



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques. Más vida

Paquete Tecnológico Forestal

Caoba de Petén
Swietenia macrophylla King

Con el apoyo de:



Serie Técnica
DT-026 (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 Caoba de Petén *Swietenia macrophylla* King versión 1.0. Guatemala, Departamento de Investigación Forestal. 85 p. (Serie técnica DT-026-2019).

ELABORADO POR:

Departamento de Investigación Forestal del Instituto Nacional de Bosques (INAB), con la asesoría y redacción principal del Dr. 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 a Mario René Salazar Arana (Director de Desarrollo Forestal del INAB) y 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.



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 Caoba de Petén *Swietenia macrophylla* King, 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

- Edwin 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.....	iii
2.	Junta directiva del instituto nacional de bosques.....	iv
4.	Introducción	1
	Nombre científico	1
	Nombres comunes.....	1
	Descripción morfológica.....	1
	Distribución geográfica de la especie.....	2
	Aptitud forestal – agroforestal.....	3
	Plantaciones puras.....	4
	Plantaciones mixtas	6
	Sistemas agroforestales:.....	11
	Usos.....	13
	Importancia de la especie en el país	13
	Estado de protección legal de la especie en el país	16
5.	Selección de sitio.....	16
	Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie	16
	Clima	16
	Fisiografía.....	17
	Suelo	17
	Distribución potencial de la especie en Guatemala.....	19
	Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie	20
	Ejemplos de buena o mala elección	21
6.	Producción de plántulas y genética	22
	Diversidad genética y procedencia	22
	Rodales semilleros	23
	Semilla.....	24
	Descripción	24
	Recolecta.....	24
	Acondicionamiento.....	26
	Conservación y viabilidad.....	26
	Tratamientos pre-germinativos.....	27
	Producción de plantas	27
	Métodos de propagación	27

Sustratos en vivero.....	29
7. Establecimiento de plantaciones.....	30
Comportamiento ecológico de la especie	30
Instalación.....	30
Introducción en sistemas agroforestales	36
8. Silvicultura de plantaciones	39
Control de malezas	39
Poda.....	40
Raleo	44
Aprovechamiento final.....	44
9. Manejo de plagas y enfermedades.....	44
Plagas y enfