarse una poda para dejar solamente el mejor eje (caso que nunca debería ocurrir si monitorea correctamente su plantación desde la siembra). Aplicando y repitiendo estas medidas las veces que sea necesario hasta que el ataque se diluya en ramas secundarias donde el efecto no es tan importante, se pueden lograr fustes limpios de caoba de 3.5 metros o más.

Raleo

Basado en Martínez (2015), Cintrón (2000), Wightman et al. (2006), Cordero y Boshier (2003), Jiménez (2012)

El objetivo principal del raleo es mejorar el crecimiento de los árboles remanentes, que presentan una forma aceptable para la cosecha final. Los árboles que se cortan son generalmente 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 sean genéticamente menos susceptibles o tolerantes a las plagas.

Si gozan de buena luz y bajo condiciones favorables de sitio, los brinzales juveniles escapan del ataque por el barrenador después de 3-4 años. Una vez superada esta etapa vulnerable, el cedro crece muy rápido (1.3 a 2.5 cm o más en diámetro y 1.3 a 2 m o más de altura al año, en buenas condiciones de sitio).

Si la especie fue plantada con un espaciamiento "convencional" de 3 m * 3 m, en buenos sitios, el primer raleo se haría, normalmente, cuando el árbol tenga de 3 a 4 años de edad (Wightman et al. 2006). Martínez (2015) sugiere para el mismo espaciamiento 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.

Herrera y Lanuza (1997) actúan de manera más prudente: recomiendan realizar de cuatro a cinco raleos hasta tener 200 a 300 árboles por hectárea.

En sistemas agroforestales, con densidades de siembra inferiores a 200 árboles/ha, no es necesario hacer raleos hasta llegar a la cosecha final, excepto si se necesita un raleo sanitario. Solo se eliminan los árboles de mala forma para dejar una densidad final de 100 a 200 árboles/ha al final del turno de corta. El raleo debe ser suficiente para asegurar que las copas de los árboles restantes queden a plena luz.

En plantaciones mixtas de especies maderables, el rodal debe ser manejado como un conjunto. En Honduras, ningún productor de café realiza raleos al componente maderable de su sistema (lo que obviamente repercute negativamente en la calidad del producto final).

Aprovechamiento final

Basado en Cordero y Boshier (2003), Herrera y Lanuza (1997), Wightman et al. (2006), Jiménez (2012).

Los árboles en plantaciones pueden aprovecharse cuando alcanzan 45 cm de DAP, lo cual corresponde a un fuste comercial de 15 m. La edad a la cual se alcanzan estas dimensiones es 40 años. Turnos de corta más cortos (18-25 [20-30] años) pueden producir mayor volumen total (11-22 m³/ha/año) pero la madera producida es apreciablemente de menores dimensiones. Además, debe considerarse que la calidad y la belleza de la madera mejoran con los años porque aumenta proporcionalmente la cantidad de duramen en el tallo; por consiguiente, el precio de venta sería más alto. La decisión de la fecha de corta, por lo tanto, dependerá del mercado de la madera.

Los árboles que crecen a espaciamientos mayores en sistemas agroforestales pueden mostrar mayor incremento dimétrico y alcanzar tamaños comerciales más rápidamente, pero requieren de podas oportunas para producir trozas comerciales de calidad. En cafetales de Costa Rica, Cordero y Boshier (2003) informan de dap promedios de 42-48 cm a los 16-18 años, mientras que, en cafetales de Honduras, Jiménez (2012) reporta dap promedios de 63-70 cm a los 30-32 años. En el mismo contexto, en asociados de Cedro plantado a distanciamientos de 8 m * 8 m (156 arb/ha) con cafetales establecidos en Finca San Joaquín, Santa Cruz Verapaz, Alta Verapaz, Guatemala, con base a datos de PPMF establecidas en dicha finca, se registran valores de DAP promedio de 40.2 cm (IMA de 2.8 cm) y altura total promedio de 18.1 m (IMA de 1.3 m) a los 14.3 años de edad.

9. Manejo de plagas y enfermedades

Sin lugar a dudas, el principal problema que afecta tanto a la caoba como al cedro es el ataque del barrenador del brote, la palomilla *Hypsipyla grandella*. La plaga ataca a las plántulas en vivero y a árboles en plantaciones jóvenes; aunque rara vez mata al árbol, sí degrada seriamente la forma del fuste, ya que el árbol se bifurca con lo que se reduce la altura comercial. A pesar de la aptitud sobresaliente del cedro como especie de plantación, esta plaga creó el mito de inmanejable, lo que ha conllevado a abandonar casi totalmente las plantaciones con meliáceas en el trópico americano (Macías-Sámano 2001, citado por Sosa 2009).

Tabla 2. Agentes dañinos del cedro (*Cedrela odorata*) reportados* en Guatemala

Nombre común del agente dañino	Nombre científico del agente dañino	Tipo de agente dañino	Estructura atacada	Ataques / peligrosidad	Más información en...
Barrenador, taladrador de las meliáceas	<i>Hypsipyla grandella</i>	Insecto LEP	Nuevos brotes de árbol joven, frutos, semillas	Puede ser muy severa en plantación pura a plena luz / afecta TODAS las plantaciones de cedro en Guatemala / reportado por el SIFGUA	Prado (2006), Sosa (2009)
Cancro (muerte descendente)	<i>Botryosphaeria</i> sp.	Micro organismo	Ramas y fuste	Patógeno oportunista, que sólo causa enfermedad en plantas estresadas (por mal sitio p.ej.) / clorosis de la hoja, con numerosas manchas oscuras; marchitamiento o muerte repentina de una o más ramas en un árbol que parece sano; el patógeno mata el ápice principal o ramas secundarias y avanza colonizando y matando la corteza en sentido descendente / encontrado en varios árboles de diferentes edades en plantaciones de Livingston; en vivero, mató plántulas listas para su traslado al campo definitivo	Soto (2002), Bush (2015), Pérez y Pérez (2014)
s/n	<i>Hysterographium</i> sp.	Micro organismo	Corteza de ramas y tallo principal	Epifito / mosaico de manchas en toda la corteza, sin romperla, sólo formando unas fisuras en el tejido más superficial / incidencia 25% de los individuos en plantaciones jóvenes / encontrado en Livingston	Soto 2002
Barrenador del xilema / barrenador del tallo	<i>Chrysobothris</i> sp. / <i>C. yucatanensis</i> está ampliamente distribuido en Quintana Roo, Tabasco, Yucatán y Campeche	Insecto Coleóptero	(Base del fuste (¿entre 0 y 4 cm sobre el suelo?))	Larvas del coleóptero atacan la base de arbolitos mayores de un año y con diámetros menores de 5 cm, que están bajo un tipo de estrés abiótico (p.ej. quemaduras de sol) / los arbolitos se quiebran a la altura de la lesión / plaga económicamente importante en México y Nicaragua / reportado por el SIFGUA	Arreola (1980), Sediles y Zúniga (2013), Sequeira et al. (2017)

*Elaborado con base en los Informes anuales de plagas 2006-2015 del SIFGUA (<http://www.sifgua.org.gt/Plaga.aspx>), Sosa (2009), Soto (2002), Hilje et al. (1991), Arguedas (2007), Bush (2015), Pérez y Pérez (2014), Arreola (1980), Sediles y Zúniga (2013), Sequeira et al. (2017)

Durante la sistematización de experiencias (INAB 2018) se reportaron daños ocasionados por babosa común, coincidentemente en áreas cuyo uso anterior fue la ganadería, presentándose los daños en los primeros meses de establecida en campo definitivo, cuando el tejido esta aún succulento. El daño ocasionado consiste en descortezar principalmente la base de la planta, realizando un anillado que resultó fatal para varias plántulas hasta que se logró su control.

El caso fue reportado en El Chal, Peten, Guatemala, donde los daños se observaron al día siguiente del establecimiento en campo definitivo, se probaron algunos métodos de control considerando los hábitos nocturnos de las babosas, sin lograr controlar y reducir significativamente los daños, finalmente se utilizó Molux¹⁷, que es un producto granulado que se aplicó sobre el suelo alrededor de la base del árbol, resultando que, por la acción sistémica debido a la ingestión del producto, la plaga fue muriendo, logrando así su control.



Figura 8. Tallo de plántula de cedro de dos meses de edad, con cicatrices del daño ocasionado por babosa común (no identificada) en plantación forestal, El Chal, Petén, Guatemala.

¹⁷ Molux es un molusquicida granulado cuya acción estomacal y de contacto adormece al molusco e induce a una mayor secreción de la mucosidad, lo cual le provoca deshidratación y muerte.

Plagas y enfermedades en vivero

La especie no es particularmente susceptible a plagas o enfermedades en vivero. Eso sí, siempre y cuando el vivero esté correctamente manejado. Teni (2007) describe reglas básicas que deberían respetarse en la gestión, en particular acerca de la preparación y desinfección del sustrato, y Arguedas (1997) detalla cómo manejar los problemas fitosanitarios en semillas forestales.

Un desarrollo indeseado de *Botryosphaeria* sp., se evita mediante la correcta desinfección del sustrato, y eventuales aspersiones de un fungicida a base de cobre (Soto 2002).

De forma preventiva un vivero ubicado en San Francisco, Petén, Guatemala, realizar al menos una inoculación con productos a base de *Metarhizium*, como por ejemplo, el nombre comercial Specific Meta¹⁸; con lo que las plantas se mantienen completamente libres de daños por barrenador, además que esta(s) aplicación(s) previenen y proporcionan protección a las plantas contra la presencia del barrenador del brote en campo definitivo.



Figura 9. Raíz de planta de Cedro en vivero forestal, con posibles colonias de *Metarhizium* en San Francisco, Petén, Guatemala.

¹⁸ Es un insecticida biológico compuesto por esporas del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* para el control de insectos.

Plagas y enfermedades en plantaciones

Basado en Soto (2002), Hilje y Cornelius (2001), FAO (2007), Hilje et al. (1991), Arguedas (1987), Prado (2006), Juárez (2016), Jiménez (2012), Sosa (2009)

Además del barrenador de las meliáceas *Hypsipyla grandella* mencionado al inicio de este capítulo, se encontraron tres agentes dañinos del cedro en Guatemala, citados en el cuadro anterior (cuadro 2). Las prácticas para su control no se van a tratar a continuación por las siguientes razones:

- Soto (2002), quien diagnosticó el cancro *Botryosphaeria* sp. en Livingston, describe clorosis en las hojas, pero no dice haber encontrado canchros en el fuste de los árboles. Tan es así que sugiere medidas de control en vivero (ver acápite anterior), pero afirma que en árboles de mayor edad no se presentan grados de severidad de más de 50%, sin describir nuevos síntomas (¿muerte descendente?) ni tampoco definir la incidencia. Es oportuno precisar los alcances de la enfermedad antes de recomendar un tratamiento, si es que sea necesario.
- En Livingston, sitio donde fue identificado, *Hysteroglyphium* sp. es considerado un epifito o parásito facultativo, poblador regular del ecosistema local. Soto (2002) lo encontró en todos los árboles maduros (incidencia 100%), pero con baja severidad (25 % como máximo). Es necesario precisar si este hongo provoca daños económicos, antes de definir una estrategia de control.
- El barrenador del tallo *Chrysobothris* sp., ha sido reportado únicamente por el SIFGUA, pero ningún investigador describió síntomas ni distribución de la plaga en Guatemala. Se requiere más información de campo sobre su forma de atacar (¿dónde, cuando, en individuos de cual edad, en cuales estructuras, con cuales consecuencias?) antes de preconizar un tratamiento preventivo, ya que la información disponible sobre *C. yucatanensis* no coincide con la información del *Chrysobothris* sp. identificado en Nicaragua.

A continuación, se describen los síntomas y prácticas para el control de la plaga considerada la más dañina en Guatemala.

Barrenador de las meliáceas *Hypsipyla grandella* Zeller 1848

La palomilla *Hypsipyla grandella* es quizás la principal plaga forestal en América Latina y el Caribe, lo cual se debe a tres factores: a) bajo umbral de tolerancia, pues con apenas una larva por árbol el daño resulta severo; b) especificidad sobre miembros de la subfamilia Swietenioideae de las Meliaceae (13 especies neotropicales), entre las que figuran especies de alto valor económico; y c) amplia distribución geográfica, desde Florida hasta Argentina, incluyendo las islas del Caribe.

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 y, así, el valor comercial del árbol resulta disminuido o anulado. Además, el crecimiento se detiene. La mortalidad de árboles es poco frecuente, y se presenta solamente si los ataques reiterados agotan las reservas en las plántulas o los árboles jóvenes.

En su caracterización de las plantaciones de cedro y caoba de Petén en los departamentos de Alta Verapaz (zona del Polochic y la Franja Transversal del Norte), Izabal y Petén, ambos de Guatemala, Prado (2006) encontró que la calidad de fuste de los árboles en la actualidad es mala en las cuatro regiones evaluadas (menos de 10% de fustes rectos, mientras que los árboles sinuosos y bifurcados representan más del 50% del número total de individuos), probablemente por los ataques continuos de *H. grandella*, y la falta de manejo silvicultural de las plantaciones (no hay podas de saneamiento ni de formación).

IDENTIFICACIÓN: Los adultos son de color marrón a grisáceo, con una envergadura de aproximadamente 23-45 mm. Las alas anteriores son de color gris a marrón con tonos castaño rojizo en la parte inferior y escamas blanquecinas con puntos negros hacia los extremos del ala. Las venas de ala están claramente cubiertas de negro. Las alas posteriores son de color blanco a translúcido con márgenes de color oscuro.

La larva, cuando nace, es de color beige con tonos rosados y mide de 2-2,5 mm, pero en el último instar mide de 21-27 mm y es de color azul claro, azul oscuro o rosado claro, con una cápsula de cabeza café.



Figura 10. Larva del barrenador de las meliáceas *Hypsipyla grandella* (Fotografía de Rony Alexander Albanés Barahona, del INAB).

La pupa mide unos 13 mm y es de color castaño en el vientre y negro pardo en el dorso, encerrada en un capullo de seda.

Los huevos miden 0.5-1 mm, son elípticos y aplastados, de color amarillo pálido que vira al rojo. Por lo general, se colocan sobre brotes jóvenes, verdes y vigorosos, aunque también aparecen sobre el pecíolo de hojas y hojuelas y sobre los frutos.

CICLO DE VIDA. Las hembras se acoplan sólo una vez y ponen 200-450 huevos durante un período de cinco a ocho días; son voladores fuertes y pueden recorrer distancias considerables para localizar el material huésped adecuado.

En los árboles jóvenes, los huevos se depositan solos o a veces en grupos de 3-4 en los brotes, tallos y hojas, particularmente en la cara superior de las hojas. Concentrados alrededor de los brotes en crecimiento, los huevos pueden ocurrir en todas las alturas del árbol huésped y a menudo se colocan en lugares ocultos tales como axilas de las hojas, cicatrices de hojas, venas, lenticelas y fisuras en la corteza. Los huevos depositados en la fruta se depositan inicialmente por separado en la superficie del fruto, pero posteriormente se depositan en grupos de hasta 12 en el daño preexistente en el fruto.

Después de tres a cinco días, los huevos eclosionan y las larvas perforan galerías en los brotes nuevos de árboles jóvenes, de 25 cm o más de longitud, donde comen la médula. Si el alimento se agota, pueden migrar hacia otra rama o fruto para completar su desarrollo: es así que a veces también se alimentan de las flores, frutos y corteza de los árboles hospederos. El insecto pupa generalmente dentro de la galería.

Una generación tarda generalmente 1-2 meses, pero puede extenderse hasta cinco meses si las larvas entran en diapausa, en áreas con bajas de temperatura (de 30 a 15°C) y/o de precipitación.

El adulto sale del brote por alguno de los orificios que presenta el tallo barrenado. Los adultos son típicamente nocturnos y se aparean dentro de los seis días de su aparición.

En Petén, Guatemala y Honduras, la polilla ataca únicamente en la época lluviosa (invierno), que corresponde al momento del año donde las plantas producen nuevos brotes apicales para su crecimiento (Juárez 2016, Jiménez 2012).

SÍNTOMAS: En estadio temprano del ataque, el daño se reconoce externamente por la marchitez del brote y por la presencia de montículos rojizos de aserrín, seda y excrementos sobre el tallo. Más avanzado, el ataque produce la muerte de los brotes tiernos, incluyendo el brote central, lo cual produce ramificación de los árboles y deformación, lo que reduce el valor comercial del árbol. Cuando el ataque es repetido, se produce un retardo en el crecimiento e incluso la muerte.

Esta especie ataca principalmente a los árboles en áreas expuestas a pleno sol, por lo cual los efectos más severos se observan en las plantaciones jóvenes, particularmente aquellas plantadas con una sola especie. La regeneración en bosques naturales sufre mucho menos daño. El barrenador es un problema tanto para el vivero como para las plantaciones; árboles de 3 meses a 14 años de edad y entre 50 cm y 15 m de altura han mostrado síntomas de ataques de *Hypsipyla*.

A pesar de este intervalo largo de tiempo con ataques, se considera que **“los primeros tres años de una plantación constituyen el periodo crítico”**, cuando el impacto del ataque es más perjudicial económicamente, 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.

PRÁCTICAS DE CONTROL: *Hypsipyla grandella* afecta tanto a Cedro como Caoba en cuyos casos ha demostrado ser difícil de controlar, esta plaga puede causar daños significativos incluso a bajos niveles de población y por lo tanto se considera una gran plaga destructiva del bosque.

El uso de insecticidas para su combate 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*. En una revisión de las investigaciones sobre el control químico de *Hypsipyla* spp., Wylie (2001, citado por FAO 2007) señaló que no existe un solo plaguicida fiable, de relación costo-beneficio favorable y ambientalmente amigable, disponible para controlar estos insectos. Según el autor, el control químico de esta plaga sólo debería ser utilizado en vivero o como parte de un programa de manejo integrado de plagas, para controlar brotes limitados. Las experiencias con insecticidas en Taxisco (Santa Rosa, Guatemala) parecen confirmar la afirmación de Wylie: para tener efecto, hay que hacer aplicaciones constantes, ¡porque luego de dos meses vuelve a aparecer la plaga!

Un buen programa de Manejo Integrado de Plagas (MIP) enfatiza los componentes de tipo preventivo, priorizando las prácticas silviculturales, el control biológico, el control etológico y el mejoramiento genético. De acuerdo con la información proporcionada por Wagner Mejía¹⁹, en Hacienda Río Dulce, Livingston, Izabal, donde se ha establecido un MIP basándose en los hábitos de la plaga, se basa en tres pasos importantes que son: i) nutrición: para estimular el desarrollo principalmente en altura y sobrepasar lo antes posible la longitud donde se ubica la mayor ocurrencia de vuelo de la palomilla, ii) control preventivo: a través de trampas para capturar las palomillas que aun han sido fecundadas y iii) control correctivo: aplicando productos químicos a los brotes, para eliminar a las palomillas ya fecundadas que buscan los brotes para depositar sus huevos.

Prácticas silviculturales: las prácticas más promisorias se refieren a la calidad del sitio seleccionado para plantar las meliáceas, el uso de sombra lateral y las podas. Los factores a tomar en cuenta para elegir un sitio adecuado para plantar cedro, los métodos para generar sombra lateral y las correctas prácticas de poda han sido desarrollados en los capítulos "Selección de sitio", "Establecimiento de plantaciones" y "Silvicultura de plantaciones" del presente documento. Dichos aspectos son parte integrante del MIP, y el silvicultor que pretende controlar la plaga "debe" integrarlos en el diseño y mantenimiento de su plantación.

Control etológico: se refiere a los efectos de factores que alteran el comportamiento de *H. grandella*, incluyendo sustancias atrayentes, así como repelentes y disuasivas. Un ejemplo es la atracción engañosa de los machos hacia trampas mediante la feromona sexual de la hembra.

Otra opción son las sustancias que inhiben la alimentación o el desarrollo de las larvas. Extractos alcohólicos de hombre grande *Quassia amara*, Simaroubaceae y de ruda *Ruta chalepensis*, Rutaceae, cuando se aplican sobre los brotes de la caoba 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*, actúa diferente, pues impide que las larvas pequeñas muden su piel y mueran casi de inmediato, sin poder penetrar en el brote.

¹⁹ MSc. Wagner Mejía. 19 de noviembre de 2018. Control de *Hypsipyla grandella* en plantaciones de meliáceas. (Entrevista). Livingston, Izabal, Guatemala. Regente Forestal de Hacienda Río Dulce.

Aunque los extractos crudos de hombre grande *Quassia amara* y ruda *Ruta chalepensis*, así como los productos comerciales a base del nim, podrían aplicarse directamente a la parte aérea del árbol, sería mejor incorporarlos al suelo en el momento de la plantación, puesto que ellos se pueden transportar de manera sistémica dentro de los árboles, quizás podrían formularse como productos de liberación controlada, para así aumentar su duración y efecto.

En una plantación de especies meliáceas en el municipio de Concepción las Minas (Chiquimula), Sosa (2009) estudió la susceptibilidad de la plaga *Hypsipyla grandella* a extractos de semilla de nim, y confirmó que el insecticida orgánico ValleNim35 EC²⁰ es altamente efectivo en el control del gusano barrenador de las meliáceas, en concentraciones de 1:5 y 1:10 v/v (relación entre la cantidad de soluto y la cantidad de solvente).

Para el caso de Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala, se ha realizado control semi orgánico correctivo, utilizado productos a base de Nim, combinados con insecticidas sintéticos a base de cipermetrina o fosforados (Forafos²¹) y un adherente mineral. La periodicidad es de al menos 1 vez al mes.

El control preventivo de orden etológico se realiza a través de trampas biológicas, el cual es implementado cuando la plantación alcanza un promedio de 70 centímetros de altura. Estas trampas cumplen con los siguientes componentes:

- a. Atrayente (mezcla de compuestos orgánicos o feromona): La primera opción ha sido la feromona, sin embargo, se han utilizado compuestos orgánicos en combinación con las feromonas, pero también de forma independiente, logrando resultados aceptables (15 a 20 palomillas capturadas por semana). La finca ha tenido experiencias con las siguientes mezclas y dosis por trampa:
 - 150 cc de melaza + 50 cc de alcohol (etilico e isopropílico²²) al 80%
 - 150 cc de melaza + 50 cc de alcohol (etilico e isopropílico) al 80% + Propolio²³
 - 150 cc de melaza + 50 cc de alcohol (etilico e isopropílico) al 80% + feromona
 - 150 cc de melaza + 50 cc de alcohol (etilico e isopropílico) al 80% + levadura
- b. Barrera para choque de adultos: para el caso del adulto del barrenador del brote, el recipiente recibe el choque de la palomilla, que funciona como recipiente de colecta, una vez que esta ubica la procedencia del aroma del atrayente y se dirige hacia el origen y caen en la mezcla que evita que este alce el vuelo.
- c. Recipiente para colecta de adultos: se utilizan recipientes plásticos, como por ejemplo los envases desechables de gaseosas (de 2 o 3 litros) a los que se les realiza un corte en el lateral superior para el ingreso de las palomillas, que en el fondo contiene la mezcla atrayente. Regularmente se ubican de 2 a 3 trampas por hectárea, que se renuevan cada 2 meses.

²⁰ Sosa, A. 8 jun. 2017. Insecticida usado en la investigación de grado (correo electrónico).

²¹ Insecticida organofosforado que actúa por contacto, ingestión e inhalación. En los insectos altera el sistema nervioso al inhibir la acción de la enzima acetilcolinesterasa.

²² Se utiliza alcohol isopropílico en época de lluvia y alcohol etílico en época seca

²³ Son unas mezclas resinosas que obtienen las abejas de las yemas de los árboles, exudados de savia u otras fuentes vegetales y que luego procesan en la colmena.



Figura 11. Trampa biológica para el control etológico del barrenador del brote *H. grandella* en plantaciones de meliáceas, Hacienda Río Dulce, Izabal, Guatemala (Fotografía: proporcionada por Wenner Mejía).

Control químico: el uso de insecticidas para su combate 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*. En una revisión de las investigaciones sobre el control químico de *Hypsipyla* spp., Wylie (2001, citado por FAO 2007) señaló que no existe un solo plaguicida fiable, de relación costo-beneficio favorable y ambientalmente amigable, disponible para controlar estos insectos. Según el autor, el control químico de esta plaga sólo debería ser utilizado en vivero o como parte de un programa de manejo integrado de plagas, para controlar brotes limitados. En Petén, Guatemala, los técnicos responsables de las plantaciones sistematizadas por Juárez (2016) usaron insecticidas químicos, pero sin dar mayores detalles, por considerar la información reservada.

En finca Kampura, Izabal, Guatemala, mediante la mezcla de dos productos a base de cipermetrina con los nombres comerciales Delta Metrina y Super Metrina durante los primeros 3 años, han logrado reducir significativamente las poblaciones de barrenador, a tal grado de lograr homogeneidad de fustes únicos con dimensiones que después de los 4 años de edad sobrepasan los 13 metros de altura y diámetros promedios de 10.5 centímetros en plantaciones de meliáceas. Las aplicaciones se realizan cada semana durante el primer y segundo año (hasta que hayan logrado 7 a 8 metros de altura), y durante el tercer año se realizan aplicaciones cada 15 días. Todas las aplicaciones se combinan con fertilizantes foliares y realizando podas anuales. A partir del cuarto año las aplicaciones se realizan con menor intensidad y dejan de realizarse después del quinto año.

Un caso interesante se observó en la Finca particular en El Chal, Peten, Guatemala, donde han estado haciendo aplicación de insecticida cada mes, pero aún se observan daños significativos ocasionado por el barrenador. Esta situación promovió la reflexión sobre el intervalo de tiempo entre cada aplicación, sugiriendo la necesidad de realizar al menos dos aplicaciones al mes, sin que eso represente necesariamente la utilización de más fertilizante, ya que es posible dividir la dosis mensual en dos, con el objetivo de realizar una aplicación al menos cada 15 días.

Control biológico: Consiste en la utilización de los enemigos naturales de *H. grandella* (parasitoides, depredadores y entomopatógenos), para que regulen sus poblaciones. Hasta la fecha, se han identificado al menos 11 especies de parasitoides, incluyendo avispiñas, moscas y depredadores (avispa grande, chinches, arañas). 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 cedro y caoba 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.

Concretamente, los intentos previos de control biológico de las especies *Hypsipyla* no han tenido éxito, aunque continúa la investigación (posibles agentes, hospederos). Un caso excepcional corresponde a la plantación de meliáceas establecida en finca particular, ubicada en San Francisco, Petén, Guatemala, donde los árboles de un año de edad, tienen alturas promedio de 1.75 metros y no se evidenció ningún daño ocasionado por el barrenador del brote (con base al monitoreo de 70 plantas continuas, puntualizando identificar signos y síntomas del daño). El manejo de plagas consiste en el uso de parasitoides y entomopatógenos, que inicia desde el vivero, donde se inoculan y preparan a los árboles para combatir la plaga durante las primeras semanas de haberse plantado.

El manejo incluye la desinfección del suelo previo a la siembra con Detruire (preparación de suelo), con lo cual se previenen las plagas de suelo como se les denomina comúnmente (principalmente hongos que causan el mal del talluelo). Se realizan inoculaciones con organismos benéficos tales como *Trichoderma*, por ejemplo, el de nombre comercial Pro-selective²⁴ y *Bacillus* con el nombre comercial Invassione²⁵ los cuales contribuyen al control de hongos como el *Fusarium* y *Phytophthora* entre otros.

El criterio de decisión para la prevención del daño se basa en analizar el ciclo del insecto, aunado a los índices de temperatura y humedad que afectan el sitio. Así mismo, considera los hábitos de los barrenadores; se ha concluido que en dicho sitio, las aplicaciones son recomendadas al momento de la plantación y en los meses de enero, abril, mayo, octubre y noviembre, para un mínimo de 6 aplicaciones anuales, sujetas a la retroalimentación del monitoreo de la plaga.

²⁴ Cepa del hongo *Trichoderma harzanium* (i.a.), el cual contiene 1×10^{11} esporas de concentración. Es un fungicida biológico para el control de hongos fitopatógenos del suelo, como ejemplo, *Fusarium* sp, *Phytophthora* sp, etc.

²⁵ Fungicida biológico formulado por varias cepas de bacterias benéficas como *Bacillus subtilis* y *Bacillus ssp.* las cuales funcionan como competidoras contra hongos foliares.

Tal como termina de complementar el asesor Ing. Ángel Ibarra²⁶, el tratamiento²⁷ que se describe, se complementa con la inoculación de organismos para el control de defoliadores como el minador, utilizando un extracto vegetal de nombre comercial BH110²⁸ y finalmente, para el control del barrenador se utilizan productos a base de *Metarhizium*, como el de nombre comercial Specific Meta²⁹.

Se propone dar seguimiento a la evolución de la plantación y su respuesta al tratamiento biológico; así mismo, un análisis profundo acerca de la relación entre las características climáticas relacionadas al comportamiento, ciclo y hábito de *Hypsipyla*, a fin de actualizar la información en futuras versiones del presente documento.

Mejoramiento genético: Aunque no se identificó árboles resistentes a la plaga, sí se podría desarrollar un programa local de mejoramiento genético para seleccionar individuos de especies meliáceas que crezcan rápidamente y a la vez respondan al ataque de *H. grandella* con apenas un rebrote. Investigaciones en curso muestran diferencias de comportamiento entre familias y poblaciones.

En este momento, la estrategia más promisoría para el control de *Hypsipyla grandella* consiste en aplicar un programa de manejo integrado de plagas cuyo pilar son las prácticas silviculturales, apoyado en momentos críticos por un control químico o etológico. Según Juárez (2016), los detalles de las estrategias y métodos para el control del barrenador de las meliáceas en Petén, son un secreto celosamente guardado por los técnicos responsables de las plantaciones.

Vigilancia forestal

Basado en Wightman et al. (2006), Juárez (2016)

Wightman et al. (2006) sugieren supervisar una plantación de cedro **cada 2 meses durante los primeros 3 años**. En el transcurso del recorrido bimestral, recomiendan podar los árboles que lo necesiten.

Si bien no precisan periodicidad ni tiempo, los silvicultores del Proyecto "Pilonos de Antigua" en San Francisco (Petén) consideran clave el cuidado (monitoreo) de la plantación, para proteger los árboles de ataques de la polilla barrenadora. Su estrategia es contratar a personal en la época lluviosa, que es prácticamente la época en la que ataca la plaga, para podar los brotes afectados y quemar los residuos para evitar posibles focos de proliferación de la plaga.

²⁶ Ing. Ángel Ibarra. 22 de Noviembre de 2018. Técnicas de control biológico aplicado a *Hypsipyla grandella* en plantaciones de meliáceas (co y caoba). Finca particular, San Francisco, Petén. Asesor Forestal.

²⁷ El costo promedio del tratamiento biológico estimado por el técnico Ángel Ibarra es de Q 11.55 (1.5 dólares americanos) al año.

²⁸ Es un insecticida natural orgánico constituido por alcaloides naturales con esqueleto de benzofeanantridina y benzoisoquinolina así como saponinas oleanólicas. Posee acción contra larvas de *Spodoptera frugiperda*.

²⁹ Es un insecticida biológico compuesto por esporas del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* para el control de insectos.

10. Manejo de bosques naturales

La serie de Paquetes tecnológicos forestales publicada por el INAB pretende propiciar el aumento de la rentabilidad y productividad de las plantaciones forestales de especies consideradas prioritarias, en este caso el cedro. El tema del manejo forestal sostenible de *Cedrela odorata* en bosques naturales latifoliados no está por lo tanto considerado en esta revisión bibliográfica. Para quien esté interesado en este campo, los siguientes documentos aportan elementos de interés:

- Grogan et al. (2017) reseñan de manera sencilla y comprensible los requisitos claves del manejo forestal sostenible, y describen los parámetros de manejo más importantes como son el ciclo de corta, el diámetro mínimo de corta y la intensidad de corta. Estos autores estudian luego el estado de conservación de las poblaciones de cinco especies bajo manejo forestal en la Reserva de la Biósfera Maya (entre otras *Cedrela odorata*), y determinan los impactos de las prácticas silviculturales utilizadas en las concesiones sobre la densidad y regeneración de estas cinco especies maderables.
- El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP, 2012) define en su Manual para la administración forestal en Áreas Protegidas, los lineamientos técnicos para el manejo forestal sostenible, incluyendo métodos de cálculo y valores claves de los parámetros de manejo.
- Manzanero (2005a+b) sustenta la definición de los parámetros de manejo adoptados por el CONAP en los bosques peteneros.
- Pinelo et al. (2015) presentan el lado práctico de la producción de madera en el bosque natural latifoliado.

A finales del 2015, el Programa de Incentivos forestales del INAB no subvencionaba ningún área para manejo de regeneración natural del cedro, especie "estrella" más bien de sistemas agroforestales.

11. Crecimiento y productividad de plantaciones

Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala

Para apoyar la planificación y ejecución del manejo silvicultural por parte de los usuarios del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) y/o propietarios de proyectos de reforestación, el Instituto Nacional de Bosques decidió evaluar el crecimiento del cedro en plantaciones forestales. Para tal fin, optó por seguir la metodología definida en el sistema de "Manejo de información sobre recursos arbóreos en el componente de silvicultura" (MIRA-SILV) (Cojóm 2015).

En la implementación de su programa de monitoreo, el Departamento de Investigación Forestal, en colaboración con personal de las Subregiones del INAB, instaló paulatinamente desde el año 2003 un total de 48 parcelas permanentes de medición forestal (PPMF) en plantaciones PINFOR de cedro, distribuidas en casi todas las regiones donde existen plantaciones de la especie (ver mapa con la ubicación de las PPMF en el acápite "Distribución potencial de la especie en Guatemala").

En Guatemala, la primera PPMF se instaló en Chuarrancho, Guatemala, en mayo del 2003, en una plantación pura. Cuatro meses más tarde siguieron 4 más: la segunda en Escuintla (mixta), la tercera (pura) y cuarta (mixta) en San Francisco Petén y la quinta (mixta) en Gualán, Zacapa. Actualmente, el crecimiento del cedro está monitoreado en 19 municipios ubicados en 8 departamentos del país.

Tabla 3. Número de parcelas permanentes de medición (PPM) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de *Cedrela odorata*, por edad de las plantaciones y número de mediciones

<i>Edad de las plantaciones número de mediciones</i>	Número de parcelas	Número de individuos inicial	Número de individuos a diciembre 2015
Edad de 0-5.0 años	7	369	369
Una sola medición	7	369	369
Edad de 5.1-10.0 años	17	587	587
Una sola medición	15	573	573
6 mediciones y más	2	14	14
Edad de 10.1-15.0 años	6	116	115
Una sola medición	5	110	110
6 mediciones y más	1	6	5
Edad de 15.1 y más años	18	423	286
Una sola medición	3	72	72
2-5 mediciones	3	59	34
6 mediciones y más	12	292	180
Total	48	1495	1357

Fuente: Departamento de Investigación Forestal del INAB, año 2015

Tabla 4. Número de parcelas permanentes de medición (PPM) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de *Cedrela odorata*, por grado de mezcla inicial, con especies asociadas en plantaciones.

Grado de mezcla inicial del cedro	Número de parcelas	Especies asociadas [con n>5 en la parcela] (número de parcelas de ocurrencia)
$G_{mezcla} < 50\%$	26	<i>Pseudobombax ellipticum</i> (9); <i>Swietenia macrophylla</i> (7); <i>Tectona grandis</i> (4); <i>Cordia dodecandra</i> (4); <i>Calophyllum brasiliense</i> (4); <i>Tabebuia donnell-smithii</i> (4); <i>Tabebuia rosea</i> (3); <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (3); <i>Pithecellobium arboreum</i> (3); <i>Genipa americana</i> (2); <i>Pachira aquatica</i> (2); <i>Blepharidium mexicanum</i> (1); <i>Brosimum alicastrum</i> (1); <i>Dalbergia tucurensis</i> (1); <i>Eucalyptus camaldulensis</i> (1); <i>Eucalyptus spp</i> (1); <i>Gmelina arborea</i> (1); <i>Pithecellobium tortum</i> (1); <i>Swietenia humilis</i> (1); <i>Theobroma cacao</i>
$50 \leq G_{mezcla} < 85\%$	5	<i>Tectona grandis</i> (2); <i>Swietenia macrophylla</i> (1); <i>Cordia dodecandra</i> (1); <i>Tabebuia rosea</i> (1); <i>Vatairea lundellii</i> (1).
$G_{mezcla} \geq 85\%$	17	Varias spp.
Total	48	

Fuente: Departamento de Investigación Forestal del INAB, año 2015

La mayoría de las PPMF ha sido instalada en plantaciones mixtas (2 de 3). Lastimosamente, estas PPM mixtas no recibieron hasta la fecha el mismo monitoreo que las puras, lo que imposibilita estudiar la estabilidad de las mezclas, y sacar enseñanzas silviculturales, por ejemplo: ¿Cuáles especies se revelan buenas acompañantes, al brindar una sombra lateral sin encimar la copa de los cedros?

Será esencial para poder aprovechar llanamente la información de esta base de datos dasométricos completar la descripción real del sitio de cada parcela, dar un monitoreo similar a las parcelas instaladas en plantaciones puras y mixtas (medir las mismas variables) y reconstruir el historial de cada parcela (mantenimiento recibido, intervenciones silviculturales, control del barrenador (un punto particularmente importante para el cedro), disturbios que hayan modificado el desarrollo del rodal, ya sean naturales (huracanes, ...) o provocados por el hombre (incendios, ...)).

Crecimiento e incrementos

La información generada a través la red de Parcelas Permanentes de Medición Forestal -PPMF- a nivel nacional constituye una importante y concreta contribución al sector, como respaldo de los Modelos de Crecimiento generados para esta especie, los cuales, finalmente explican la dinámica del crecimiento de las plantaciones a partir de observaciones reales en campo.

Los modelos de crecimiento son vitales para la planificación forestal, debido a que permiten programar las actividades a desarrollar en un rodal, en función de la velocidad de crecimiento y potencial del sitio, además ofrece la posibilidad de estimar los productos maderables al final del turno y evaluar el alcance de los objetivos perseguidos. El crecimiento de los árboles está determinado por la interacción de factores Externos: calidad de Sitio, condiciones climáticas (PP, T°, vientos, etc.); Internos: calidad de plantas, manejo, etc.

Los modelos utilizados responden a factores agrupados en tres variables que son: i) Índice de Sitio (S) ii) Densidad o competencia (N) y iii) Edad (T), con lo cual son capaces de responder a la combinación de estos factores, de tal forma que las proyecciones realizadas con ellos son ajustables a condiciones particulares.

El análisis de la base de datos dasométricos (PPMF de cedro en plantaciones forestales puras, estado al 31 de diciembre 2017) permitió definir las siguientes funciones de crecimiento que se presentan a continuación, determinándose una ecuación para cada una de las principales variables de una plantación que son: i) Diámetro (cm), ii) Altura Dominante total (m) iii) Área basal (m²/ha) iv) Volumen total (m³/ha) y v) Índice de Sitio, que transcriben la dinámica de crecimiento de la especie en cada sitio, las cuales se presentan a continuación.

Tabla 5. Familia de modelos de crecimiento para *Cedrela odorata* en Guatemala

Variable	Modelo de crecimiento	r ²
Índice de sitio	$= \exp (\ln(H_d) + 2.129485 * (1/T - 0.1))$	0.48
Altura total [m]	$= \exp (\ln(S) - 2.129485 * (1/T - 0.1))$	0.48
Diámetro [cm]	$= \exp (2.186717 - 2.865757/T + 0.079924*S - 0.000238*N)$	0.91
Área basal [m ² /ha]	$= \exp (0.229181 - 5.454428/T + 0.154725*S + 0.001134*N)$	0.90
Volumen total [m ³ /ha]	$= \exp (1.052264 - 7.767347/T + 0.24145*S + 0.000709*N)$	0.90

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018 (índice de sitio a una edad base de 10 años)

Dónde: T = edad en años; N = árboles/ha; H_d = altura dominante [m]; S = índice de sitio.

Es importante observar que el r^2 o ajuste para el caso del modelo de altura e índice de sitio son bajos (0.48), lo cual se explica porque el crecimiento de la altura dominante del rodal es atípico debido al ataque del barrenador, es decir, dicho valor en ocasiones aumenta y en otras reduce; sin embargo, las predicciones son acertadas puesto que reflejan las condiciones comunes en el campo.

Un factor de gran influencia en los modelos es el de Índice de sitio, establecido a través de las alturas dominantes de un rodal. Con la información de la especie fueron determinadas 5 categorías de índice de sitio (basado en la mayor y menor altura, y a partir de ellas, 3 intermedias), las cuales puntualizan 5 escenarios teóricos de producción, ya que cada plantación tiene su propio Índice de Sitio que permite representar y ajustar cada modelo a realidades específicas.

Tabla 6. Clasificación por categorías de sitio para *Cedrela odorata* en Guatemala

Categoría de sitio	Rangos de índice de sitio* por categoría [m]
Pésimo	<6.9
Malo	7-9.4
Medio	9.5-12.4
Bueno	12.5-15.9
Excelente	>16

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018 (índice de sitio a una edad base de 10 años)

Tabla 7. Aptitud para el crecimiento de *Cedrela odorata* en municipios de Guatemala con PPMF de la especie instaladas en plantaciones puras.

Departamento	Municipio	Finca	Índice de Sitio	Categoría de Sitio
Guatemala	Churranchó	Hidroeléctrica Río Las Vacas	8.71	Malo
Alta Verapaz	San Cristóbal Verapaz	San Joaquín	17.16	Excelente
Alta Verapaz	Tucurú	Guaxpom	15.32	Bueno
Zacapa	Gualán	Finca la Cartuchera	16.14	Excelente
Zacapa	Gualán	Finca la Cartuchera	16.31	Excelente
Zacapa	Gualán	Finca la Cartuchera	17.73	Excelente
Santa Rosa	Taxisco	Finca Monte Carlos	6.94	Malo
Petén	Santa Ana	Chultunes	10.67	Medio
Petén	Santa Ana	El Limón	8.29	Malo
Petén	San Francisco	Pilones de Antigua	8.82	Malo
Petén	San Francisco	Pilones de Antigua	8.82	Malo
Petén	Poptún	Odilia Telón Álvarez	10.67	Medio
Petén	Poptún	Odilia Telón Álvarez	12.09	Medio
Petén	San Francisco	Las Dos Marías	17.85	Excelente
Petén	La Libertad	Finca El Ramonal III	13.99	Bueno
Petén	San José	Finca El Triunfo	22.74	Excelente
Retalhuleu	Retalhuleu	Tomatales	13.15	Bueno

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018. (Índice de sitio determinado a una edad base de 10 años)

En su caracterización de las plantaciones de cedro y caoba en los departamentos de Alta Verapaz, Guatemala (zona del Polochic y la Franja Transversal del Norte), Izabal y Petén, Prado (2006) identificó en el conjunto de plantaciones mixtas con *Cedrela odorata* 8 tipos de mezcla diferentes y una gran variedad de espaciamientos de instalación. Esta gran diversidad inicial, a la cual se sumaron grandes diferencias en el control del barrenador y las prácticas silviculturales sanitarias y formativas, conllevaron a crecimientos muy disimiles, productos no de diferencias de sitio, sino de deficientes “prácticas de manejo”, por otro lado, no documentadas.

En Petén, Guatemala, los resultados mostrados por las plantaciones puras son coherentes con los reportes de Villacorta (1981, citado por López 1999) y Grogan et al. (2015): existe un “bosque de cedro” totalmente natural de más de 5000 km² en la región que llama de “Fallabón”, que comprende Uaxactún, Tikal, Yaloch y Yaxhá (todos ubicados en Petén), y que confirman los inventarios en las áreas de aprovechamiento anual de concesiones forestales situadas en esta región (Árbol Verde 2006, La Gloria 2006 y Uaxactún 2005). Se trata de una zona muy favorable al desarrollo del cedro.

A cada categoría de sitio corresponden valores de crecimiento, que constituyen estimadores prácticos de la producción de un rodal en el tiempo. El cuadro siguiente presenta los incrementos medios anuales (IMA) de las variables dasométricas estándares para *Cedrela odorata* en las 5 categorías de sitio definidas.

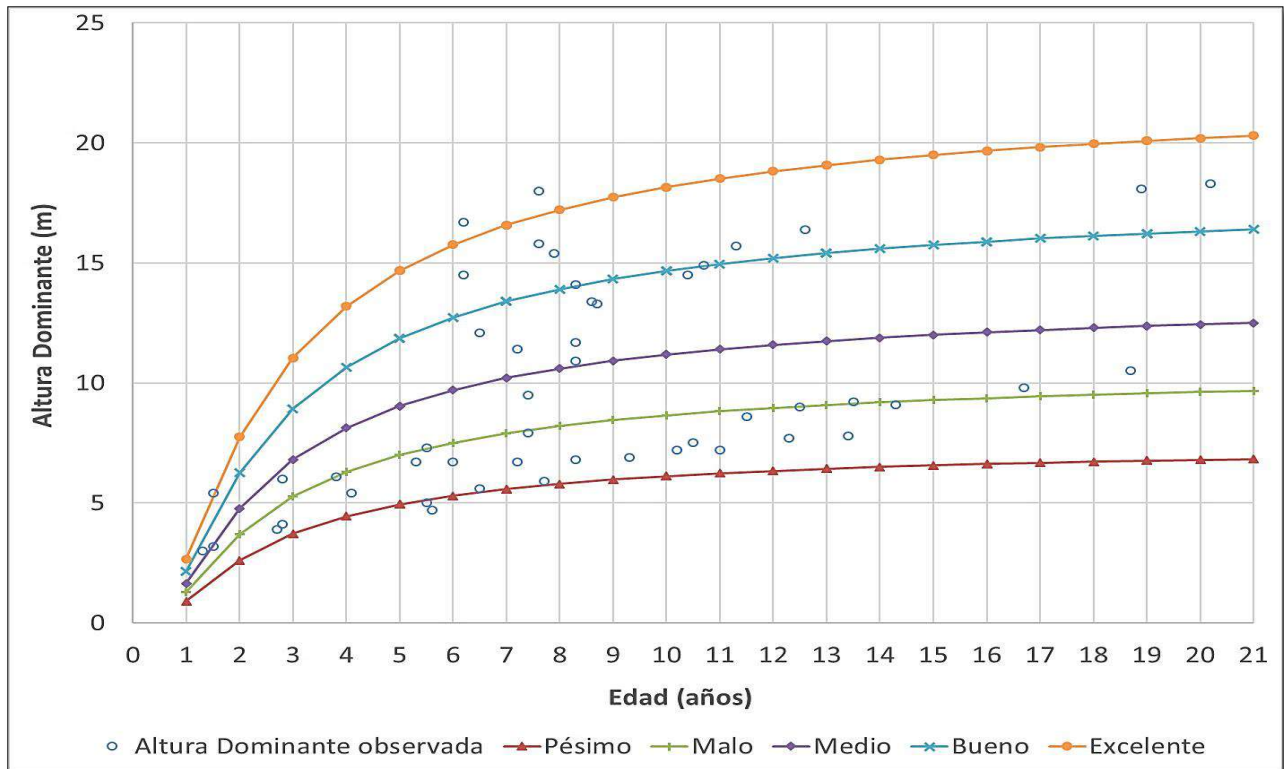
Tabla 8. Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para *Cedrela odorata* en Guatemala, según categorías de sitio.

Categoría de sitio*	IMA DAP [cm]	IMA altura total [m]	IMA área basal [m ² /ha]	IMA volumen total (m ³ /ha)
Pésimo	0.51	0.35	0.10	0.29
Malo	0.65	0.49	0.16	0.59
Medio	0.82	0.63	0.26	1.20
Bueno	1.12	0.83	0.50	3.19
Excelente	1.54	1.03	0.94	8.50

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018; (Índice de Sitio a una edad base de 10 años); * estimaciones del IMA para el IS medio de cada categoría de 6, 8, 11, 14 y 18 m respectivamente.

Las categorías de índices de sitio se aplican como criterio para evaluar la productividad de plantaciones a nivel nacional, así mismo, como un criterio para la adecuada selección de las áreas de producción nuevas, ya que, al disponer de información de PPMF distribuidas a nivel nacional, podemos acceder a los resúmenes de las variables de productividad y altura dominante de dichas muestras a través del mapa interactivo de Parcelas Permanentes de Medición Forestal, publicado en el sitio web: <http://ppm.inab.gob.gt/>; de esa cuenta, podemos sustituir el valor promedio de la altura dominante de la parcela más cercana al área que nos interesa y así poder calcular que índice de sitio podríamos alcanzar en determinada ubicación, con ello, se podrían planificar actividades que promuevan una mejor productividad, por ejemplo, un sitio actual “bueno” puede pasar a ser “excelente” si mejoramos los programas de fertilización, preparación de suelos, cuidados culturales y raleos oportunos.

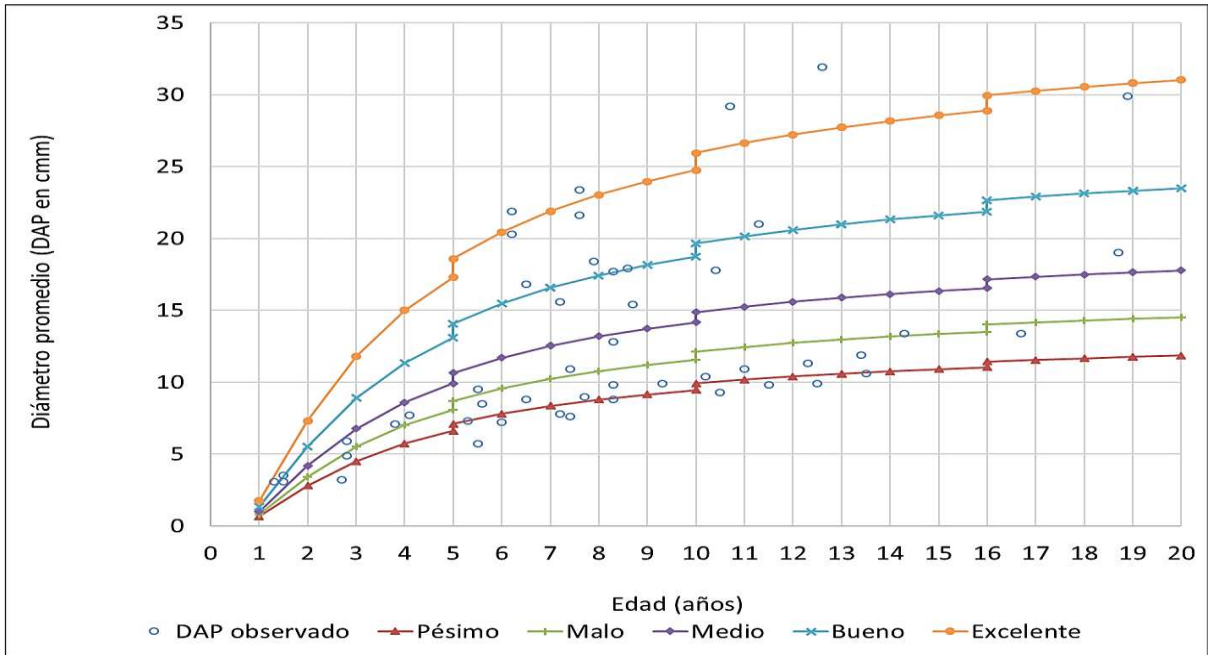
Para ejemplificar la utilidad y aplicación de los modelos de crecimiento (cuadro 5), se decide utilizar un perfil de manejo teórico, de una plantación pura de cedro con una densidad inicial única de 1,111 árboles/ha (distanciamiento de 3 metros * 3 metros), que se reduce a 900 árboles/ha al cuarto año producto de la mortalidad 81% de sobrevivencia). Esta densidad permanece estable hasta el año siete (07), donde se realiza un primer raleo con una intensidad cercana a 35% que deja un remanente de 600 árboles/ha; este número de individuos se mantiene hasta el año once (11), momento en el que se realiza un segundo raleo del 50% que deja un remanente de 300 árboles/ha que permanece hasta el año quince (15), donde se realiza un tercer raleo que deja un remanente de 200 árboles/ha que permanece hasta la cosecha final.



Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018

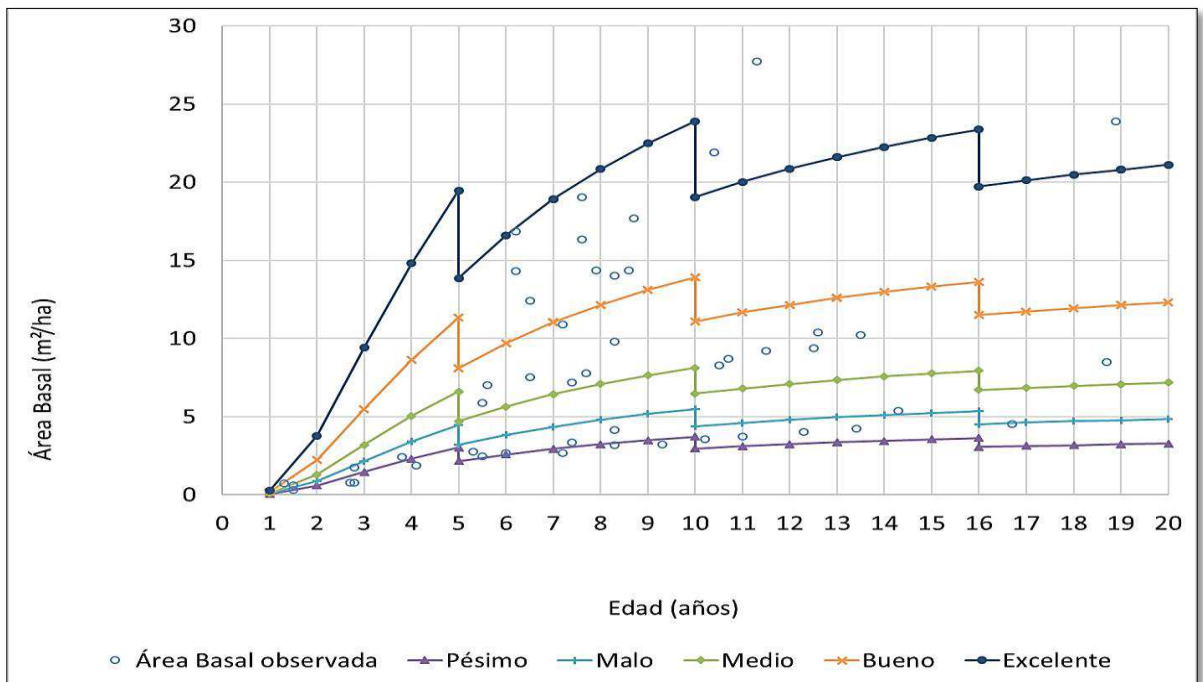
Figura 12. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] y edad para plantaciones de *Cedrela odorata* en Guatemala.

La figura anterior representa la relación que existe entre la altura dominante y la edad de los árboles que se encuentran en las PPMF bajo monitoreo del INAB, la gráfica nos permite reflexionar acerca de la correcta e incorrecta selección del sitio para la especie *Cedrela odorata*, ya que, se observan plantaciones forestales con una altura dominante de 6.5 metros a los 10 años de edad (índice de sitio pésimo), en contraste, también se observa que a los mismos 10 años, en un índice de sitio excelente, la plantación expresa una altura dominante de 18 metros; este análisis nos indica que existe una diferencia en la ganancia de altura de los árboles de 11.5 metros entre un índice de sitio excelente y un índice de sitio pésimo. Es de vital importancia la correcta selección del sitio, para mejorar la productividad de las plantaciones y motivar a los inversionistas forestales a recuperar áreas desprovistas mediante el establecimiento de plantaciones exitosas.



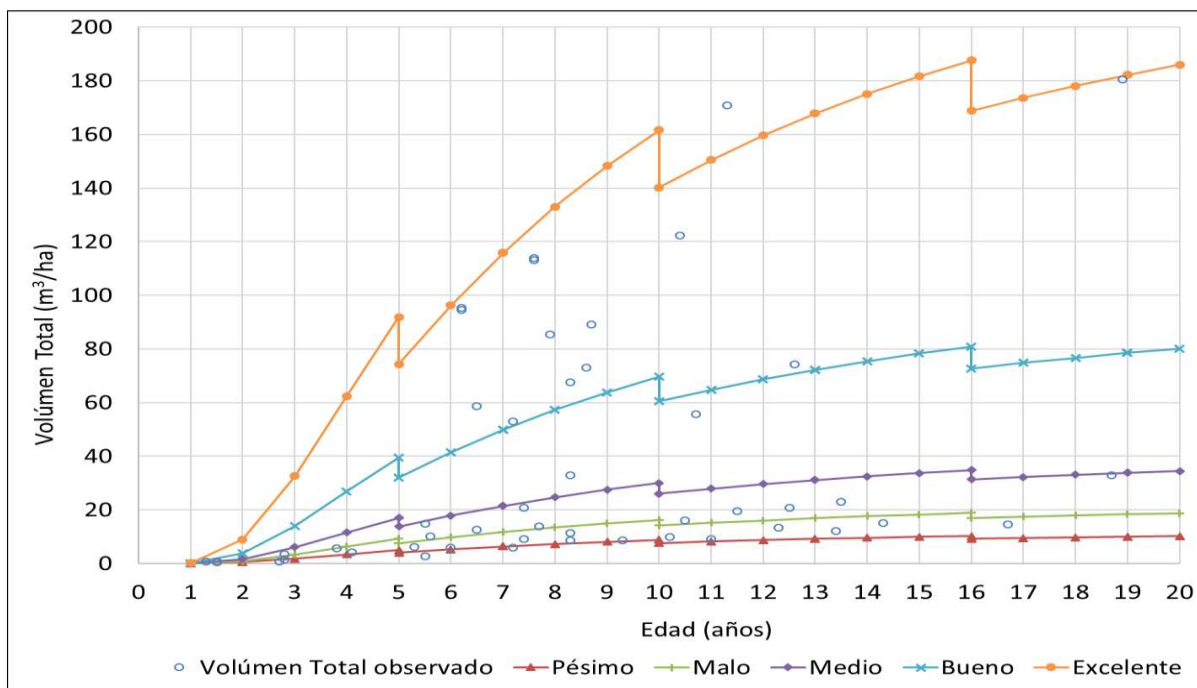
Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016

Figura 13. Familia de curvas de crecimiento en diámetro [cm] para plantaciones de *Cedrela odorata* en Guatemala



Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016

Figura 14. Familia de curvas de crecimiento en área basal [m²/ha] para plantaciones de *Cedrela odorata* en Guatemala



Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016

Figura 15. Familia de curvas de crecimiento en volumen total [m³/ha] para plantaciones de *Cedrela odorata* en Guatemala.

El perfil de manejo ira adaptándose a las condiciones reales de desarrollo de la especie, en la medida que pase el tiempo. Cordero y Boshier (2003) indican que, en plantaciones, los árboles de cedro pueden alcanzar un tamaño comercial en 40 años (45 cm dap, lo cual corresponde a un volumen de 1.8 m³ y un fuste comercial de 15 m).

Turnos de corta más cortos (18-25 años) pueden producir mayor volumen total (11-22 m³/ha/año) pero la madera producida es marcadamente de menores dimensiones. Wightman et al. (2006) coinciden que, en sitios favorables, el cedro crece muy rápidamente y llega a tener el diámetro comercial en 20 años. Advierten sin embargo que, si se deja más tiempo en el terreno, la calidad y la belleza de la madera mejoran con los años porque aumenta proporcionalmente la cantidad de duramen en el tallo; por consiguiente, el precio de venta sería más alto. La decisión de la fecha de corta, por lo tanto, dependerá del mercado de madera de diferentes tamaños.

Los árboles que crecen a espaciamientos mayores en sistemas agroforestales (p.ej. con café, cacao o frutales) pueden mostrar mayor incremento dimétrico (2- 3cm por año) y alcanzar tamaños comerciales más rápidamente, pero siempre requerirán de podas oportunas para producir trozas comerciales de calidad. Los incrementos promedios mostrados por el cedro en las cuatro zonas estudiadas por Prado (2006) (0.63 cm/año dap y 0.47 m/año altura total en las plantaciones mixtas) son incrementos malos y pobres, en comparación con los datos referenciales indicados por Cordero y Boshier (2003). Prado considera que se debe a un mal manejo silvicultural (podas de saneamiento y formación, manejo de la iluminación), abandono, incendios forestales y desatención fitosanitaria.

12. Existencias

Herramientas

No existen aparentemente en Guatemala ecuaciones volumétricas desarrolladas específicamente para *Cedrela odorata*, y los estudios forestales usan para la especie funciones generales.

Así, para fines de censos, el inventario forestal nacional de Guatemala 2002-03 (FAO 2004) usó para el cedro la siguiente ecuación general para especies latifoliadas, elaborada en Quintana Roo por la Dirección General de Inventario Nacional Forestal de México y citada en el Manual técnico forestal del INAB (1999):

- a) para árboles hasta 90 cm DAP

$$V = 0.108337266 + 0.000046499 * d^2 * h_c$$

Dónde: V = volumen bruto sin corteza desde la altura del tocón o encima de las gambas., en m³; d = diámetro a la altura del pecho (DAP) o diámetro por encima de las gambas, en cm; y h_c = largo del fuste desde el tocón (o encima de las gambas) hasta la base de la copa, en m.

- b) para árboles mayores a 90 cm DAP

$$V = g * h_c * f_{1.3}$$

Dónde: V = volumen bruto sin corteza desde la altura del tocón o encima de las gambas., en m³; g = área basal de la sección normal del individuo (altura del pecho o por encima de las gambas, en m²); h_c = largo del fuste desde el tocón (o encima de las gambas) hasta la base de la copa, en m; y f_{1.3} = factor de forma, igual a 0.65 para todas las latifoliadas.

Para fines de monitoreo del crecimiento de *Cedrela odorata* en plantaciones forestales, el departamento de Investigación Forestal del INAB usa en su sistema de "Manejo de información sobre recursos arbóreos en el componente de silvicultura" (MIRA-SILV), la siguiente ecuación, válida para todas las especies seguidas (latifoliadas y coníferas):

Ecuación volumétrica general para latifoliadas y coníferas usada por el departamento de Investigación del INAB en MIRA-SILV (Hurtado 2016³⁰):

$$V = 0,7854 * d^2 * h_t * f_{1.3}$$

Dónde: V = volumen total con corteza, en m³; d = diámetro a la altura del pecho (DAP), en m; h_t = altura total del árbol en pie, en m; y f_{1.3} = factor de forma, igual a 0.45 para todas las especies (latifoliadas y coníferas).

³⁰ Hurtado Domingo L. 5-14 set. 2016. Cálculo del volumen en MIRA-SILV (correos electrónicos). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, departamento de Investigación Forestal.

Pero la ecuación tradicionalmente usada en Petén para el cedro, en particular en las concesiones forestales, es la llamada "fórmula de la FAO" (Monroy 2001), desarrollada en los años 1968-1970 para árboles sin gambas. Se usa también para los árboles con gambas, ya que su diámetro se estima 30 cm arriba de ellas y su altura del fuste se mide a partir de ahí:

Ecuación volumétrica para todas las especies latifoliadas sin gambas (FAO 1970)

$$V = 0.0567 + 0.5074 * d^2 * h_c$$

Dónde: V = volumen aserrable en m³; d = diámetro a la altura del pecho (DAP), en m; y h_c = largo del fuste medido desde una altura de tocón de 0.5 m hasta un diámetro superior de 25 cm. o hasta el punto de inicio de la copa, en metros

Superficies de plantaciones e inventario de producción actual de Cedro

Los proyectos con *Cedrela odorata*, incentivadas por PINFOR (Programa de Incentivos forestales), PRBOSQUE (Programa de Incentivos para la recuperación, establecimiento, restauración, manejo, producción, y protección de bosques en Guatemala) y PINPEP (Programa de Incentivos forestales para Poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal) en el periodo de 2000 al 2018 asciende a un total de 346, que suman aproximadamente 1,0418.40 ha. El cuadro siguiente da mayores detalles acerca de la ubicación de las plantaciones.

Tabla 9. Áreas plantadas por departamento y municipio con *Cedrela odorata*, incentivadas por PINFOR y PINPEP en Guatemala.

Departamento/Municipio	Área de proyectos PINFOR-PROBOSQUE	Área de proyectos PINPEP	Área Total
Petén	608.04	3.53	611.57
Dolores	32.74	0.20	32.94
El Chal	5.90		5.90
Flores	35.17	0.74	35.91
La Libertad	66.54		66.54
Las Cruces	5.37		5.37
Poptún	61.56	2.33	63.89
San Andrés	19.17		19.17
San Benito	10.36		10.36
San Francisco	63.53		63.53
San José	44.07		44.07
San Luis	32.07	0.26	32.33
Santa Ana	20.75		20.75
Sayaxché	210.82		210.82
Alta Verapaz	500.07	0.15	500.22
Chahal	31.42		31.42
Chisec	40.80		40.80
Cobán	111.55		111.55
Fray Bartolomé De Las Casas	106.29		106.29
Lanquín	0.25		0.25

Panzós	28.24	0.15	28.39
Raxruhá	8.78		8.78
San Cristóbal Verapaz	2.74		2.74
San Miguel Tucurú	56.20		56.20
San Pedro Carchá	30.67		30.67
Santa María Cahabón	71.84		71.84
Senahú	11.30		11.30
Izabal	51.62	34.27	85.89
El Estor	19.62		19.62
Livingston	9.05	19.48	28.53
Los Amates	1.66	5.20	6.86
Morales	20.90	8.33	29.23
Puerto Barrios	0.39	1.26	1.65
Zacapa	66.72	3.66	70.38
Gualán	57.21	0.15	57.36
Huité		0.80	0.80
La Unión	7.73	0.14	7.87
Rio Hondo		2.32	2.32
Teculután		0.25	0.25
Zacapa	1.78		1.78
Santa Rosa	31.62	3.28	34.90
Barberena	7.35		7.35
Chiquimulilla	2.70	0.61	3.31
Cuilapa	4.69	1.04	5.73
Guazacapán	0.32		0.32
Oratorio		0.97	0.97
San Juan Tecuaco	0.50		0.50
Santa Cruz Naranjo		0.27	0.27
Santa Rosa De Lima		0.39	0.39
Taxisco	16.06		16.06
Quiché	24.52	0.32	24.84
Chajúl	0.75		0.75
Chicamán		0.32	0.32
Ixcán	17.65		17.65
San Juan Cotzal	6.12		6.12
El Progreso	16.15	2.03	18.18
San Agustín Acasaguastlán	0.33		0.33
Sanarate	15.82	2.03	17.85
Chiquimula		14.18	14.18
Camotán		0.63	0.63
Esquipulas		12.47	12.47
Ipala		1.08	1.08
Guatemala	11.48		11.48
Amatitlán	0.60		0.60
Chinautla	7.27		7.27
San Raymundo	3.61		3.61
Baja Verapaz	6.99	4.27	11.26

Cubulco		1.36	1.36
Purulhá	6.99		6.99
Salamá		2.14	2.14
San Miguel Chicaj		0.77	0.77
Escuintla	10.22		10.22
Escuintla	2.20		2.20
Guanagazapa	4.77		4.77
La Gomera	2.04		2.04
San Vicente Pacaya	1.21		1.21
Jutiapa	0.60	8.46	9.06
Asunción Mita		0.57	0.57
El Progreso		0.66	0.66
Moyuta	0.60	2.71	3.31
Santa Catarina Mita		4.52	4.52
Huehuetenango	2.12	5.24	7.36
Cuilco		2.11	2.11
Jacaltenango	1.82	0.27	2.09
Nentón		0.85	0.85
San Antonio Huista		0.04	0.04
Santa Ana Huista		1.13	1.13
Santa Cruz Barillas	0.30	0.84	1.14
Jalapa		4.81	4.81
Jalapa		1.05	1.05
Monjas		3.09	3.09
San Luis Jilotepeque		0.67	0.67
Suchitepéquez	2.06		2.06
Patulul	0.41		0.41
Río Bravo	1.65		1.65
Sacatepéquez	2.00		2.00
San Miguel Dueñas	2.00		2.00
Total	1334.20	84.20	1418.40

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018.

En el cuadro 9 se observa una amplia distribución del área plantada con esta especie, ubicándose en 81 municipios, en un total de 18 departamentos, es interesante notar que es el departamento de Petén donde se ubica la mayor extensión plantada con cedro (43.12%) y dentro de este, es Sayaxché (210 ha) el municipio con mayor abundancia, seguido de La Libertad (66 ha), San Francisco y Poptún (63 ha cada uno). El segundo departamento es Alta Verapaz (35.27%) siendo los municipios de Cobán, Fray Bartolomé de las Casas y Santa María Cahabón los de mayor proporción (106, 111 y 71 ha respectivamente).

Es importante observar que el cedro está establecido en todos los departamentos de la república, salvo en cuatro ubicados en la región suroccidental del país, tres porque no ofrecen condiciones favorables (Chimaltenango, Sololá y Totonicapán) y el cuarto, San Marcos, quizá por falta de interés de reforestaciones mediante incentivos forestales, aunque probablemente se registre su existencia en otra modalidad de reforestación o sistema Agroforestal.

Además, la base de datos permite agregar que, el municipio con mayor extensión de cedro en sistemas agroforestales es Camotán, con 120 ha, seguido por Gualán, con 40 ha (y 30 ha más en plantaciones) siendo el cedro la especie latifoliada más introducida en sistemas agroforestales de Guatemala (396 ha), tres veces más que el palo blanco (131 ha); el desarrollo de su silvicultura en estos sistemas debería recibir mayor atención.

Luego, *Cedrela odorata* ha sido plantada básicamente en plantaciones mixtas. Existen solamente 8 proyectos con plantación pura de cedro en las bases de datos PINFOR (Programa de Incentivos Forestales), PROBOSQUE (Programa de incentivos para el establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala) y PINPEP (Programa de incentivos para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal), todos de tipo individual, el mayor de 8 ha en La Unión, Zacapa, seguido por dos proyectos de 6 ha cada uno, ambos en Sayaxché, Petén.

Con relación a la preferencia por cedro, parece haber un descenso significativo en los últimos años, mientras que en el periodo del 2004 y el año 2010, se estableció en promedio más de 400 hectáreas anualmente, con una siembra máxima de 877.7 ha en el 2004, esta superficie bajó a 90 ha/año desde el 2012. Es imprescindible identificar las razones a esta caída de interés mientras el Estado considere la especie como prioritaria.

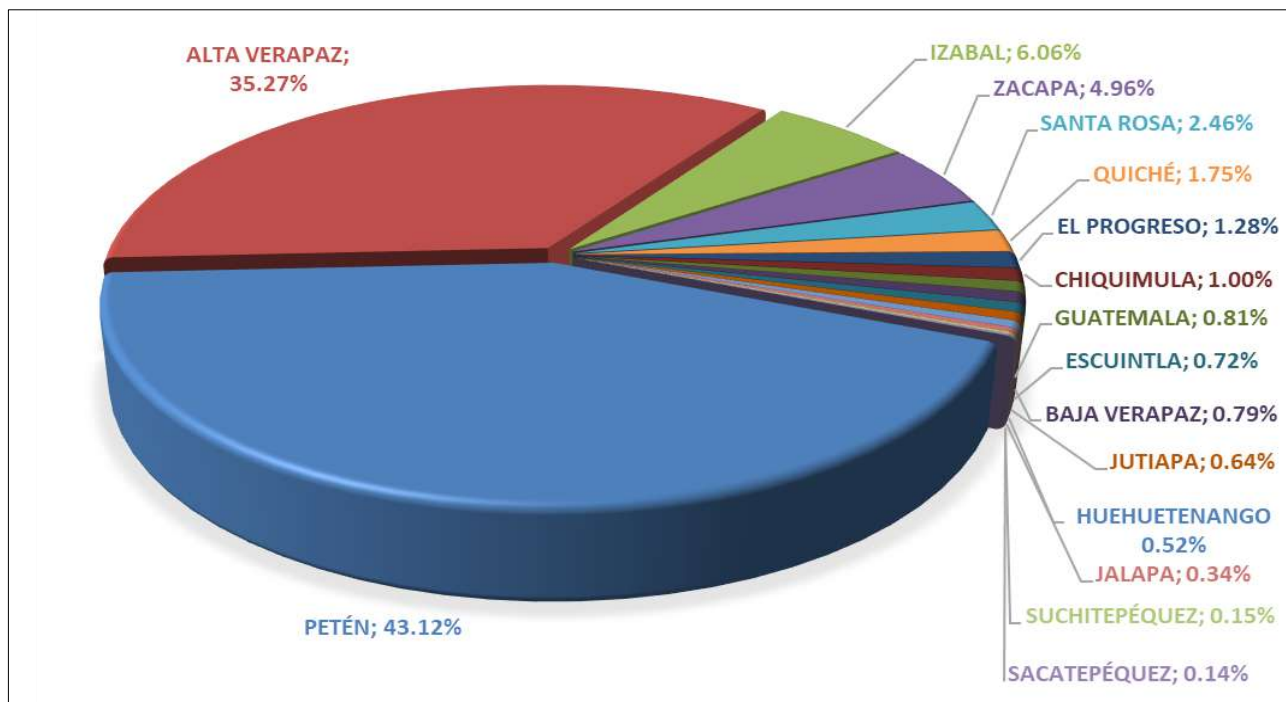


Figura 16. Grafica de distribución del Volumen Total de producción actual de proyectos de incentivos forestales (%) resumido por departamento, para la especie de *Cedrela odorata* en Guatemala.

Tabla 10. Áreas plantadas con *Cedrela odorata* beneficiaria con los programas de incentivos forestales, por año de plantación y edad (al año 2018).

Año de plantación	Edad (años)	Área de proyectos PINFOR-PROBOSQUE (ha)	Área de proyectos PINPEP (ha)	Áreas Total	
				Hectáreas	Porcentaje
2000	19	289.83		289.83	20.43%
2001	18	213.23		213.23	15.03%
2002	17	170.39		170.39	12.01%
2003	16	134.80		134.80	9.50%
2004	15	109.69		109.69	7.73%
2005	14	77.62		77.62	5.47%
2006	13	13.07		13.07	0.92%
2007	12	34.88	1.28	36.16	2.55%
2008	11	16.98		16.98	1.20%
2009	10	26.81		26.81	1.89%
2010	9	88.39		88.39	6.23%
2011	8	17.17	4.39	21.56	1.52%
2012	7	3.75	1.71	5.46	0.38%
2013	6	5.53	16.27	21.80	1.54%
2014	5	10.16	7.61	17.77	1.25%
2015	4	16.24	9.57	25.81	1.82%
2016	3	16.67	17.31	33.98	2.40%
2017	2		26.06	26.06	1.84%
2018	1	89.00		89.00	6.27%
Total		1334.20	84.20	1418.40	20.43%
Porcentaje		94.06%	5.94%		100%

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018.

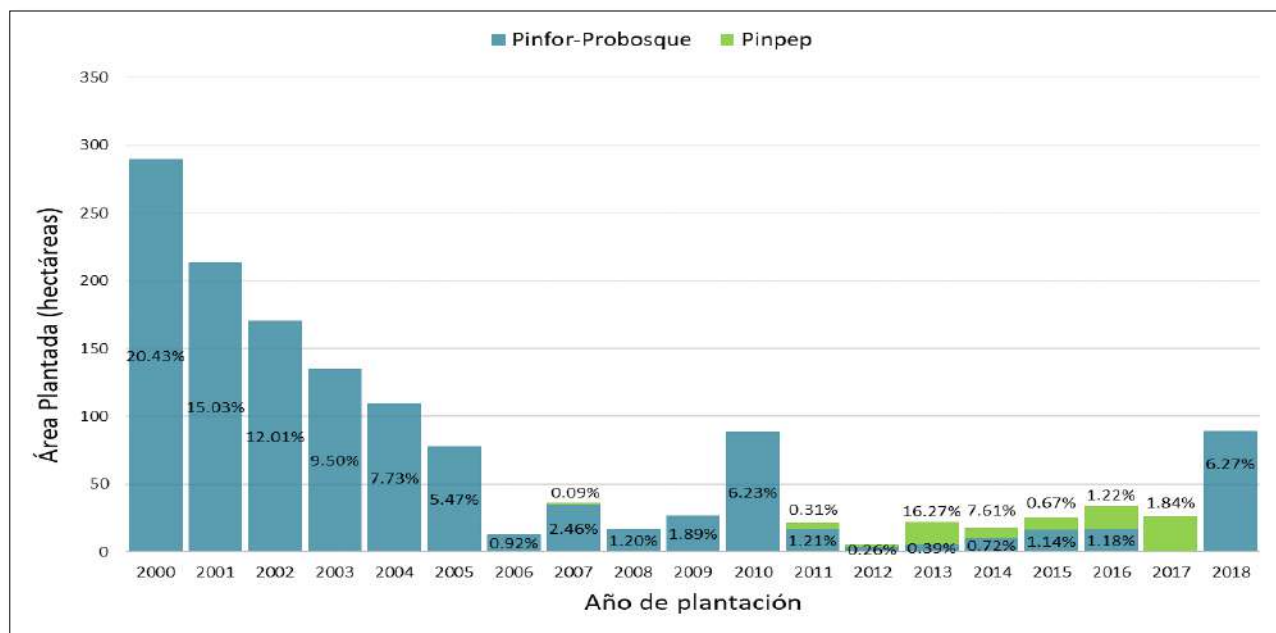


Figura 17. Gráfica de distribución de área de proyectos de incentivos forestales por año de plantación, para la especie de *Cedrela odorata* en Guatemala.

El establecimiento de plantaciones de cedro ha visto un auge al inicio del programa de incentivos, lo cual se refleja en año 2000 según se aprecia en la figura 17, en adelante presento un descenso constante (a excepción del año 2010) hasta el año 2012 donde el área plantada apenas llega al 0.2% del total plantado, lo cual podría explicarse a través de las complicaciones de manejo de plagas que ha afectado la preferencia por la especie. Sin embargo, a partir el año 2013 se comienza a observar un crecimiento que, aunque es lento, para el año 2018 se observa una recuperación considerable, sugiriendo que se hayan incorporado actividades efectivas para el control de las plagas lo cual es consistente con las experiencias recientes sistematizadas en el presente documento.

Tabla 11. Detalle de productividad actual de proyectos de cedro incentivados en Guatemala.

Departamento	No. proyectos	Área Total (ha)	Promedio de DAP (cm)	Promedio de Altura (m)	Promedios de Área basal (m ² /ha)	**Promedios de Volumen Total (m ³ /ha)	Volumen Total (m ³)
PETÉN	85.00	611.57	13.03	9.44	5.50	22.00	19541.11
ALTA VERAPAZ	80.00	500.22	15.08	11.34	7.47	34.03	20033.83
IZABAL	51.00	85.89	9.32	8.11	4.48	13.92	1795.07
SANTA ROSA	18.00	34.90	10.65	8.81	5.05	17.22	893.46
HUEHUETENANGO	18.00	7.36	12.21	9.77	5.82	21.39	174.07
ZACAPA	16.00	70.38	16.34	12.30	9.21	51.87	3420.91
QUICHÉ	15.00	24.84	16.67	12.74	8.83	40.47	1214.79
BAJA VERAPAZ	14.00	11.26	7.88	7.37	4.11	10.28	57.42
JUTIAPA	12.00	9.06	7.36	7.07	3.49	8.30	66.90
JALAPA	11.00	4.81	4.59	5.07	1.63	2.56	14.52
CHIQUMULA	9.00	14.18	7.96	7.36	3.92	10.48	50.85
ESCUINTLA	6.00	10.22	15.21	11.43	7.23	29.36	318.99
GUATEMALA	5.00	11.48	16.92	12.11	7.18	32.69	378.43
EL PROGRESO	3.00	18.18	14.81	11.13	6.47	26.27	568.00
SUCHITEPÉQUEZ	2.00	2.06	17.41	12.25	6.89	32.62	67.70
SACATEPÉQUEZ	1.00	2.00	15.25	11.40	6.80	27.91	55.83
Total	346.00	1418.40	12.44	9.69	5.90	24.02	48,651.87

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018. (** Los valores de "promedios de Volumen Total Promedio m³/ha son de referencia, en efecto, los datos concretos de la proyección del volumen de las plantaciones se detalla en la columna de "volumen Total (m³)", ya que, para cada municipio se substituyó distinto índice de sitio en la ecuación de proyección de volumen del cuadro 5).

El volumen actual de los 346 proyectos de reforestación suma un total del 48,651.87 m³ distribuidas en 1,418.4 hectáreas a nivel nacional, en el cuadro 11 y Figura 18 se observa que 81% del volumen nacional se concentran en los departamentos de Alta Verapaz y Peten (40 y 41% respectivamente), aunque la mayor área la presenta el Departamento de Peten, es interesante observar que el mayor volumen (estimado) se encuentra en Alta Verapaz; seguramente atribuido a la calidad del sitio, es por ello que durante el presente documento se ha hecho hincapié en su adecuada selección.

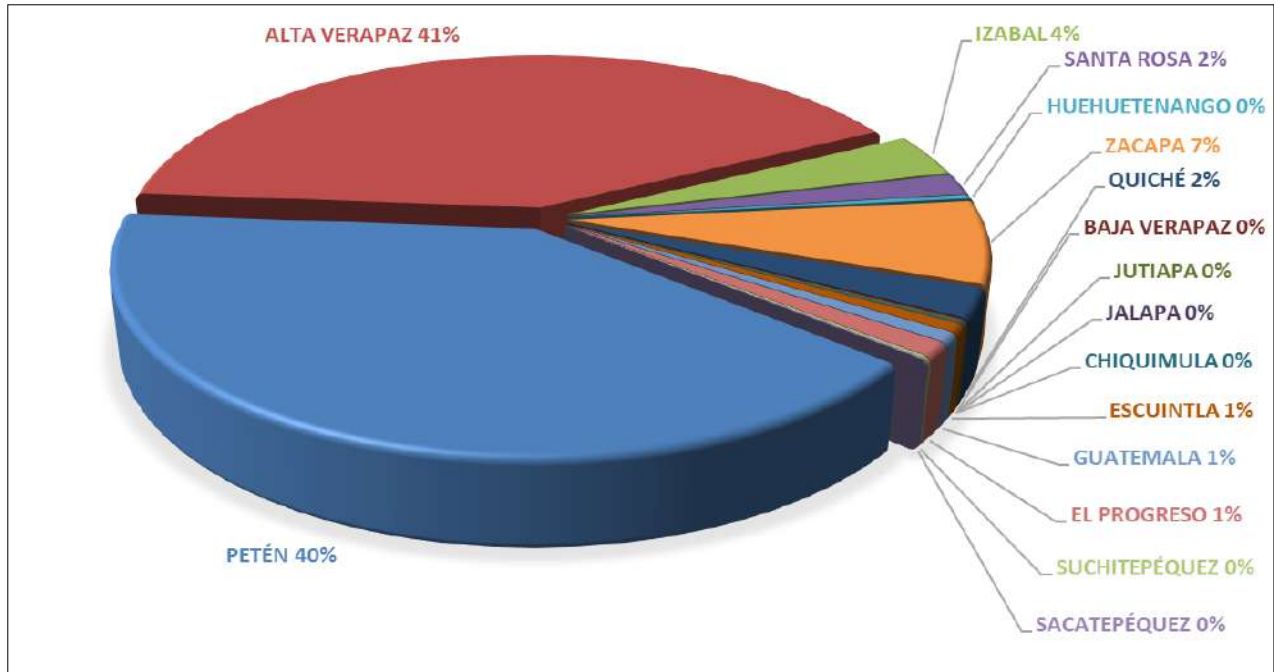


Figura 18. Grafica de distribución del Volumen Total de producción actual de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento, para la especie de *Cedrela odorata* en Guatemala.

El volumen actual de los 346 proyectos de reforestación suma un total del 48,651.87 m³ distribuidas en 1418.40 hectáreas a nivel nacional, en el cuadro 11 y Figura 18 se observa que 81% del volumen nacional se concentran en los departamentos de Alta Verapaz y Petén (40 y 41% respectivamente), aunque la mayor área la presenta el departamento de Petén, es interesante observar que el mayor volumen (estimado) se encuentra en Alta Verapaz; seguramente atribuido a la calidad del sitio, es por ello que durante el presente documento se ha hecho hincapié en su adecuada selección.

Las estimaciones del inventario de producción utilizando modelos de crecimiento permiten estimar un volumen proveniente de los raleos, se ha basado en un perfil teórico simulado a partir del análisis de unidades de muestreo evaluadas en campo. Dicho perfil de manejo aunque considera una densidad inicial de 1111 árboles/hectárea, los primeros 5 años se estimaron con una densidad de 900 árboles/ha derivado del efecto de la mortalidad durante el establecimiento (año 0), el primer raleo se aplica en al quinto año (5) con una intensidad de aproximadamente 30 %, del cual se obtienen volúmenes muy bajos por las dimensiones de los árboles, además que es orientado a extraer los árboles enfermos y con los mayores defectos físicos tales como torceduras del fuste como ha sido común para esta especie, quedando un remanente de 600 árboles/ha.

El perfil continúa con la aplicación de otro 30% en el décimo año (10) quedando un remanente de 400 árboles/ha, posteriormente un tercero y último raleo en el año dieciséis (16), del cual se extraen alrededor del 35%, quedando como resultado un promedio de 250 árboles por hectárea; en el segundo y tercer raleo pueden considerarse como deseables para el mercado, principalmente en sitios excelentes donde además se hubieran cumplido las principales recomendaciones de manejo y mantenimiento, por el contrario, en sitios malos es posible que el periodo entre raleo sea mayor, pero tomar en cuenta que esto no debe comprometer el éxito del proyecto.

También debe considerarse la posibilidad que la densidad final sea menor a la utilizada en el presente perfil por raleos más intensos o por la aplicación de un cuarto raleo y así llegar al final del turno con un promedio de 150 árboles/ha, sin embargo, esto se evidenciara cuando se registren datos de campo que sugieran dicha dinámica.

A continuación, se presenta la estimación del inventario de producción correspondiente a raleos potenciales para el año 2019, es decir, se incluyen únicamente aquellas plantaciones que estén llegando a los 5, 10 y 16 años respectivamente (con base a la edad de las plantaciones y al perfil teórico definido). Con ello se observa que para el año 2019, la tendencia es que 16 proyectos experimenten su primer raleo, 8 proyectos su segundo raleo y 22 proyectos su tercer raleo.

Tabla 12. Detalle de productividad actual de volumen (m³) del primer, segundo y tercer raleo en plantaciones de cedro incentivados en Guatemala.

Perfil de raleo	No. Proyectos	Área total (ha)	Promedio de Volumen de raleo (m ³ /ha)	Volumen Total de raleo (m ³)
Primer raleo (5 años)	16	17.77	0.96	17.06
Segundo raleo (10 años)	8	26.81	2.33	62.45
Tercer raleo (16 años)	22	134.80	3.10	417.40
Total	46	179.38		496.91

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018

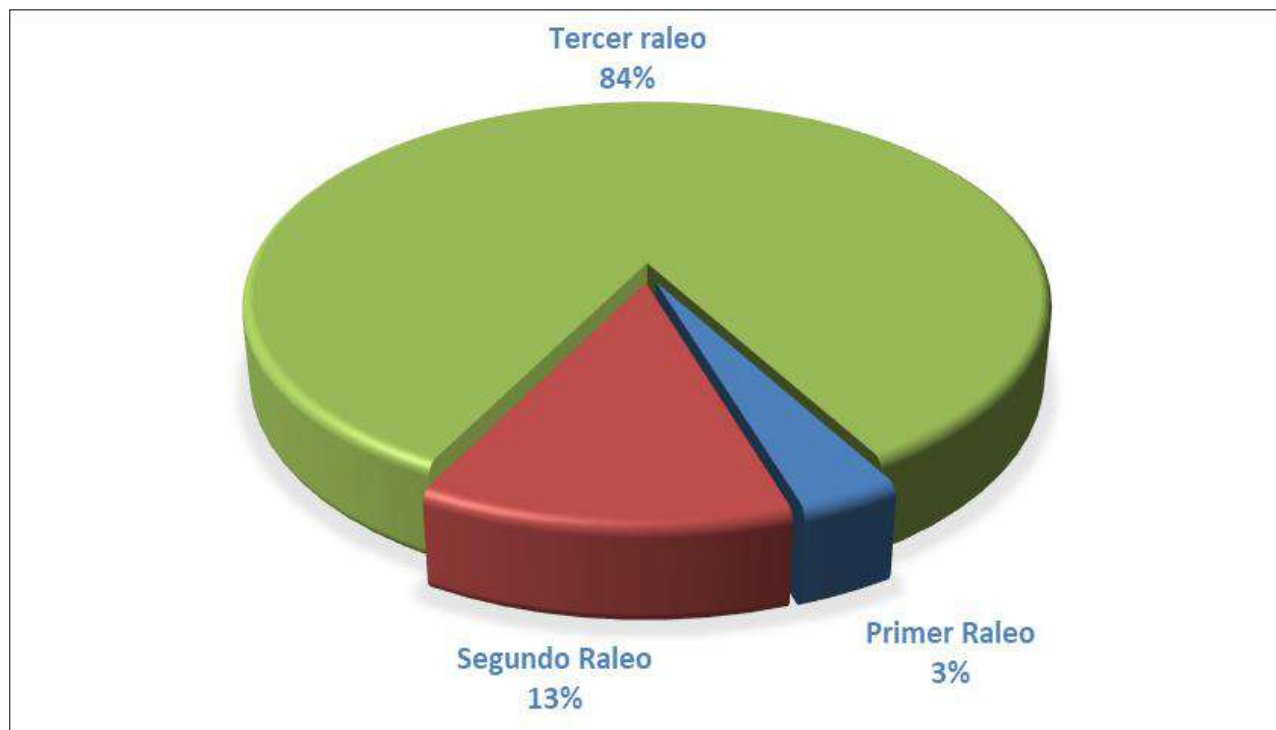


Figura 19. Gráfica de distribución del volumen total (m³) de producción actual de raleo en proyectos de incentivos forestales, para la especie *Cedrela odorata* en Guatemala.

El volumen total de raleos asciende a 496.91 m³ de los cuales es importante destacar que la mayoría del volumen disponible corresponde al tercer raleo con 417.91 equivalentes al 84% (ver figura 22) del volumen disponible para el año 2019, importante porcentaje si su destino logra comercializarse apropiadamente; únicamente 62.45 m³ equivalentes al 13% corresponde a un segundo raleo y el 3% del volumen se obtendrá de un primer raleo, el cual aunque no es comercial, el potencial productivo del rodal se verá afectado significativamente si no se realiza adecuadamente.

Análisis y proyección del inventario de producción de cedro

VOLUMEN DE EXISTENCIAS FUTURAS: Al utilizar edades futuras (hasta el turno inclusive) y una densidad final estimada en los modelos de crecimiento, se logra obtener proyecciones de las principales variables dasométricas y de productividad de una plantación, y con ello, la estimación de las existencias o producción futura.

Tabla 13. Proyección de principales variables y volumen de corta final para las plantaciones de cedro, periodo 2030-2048.

Año	No. Proyectos	Área (ha)	DAP promedio (cm)	Altura promedio (m)	Área Basal promedio (m ² /ha)	**Volumen Total promedio (m ³ /ha)	Volumen Total (m ³)
2030	19.00	289.83	19.49	13.03	7.46	41.95	13482.32
2031	24.00	213.23	19.62	13.14	7.53	42.32	9360.90
2032	21.00	170.39	19.32	12.89	7.34	40.95	7771.47
2033	22.00	134.80	19.88	13.33	7.72	44.01	6797.58
2034	21.00	109.69	19.52	13.02	7.50	42.41	4760.50
2035	15.00	77.62	19.67	13.21	7.52	41.80	3729.54
2036	8.00	13.07	18.62	12.27	6.88	37.40	346.27
2037	21.00	36.16	19.30	12.97	7.24	39.14	1752.64
2038	15.00	16.98	19.98	13.37	7.83	45.38	715.65
2039	8.00	26.81	19.14	12.78	7.17	39.01	1246.95
2040	12.00	88.39	17.93	11.85	6.30	31.77	2083.87
2041	11.00	21.56	18.62	12.48	6.72	34.54	743.95
2042	7.00	5.46	19.87	13.41	7.64	42.55	339.03
2043	28.00	21.80	18.98	12.73	6.99	36.92	683.05
2044	16.00	17.77	18.39	12.24	6.60	33.85	616.64
2045	18.00	25.81	18.80	12.64	6.83	35.33	939.31
2046	27.00	33.98	19.09	12.89	7.01	36.57	1242.51
2047	37.00	26.06	19.26	12.98	7.18	38.45	959.04
2048	16.00	89.00	20.39	13.64	8.18	49.07	6211.43
Total	346.00	1418.40	19.29	12.92	7.26	39.71	63782.64

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018. (** Los valores de "Volumen Total Promedio (m³/ha son)" son de referencia, en efecto, los datos reales de la proyección del volumen de las plantaciones se detalla en la columna de "volumen Total (m³)", ya que, para cada municipio se substituyó distinto índice de sitio en la ecuación de proyección de volumen del cuadro 5).

Los cálculos realizados en el cuadro 13 representan los resultados de la proyección de cada proyecto de cedro beneficiado por los programas de incentivos PINFOR, PROBOSQUE Y PINPEP presentado para el periodo 2030 a 2048. El supuesto teórico de turno o corta final de cada plantación se estableció en 30 años, mientras que la densidad final utilizada fue de 150 árboles/ha; nuevamente se aclara que estos valores teóricos que tienen su origen en observaciones de campo, mientras que pueden variar según la calidad de sitio y el manejo proporcionado, pudiéndose variar entre otros, el turno o edad para la corta final.

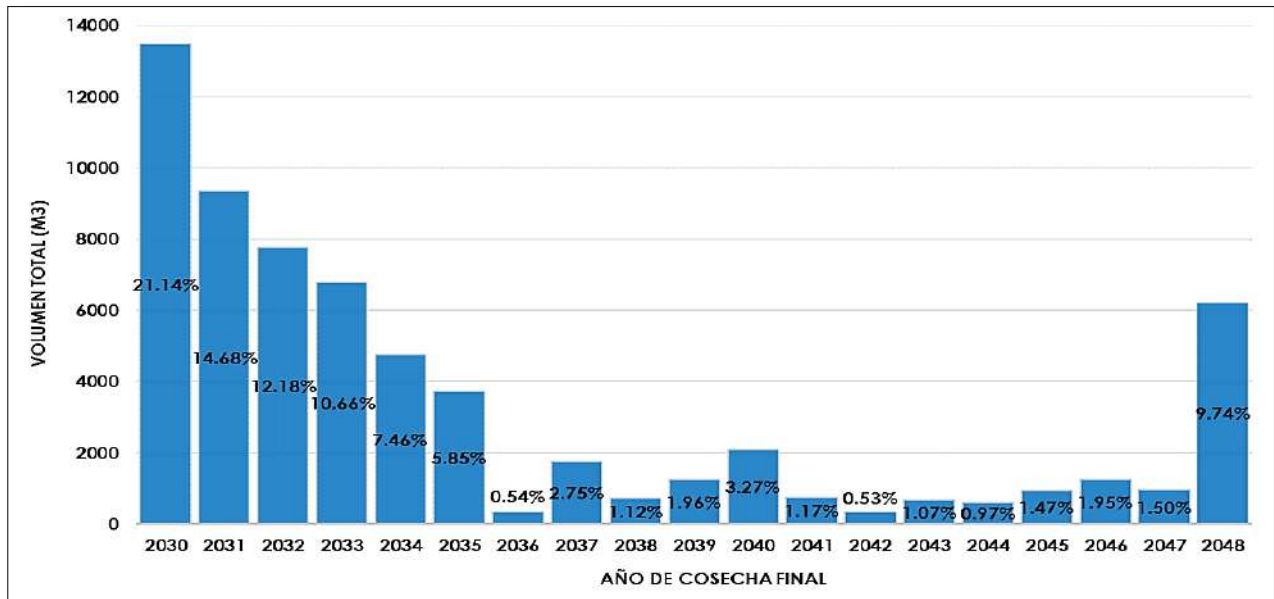


Figura 20. Gráfica de distribución del volumen total (m³) proyectado en proyectos de incentivos forestales, para la especie de Cedro en Guatemala.

Se observa en la Figura 20 que el mayor volumen del aprovechamiento final de las plantaciones de cedro se realizará en año 2030, cuando las primeras plantaciones incluidas en el presente análisis lleguen a la edad de 30 años, con un valor de 13482.32 m³, correspondientes al 21.14% del total del volumen de los 346 proyectos, al contrario, la menos disponibilidad será en los años 2036 al 2047, mejorando posiblemente a partir del año 2048 si la preferencia por plantar esta especie se recupera, para lo cual se espera contribuir con la información proporcionada en el presente documento.

Las estimaciones realizadas están sujetas a mejoras continuas, en la medida que se sumen datos de nuevas mediciones por el aumento de la edad de las plantaciones en evaluación o de la ampliación de las unidades de muestreo, con lo cual se actualizarán los modelos de crecimiento y en consecuencia las estimaciones y proyecciones

PROYECCIÓN DEL VOLUMEN DE RALEO: Como se ha indicado con anterioridad, las proyecciones de volumen, proporcionan información para estimar los raleos futuros, a partir del perfil de manejo definido. Para el presente caso, se evaluaron los 346 proyectos estimando el potencial volumen de raleo para el periodo del 2019 al 2025, es decir, cuantas plantaciones se ralearán según la edad que tengan en cada uno de los años del periodo proyectado (volumen de raleos en las edades de 4, 7 y 11 años).

Dicha proyección se presenta a continuación en el Cuadro 14, para el periodo del 2019 al 2025, diferenciando el volumen de las plantaciones que en el mismo año lleguen a la edad para un primer, segundo o tercer raleo.

Tabla 14. Proyección del volumen de raleo para plantaciones puras de cedro establecidas mediante programas de incentivos forestales en Guatemala, periodo 2019-2025.

Perfil de raleo	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Primer raleo (5 años)	54.55	83.86	111.01	85.08	454.14	0	0
Segundo raleo (10 años)	279.15	403.35	159.71	78.15	143.20	132.33	203.44
Tercer raleo (16 años)	1854.84	1326.92	1189.81	92.78	560.94	202.53	371.08
Total	2,188.53	1,814.13	1,460.54	256.01	1,158.28	334.86	574.52

Fuente: INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018.

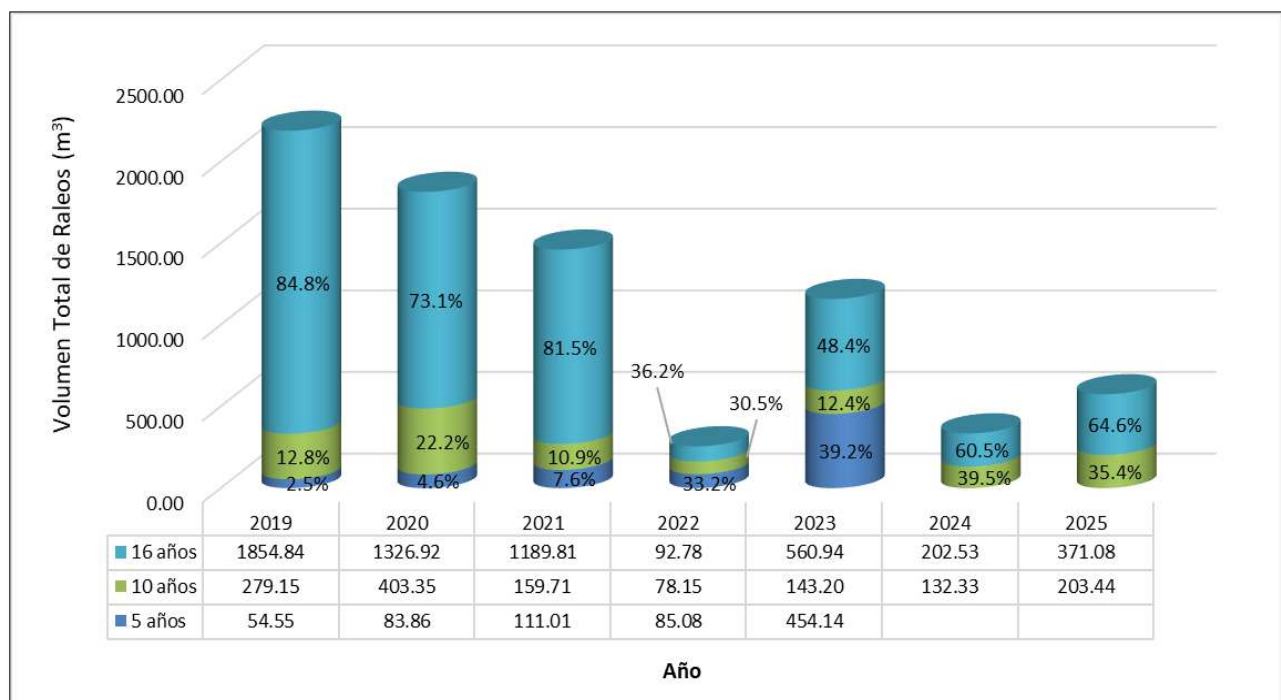


Figura 21. Grafica de distribución del Volumen Total de raleos, proveniente de proyectos de incentivos forestales, para la especie de Cedro en Guatemala.

El volumen total obtenido durante el periodo del 2019 al 2025 asciende a un total de 7786.87 m³, considerando el primer, segundo y tercer raleo, según cada uno de los 346 proyectos que presenten edad de raleo durante el periodo 2019 al 2025. En el cuadro 14 y figura 21, se observa que a excepción del año 2023 (39.2% el volumen de raleo de ese año) el volumen del primer raleo no es significativo (10 % del volumen del periodo), aun cuando la intensidad de raleo es cercana al 30%, extrayendo aproximadamente 300 árboles; aunque la cifra podría ser mejor, no suele ser de la preferencia para el mercado y por ello suele no hacerse; al no realizarse, se tiende a comprometer la calidad de la oferta maderable y por ende los beneficios futuros. Esta conducta debe mejorarse, empezando desde una adecuada planificación dentro del plan de reforestación, así como la asignación de fondos para financiar dicha actividad de forma oportuna.

El segundo raleo con un total de volumen estimado de 1399.33 m³ representa el 18% del volumen total de raleo en el periodo, que puede proporcionársele algún uso, principalmente si es destinado para exportación, donde el valor es asignado por peso, pero por ningún motivo debe comprometerse los mejores árboles para la corta final, el beneficio no es significativo.

Finalmente es interesante observar que la mayor cantidad de volumen corresponde al tercer raleo, cuando los árboles tienen 16 años y alcanzan un promedio de 15 centímetros de diámetro (DAP), dimensiones con las que suele ser comercializado, este raleo suma un total de 5598.90 m³ correspondientes al 72 % del total general del periodo; aunque la dinámica es constante en el periodo evaluado, se observa una mayor proporción en el año 2019 al 2021 respectivamente.

Con la generación de nueva información de campo se espera realizar actualizaciones del presente documento, principalmente sobre los modelos de crecimientos y estadísticas como por ejemplo la incorporación registros sobre la producción final, siempre y cuando se obtenga las experiencias de las observaciones en campo.

13. Conclusiones

1. Las principales características climáticas a considerar para la selección de cedro como especie a reforestar son: sitios en rangos de temperatura de 23 a 26 °C como temperatura media anual (según su distribución natural). En cuanto a pluviometría, la especie requiere de precipitaciones entre 1200 a 2500 mm como promedio anual (según su distribución natural), sin embargo, en plantaciones forestales los mejores rendimientos se reportan en sitios con precipitaciones de 2500 a 4000 mm anuales, con estaciones secas con periodos de 3 a 4 meses.
2. Las principales características fisiográficas a considerar para la selección de cedro como especie a reforestar son: sitios con altitudes desde 0 a 1200 msnm (según su distribución natural), sin embargo, en plantaciones forestales los mejores rendimientos se registran en altitudes menores de 650 msnm; la especie se desarrolla mejor en terrenos rocosos y con pendientes inclinadas (> a 12%); con respecto a su posición en el paisaje, el Cedro prefiere las cimas de los relieves y la parte superior de las pendientes.
3. Las principales características edáficas a considerar para la selección de Cedro como especie a reforestar es que se adapta a una variedad de texturas de suelo, prefiriendo las texturas arcillosas, aunque de preferencia, mientras más se acerque a suelos del tipo "franco" es mejor; la especie prefiere suelos con pH que van de ácidos a neutros (de 5.0 a 6.1); suelos bien drenados y con adecuada aireación son aspectos que promueven positivamente el rendimiento de las plantaciones forestales; la pedregosidad superficial no afecta el rendimiento de las plantaciones forestales, al contrario, favorece su crecimiento (rangos < de 60% del área superficial).
4. De acuerdo a su comportamiento ecológico, el cedro es una especie heliófila en cuanto a sus requerimientos de luz, es intolerante a la sombra durante la etapa de brinzal y después; este aspecto se constituye importante para analizarlo a conciencia, para la planificación adecuada de la instalación de reforestaciones, para la selección de especies acompañantes en arreglos mixtos.
5. Como parte de un manejo integrado de plagas, en búsqueda de reducir la incidencia del barrenador de las meliáceas *Hypsipyla grandella*, se promueve el establecimiento de arreglos mixtos, aunque en la práctica, existen plantaciones puras de cedro con excelentes características fitosanitarias, es decir, independientemente del arreglo seleccionado, ya sea plantaciones puras o mixtas, si no se realizan los tratamientos de prevención y manejo integrado de la plaga, esta afectara considerablemente la plantación forestal. Las prácticas de manejo integrado (nutrición, control preventivo y control correctivo) combinado con los cuidados silviculturales, son determinantes para garantizar el éxito de la plantación en los primeros tres a cuatro años.

6. Las distintas categorías de sitio constituyen criterios de evaluación del estado actual y de la productividad de las plantaciones forestales instaladas a nivel nacional, con base a la altura dominante de la especie (cuadro 6) o con base al incremento medio anual de las principales variables dasométricas de un rodal (cuadro 8). De forma complementaria, los modelos de crecimiento (cuadro 5) son herramientas que permiten simular el comportamiento de las plantaciones a través de distintos perfiles de raleo, y así conocer la mejoría de los atributos de los árboles derivados de un adecuado manejo.

14. Recomendaciones

1. Establecer plantaciones forestales de Cedro sin dejar de considerar tres factores importantes que contribuyen a alcanzar el éxito de la productividad futura de las plantaciones, estos factores son: la procedencia genética de la semilla, el comportamiento ecológico de la especie (heliófila, intolerante a la sombra), el manejo integrado de plagas y la correcta selección del sitio para la especie en sus componentes climáticos, fisiográficos y edáficos.
2. Es importante considerar que las áreas de distribución potencial de la especie están influenciadas por las variaciones climáticas, aun así, cuando las condiciones climáticas y fisiográficas son adecuadas para el establecimiento de Cedro, se debe tomar en consideración que la especie no tolera el encharcamiento (no prospera en los sitios con suelos densos o anegados), ni en sitios con niveles altos de zinc, hierro y aluminio.
3. Los arreglos mixtos son una adecuada opción para la reducción de la incidencia del barrenador de los brotes *Hypsipyla grandella* cuando consideramos lo siguiente: las especies acompañantes deben ser de una tasa de crecimiento igual o menor que la de Cedro, siempre y cuando la especie reciba luz vertical, es decir, promoviendo la sombra lateral como factor de competencia al cedro, de esa forma se propicia el crecimiento en altura de la especie y permite la generación de brotes verticales secundarios si llegara a verse afectado por la plaga.
4. Se han registrado casos satisfactorios de crecimiento obtenidos en plantaciones puras establecidas con densidades de 1111 árboles/hectárea (3 m * 3 m), considerando que cedro responde adecuadamente a la competencia intraespecífica y que las decisiones sobre el manejo silvicultural se simplifican con respecto a las decisiones de manejo que deben tomarse en arreglos mixtos; las plantaciones establecidas a 4 m * 4 m (625 árboles/hectárea) son otra adecuada opción, ya que además de que se registren adecuados crecimientos, el primer raleo tiende a retrasarse en espera de obtener algunos diámetros comerciales, permite el asocio con cultivos anuales en sus primeros años de crecimiento y posteriormente la combinación de cultivos perennes (mejorando las condiciones del arbolado y generando flujos de ingreso anual por la diversidad de un sistema agroforestal); ambas condiciones son factibles en campo, sin descuidar un adecuado plan fitosanitario y una propuesta de manejo integrado de plagas.

5. La familia de modelos de crecimiento nos permiten estimar de forma aproximada la tendencia de la producción de las plantaciones en una calidad de sitio determinada, con el objeto de respaldar la toma de decisiones y la necesidad de promover el manejo de las plantaciones, así mismo, pronosticar y simular los efectos de la posible respuesta de intensidades y frecuencias de los raleos; sin embargo, no pueden brindarnos un valor exacto de la productividad de la plantación forestal evaluada.

15. Bibliografía

- Alvarado, A. 2012. Nutrición y fertilización de *Cedrela odorata*. In: Alvarado, A; Raigosa, J (eds.). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. p. 213-219.
- Arguedas Gamboa, M. 1987. Hacia la producción de árboles sanos. In: Primer Taller Nacional Semillas y Viveros Forestales (1, 1985, San José CR). Memoria. Rojas R, F (ed.). Cartago, CR, ITCR. p. 183-200.
- Arguedas, M. 1997. Plagas de semillas forestales en América Central y el Caribe. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 113 p. + anexos. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 25).
- Arguedas, M. 2007. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 4(11 y 12 especial): 1-69.
- Arreola Vázquez, MC. 1980. Algunos aspectos de la protección forestal en el campo experimental forestal "El Tormento". Ciencia forestal (México) 5(24): 49-58.
- Barrientos, M. 2011. Evaluación del crecimiento de plántulas de cedro (*Cedrela odorata* L.) en fase de vivero con dos abonos orgánicos: estiércol de ganado y gallinaza, en la comunidad Nueva Libertad, del municipio de Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz. Informe de práctica agroforestal supervisada. San Juan Chamelco, GT, Instituto Técnico Experimental en Recursos Naturales. 27 p. + anexos.
- Benítez Ramos, RF; Montesinos Lagos, JL. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos. Siguatepeque, HN, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 216 p.
- Bush, EA. 2015. *Botryosphaeria* canker and dieback of trees and shrubs in the landscape (en línea). Petersburg, US, Virginia Polytechnic Institute and State University. 6 p. (Publication 450-726). Consultado 11 ago. 2017. Disponible en https://pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/450/450-726/450-726_pdf.pdf.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2001. Plan general de manejo forestal diversificado de la concesión comunitaria de San Miguel La Palotada. Turrialba, CR, CATIE / CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 98 p. (Serie técnica, Informe técnico (CATIE) 320).
- Cintrón, BB. 2000. *Cedrela odorata* L. Cedro, spanish-cedar. In: Francis, JK; Lowe, CA; Trabanino, S. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Río Piedras, PR, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry. p. 128 - 134. (General Technical Report IITF-15)

- Cojóm Pac, JI. 2015. Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies en plantaciones forestales de Guatemala. Guatemala. Instituto Nacional de Bosques. 212 p. [Serie técnica DT-006(2015)].
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2009. Lista de especies amenazadas de Guatemala (LEA) y listado de especies de flora y fauna silvestres CITES de Guatemala. Guatemala. 122 p. [Documento técnico 67 (02-2009)].
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2012. Manual para la administración forestal en Áreas Protegidas. Nueva Guatemala de la Asunción. 337 p. [Manual CONAP 03 (01-2012)].
- Contreras Toledo, A. 2006. Evaluación de la viabilidad de la semilla de cedro (*Cedrela odorata* L.), proveniente de diferentes clases diamétricas, en el municipio de Flores, departamento de Petén. Tesis Lic. Ing, for. Santa Elena, GT, Centro Universitario de Petén, Universidad San Carlos de Guatemala. 67 p.
- Cordero, J; Boshier, DH (eds.). 2003. *Cedrela odorata* L. In: Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute, Oxford RU / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, CR. p. 447-452.
- Detlefsen, G; Somarriba, E (eds.). 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 244 p. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 109).
- Díaz Maldonado, ERA. 1991. Técnicas de enraizado de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. y *Gmelina arborea* Linn. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 93 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1970. Guatemala: estudio de pre-inversión sobre desarrollo forestal, informe final. Vol. 2: Fotointerpretación, mapeo e inventario forestal. Roma, IT, FAO. 192 p. & 1 p. corr. (Informe FO-UNDP/SF 81/GUA/6).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2004. Inventario forestal nacional de Guatemala 2002-03. Guatemala. 129 p. (FAO, Programa de Evaluación de los Recursos Forestales: Documento de trabajo 92).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2007. Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible: Forest pest species profiles / *Hypsipyla grandella* & *Hypsipyla robusta* (en línea). 3 p. (Web box). Consultado 3 jun 2017. Disponible en <http://www.fao.org/forestry/13565-0b495b527395a3c2e411d842468d29276.pdf>.
- Flores-Vindas, E; Obando-Vargas, G. 2003. *Cedrela odorata* L. In: Árboles del trópico húmedo: Importancia socioeconómica. Cartago, CR, Editorial Tecnológica de Costa Rica. p. 235-241.
- García-González, R; Delgado, M; González, Y; González, A; Garriga, M; Caligari, PDS; Carrasco, B; Quiroz, K. 2011. Propagación in vitro de cedro (*Cedrela odorata* L.) a partir de brotes

vegetativos juveniles (en línea). Chilean Journal of Agricultural Research (CL) 71(3). s.p. Consultado 23 jul. 2017. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392011000300005&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

- Grogan, J; Free, C; Pinelo Morales, G; Johnson, A; Alegria, R. 2017. Estado de conservación de las poblaciones de cinco especies maderables en concesiones forestales de la Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala: *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Lonchocarpus castilloi*, *Bucida buceras*, *Calophyllum brasiliense*. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 57 p. (Serie técnica, Informe técnico (CATIE) 407).
- Grogan, J; Free, C; Pinelo Morales, G; Johnson, A; Alegria, R; Hodgdon, B. 2015. Sustaining the harvest: Assessment of the conservation status of big-leaf mahogany, spanish cedar, and three lesser-known timber species populations in the forestry concessions of the Maya Biosphere Reserve, Petén, Guatemala. (en línea). MIF-IDB / Rainforest Alliance. 19 p. (Community Forestry Case Studies No. 5). Consultado 20 oct. 2016. Disponible en <http://www.rainforest-alliance.org/sites/default/files/2016-08/sustaining-the-harvest.pdf>.
- Guevara Marroquín, G. 1988. Experiencias colombianas con cedro (*Cedrela odorata* L.). Bogotá, CO, Corporación nacional de investigación y fomento forestal (CONIF). 86 p. (Serie Documentación (CONIF) 12)
- Hernández Molina, EG. 2004. Experiencias en recolección y acondicionamiento de frutos y semillas de 25 especies forestales con demanda en el Programa de Incentivos forestales. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 112 p.
- Herrera Alegría, Z; Lanuza, B. 1997. Cedro, *Cedrela odorata* L. Revista Forestal Centroamericana (CR) 6(21): afiche 56x42 cm.
- Hilje Q, L; Araya F, C; Scorza R, F. 1991. Plagas y enfermedades forestales en América Central: Guía de campo. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 261 p. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 4).
- Hilje, L; Cornelius, J. 2001. ¿Es inmanejable *Hypsipyla grandella* como plaga forestal? Hoja Técnica 38. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 61:i-iv.
- Ibrahim, M; Zapata, P. 2012. Producción de madera en sistemas silvopastoriles. In: Detlefsen, G; Somarriba, E (eds.). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 112-132. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 109).
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1999. Manual técnico forestal. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques (INAB). 110 p.

- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2000. Manual técnico: Rendimiento y costos del procesamiento de frutos y semillas de 14 especies forestales. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques (INAB). 49 p.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2015. Identificación y sistematización de experiencias exitosas de manejo forestal en Guatemala, con fines demostrativos: informe final + ficha resumen El Parraxé + ficha resumen El Gudiela y Los Abanicos. Guatemala, INAB, Proyecto INAB/UICN/ITTO "Fortalecimiento de las capacidades institucionales para mejorar la observancia de la ley y la gobernanza forestal en Guatemala". Documentos internos.
- Jiménez Nehring, NG. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 97 p + anexos.
- Juárez Sánchez, MJ. 2016. Sistematización de experiencias en el establecimiento y manejo silvícola de plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en la Región VIII del Instituto Nacional de Bosques (INAB). Informe final del ejercicio profesional supervisado (EPS). San Francisco, GT, Centro Universitario de Petén, Universidad de San Carlos de Guatemala. 57 p.
- López Ríos, CA. 2008. Aportes para la identificación de especies forestales de uso actual en la región II de Las Verapaces e Ixcán, del Instituto Nacional de Bosques (INAB). Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 130 p.
- López Rodríguez, E. 1999. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica: Guatemala. San José, CR, Centro Científico Tropical (CCT). 88 p.
- Manzanero Cano, M. 2005a. Ciclo de corta, incrementos e intensidad de corta. Petén, GT, Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). 14 p.
- Manzanero Cano, M. 2005b. Diámetros mínimos de corta en bosque de la RBM. Petén, GT, Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). 10 p.
- Martínez Acosta, MH. 2005. Contribución económica del componente forestal en diferentes tipos de fincas cafetaleras en la bocacosta pacífica de Guatemala. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 104 p + anexos.
- Martínez H, HA. 2015. Especies para sistemas agroforestales: condiciones para su cultivo (en línea). Moravia, CR, Fondo Nacional de Fomento Forestal de Costa Rica (FONAFIFO). 52 p. Consultado 7 ago. 2017. Disponible en <https://www.onfcr.org/media/uploads/documents/caobacedrolaurel.pdf>
- Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 36 p. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 30).

- Monroy Sagastume, H. 2001. Manual de planificación y ejecución de aprovechamientos forestales en las concesiones comunitarias de Petén. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza / Consejo Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala. 84 p. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 47).
- Navarro Monge, GA; Santamaría Gutiérrez, OJ; Vargas Bolívar, LC; Milla Quesada, V. 2014. Análisis del comercio internacional de productos de madera y su gobernanza administrativa: Región de América Central y la República Dominicana 2000-2011. San José, CR, Oficina Regional para México, América Central y el Caribe (UICN). 120 p.
- Navarro Pereira, CM. 2002. Genetic resources of *Cedrela odorata* L. and their efficient use in Mesoamerica. Tesis Ph.D. Helsinki, FI, University of Helsinki. 112 p.
- Navarro, C; Hernández, G. 2001. Cómo introducir cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) dentro de cafetales: consejos prácticos para promover sistemas agroforestales. Agroforestería en las Américas (Costa Rica) 8(30):52-54
- Niembro Rocas, A. 2010. *Cedrela odorata* L. In: Vozzo, JA (ed.). Manual de semillas de árboles tropicales. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). p. 375- 378.
- Patiño Valera, F (comp.). 1997. Recursos genéticos de *Swietenia* y *Cedrela* en los Neotrópicos: Propuestas para acciones coordinadas. Roma, IT, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 58 p. (FAO, Departamento de Montes, proyecto FAO/GCP/RLA/128/NET).
- Pereira Barrientos, EG. 2002. Efecto de la temperatura y fotoperiodo en la germinación de semillas forestales de palo blanco (*Cybistax donnell-smithii* (Rose) Seibert), pino de Petén (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Seneclaus) W.H. Barrett & Golfari), falso pinabete (*Pinus chiapensis* (Mart.) Andersen) y cedro amargo (*Cedrela odorata* L.) en condiciones controladas. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 74 p.
- Pérez, G; Pérez, CA. 2014. Reconocimiento a campo de plagas y enfermedades forestales: Cancro por *Botryosphaeria* (en línea). Uruguay, Universidad de la República / Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. 2 p. (Cartilla 37). Consultado 12 ago. 2017. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3371/1/salida-inia-cartilla37-Botryosphaeria.pdf>.
- Pérez, J; Mesén, F; Hilje, L; Aguilar, ME. 2002. Desarrollo de un método de micropropagación aplicable a genotipos selectos de *Cedrela odorata* L.: Optimización de la fase de multiplicación. Revista Forestal Centroamericana (CR) (38):67-71.
- Pérez, J; Mesén, F; Hilje, L; Aguilar, ME. 2006. Método de micropropagación aplicable a genotipos selectos de *Cedrela odorata*: Fases de desarrollo y enraizamiento. Recursos Naturales y Ambiente (CR) (46-47):146-151.

- Pinelo, G; Morales, R; Manzanero, M. 2015. Buenas prácticas para el manejo, manipulación y producción de madera en Petén, Guatemala: Manual para la industria de la madera. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 36 p. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 127).
- Prado Meléndez, WR. 2006. Caracterización de plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y cedro (*Cedrela odorata* L.) del Programa de Incentivos forestales en los departamentos de Alta Verapaz, Izabal y Petén. Tesis Lic. Ing. for. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 52 p. + anexos.
- Ramírez Anleu, C; Szejner Sigal, M; Maselli de Sánchez, S; Rojas Prado, NE. 2012. Primer informe nacional sobre el estado de los recursos genéticos forestales en Guatemala. Guatemala, INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT) / IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). 186 p.
- Reyes Ventura, ÁE. 1998. Evaluación del efecto de temperatura, fotoperíodo y sustratos en la germinación de *Cedrela odorata* L., *Grevillea robusta* A. Cunn. y *Cupressus lusitanica* Mill. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 70 p.
- Rivera Luther, DI; Víquez Mora, HM; Castro Del Valle, K; Álvarez Morales, C. 2010. Estado poblacional y comercio de *Cedrela odorata* L. y de *Dalbergia retusa* Hemsl. en Costa Rica (en línea). Heredia, CR, VIGAE Asesorías Ambientales. Consultado 30 jun. 2017. Disponible en https://cites.org/sites/default/files/ndf_material/INFORME%20FINAL%20Estado%20Poblaciona%20y%20Comercio%20de%20Cedrela%20odorata%20y%20Dalbergia%20restusa%2C%20%20para%20CR%202010.pdf.
- Román, F.; De Liones, R.; Sautu, A.; Deago, J.; Hall, JS. 2012. Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá y el Neotrópico. New Haven, US, Yale School of Forestry & Environmental Studies. 162 p.
- Romero Fernández, SM. 2019. Distribución potencial de *Swietenia macrophylla* King (caoba) y de *Cedrela odorata* (cedro), en Guatemala. Tesis Lic. Blg. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 70 p. + anexos.
- Salazar, R; Soihet, C; Méndez, JM (comps). 2000. *Cedrela odorata* L. (Nota técnica no. 24). In: Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 47-48. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 41).
- Sampayo-Maldonado, S; Castillo-Martínez, CR; Jasso-Mata, J; Jiménez-Casas, M; López-Upton, J; Sánchez-Monsalvo, V. 2016. Efecto del medio de cultivo en la propagación *in vitro* de genotipos de *Cedrela odorata* L. *Agroproductividad (MX)* 9(2):62-69.
- Santizo Soller, GF. 2007. Clave dendrológica para madera aserrada de seis especies forestales de importancia económica en el departamento de Retalhuleu. Tesis Lic. Ing. agr. Quetzaltenango, GT, Universidad Rafael Landívar. 180 p.

- Sediles, A; Zúniga, Z. 2013. Plaga *Chrysobothris* sp. (en línea). Verde10 (Nicaragua). Consultado 11 ago. 2017. Disponible en <https://verde10forestal.wordpress.com/2013/11/14/plaga-chrysobothris-sp/>.
- SEDUMA (Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Yucatán). 2014. Cedro (en línea). Mérida, MX. 1 p. (Ficha técnica de Flora nativa). Consultado 22 jun. 2017. Disponible en <http://www.seduma.yucatan.gob.mx/flora/fichas-tecnicas/Cedro.pdf>
- Sequeira, NY; Bustos-Pérez, I; González-Martínez, AJ; Chavarría-Ñamendi, FJ. 2017. Incidencia de *Chrysobothris* sp. en cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia humilis*) con o sin asocio a guineo (*Musa balbissiana* ABB) en Rivas, Nicaragua. Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica) 14(34): 63-67.
- Somarriba, E; Orozco, L; López, A. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales con cacao. In: Detlefsen, G; Somarriba, E (eds.). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 133-144. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 109).
- Sosa Villatoro, AA. 2009. Control de la plaga gusano barrenador (*Hypsipyla grandella* Zeller) en una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King) utilizando extractos de neem (*Azadirachta indica* A. Juss.). Tesis Lic. Ing. for. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala. 97 p.
- Soto Alvarado, AE. 2002. Determinación de enfermedades foliares provocadas por hongos en diez especies forestales en plantaciones ubicadas en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Petén e Izabal, durante la época lluviosa. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 67 p.+ anexos.
- Teni Choc, MF. 2007. Plan de manejo para la producción de plantas (vivero forestal) de la eco-región de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Informe de práctica agroforestal supervisada. San Juan Chamelco, GT, Instituto Técnico Experimental en Recursos Naturales. 39 p.
- Vázquez Yanes, C; Batis Muñoz, AI; Alcocer Silva, MI; Gual Díaz, M; Sánchez Dirzo, C. sf. *Cedrela odorata* (en línea). In: Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. México, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 141-144. (Proyecto J-084 – CONABIO). Consultado 22 jun. 2017. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/36-melia2m.pdf
- Vivero, JL; Szejner, M; Gordon, J; Magin, G. 2006. The red list of trees of Guatemala. Cambridge, UK, Fauna & Flora International. 48 p.
- Webb, MJ; Reddell, P; Grundon, NJ. 2001. A visual guide to nutritional disorders of tropical timber species: *Swietenia macrophylla* and *Cedrela odorata* (en línea). Canberra, AU, Australian Centre for International Agricultural Research. 178 p. (ACIAR Monograph 61). Consultado 7 ago. 2017. Disponible en <http://ageconsearch.umn.edu/record/114812/files/61.pdf>

- Wightman, K; Rodríguez Santiago, B; Ward, S; Cornelius, J. 2005. Domesticación de cedro y caoba en la Península de Yucatán, México: Experiencias en el mejoramiento del germoplasma forestal. *Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)* 44:119-128.
- Wightman, KE; Cornelius, JP; Ugarte-Guerra, LJ. 2006. Ficha técnica 4: Cedro (*Cedrela odorata*, *Cedrela fissilis*). In: ¡Plantemos madera!: Manual sobre el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones maderables para productores de la Amazonía peruana. Lima, PE, World Agroforestry Centre. p. 131-134. (ICRAF Technical Manual no.4)
- Zanoni Mendiburu, CA. 1975. Propagación vegetativa por estacas de ocho especies forestales. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 100 p.
- Zúñiga Aragón, RA. 2000. Rendimiento de semilla de *Alnus jorullensis* Kunth, *Tectona grandis* L. f., *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y requerimientos de mano de obra en su procesamiento en Guatemala. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 72 p.



**Dirección de Desarrollo Forestal
Departamento de Investigación Forestal**

7a avenida 12-90, zona 13

Teléfono: 2321-4600



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques, Más vida

Con el apoyo de:



INAB Guatemala



www.inab.gob.gt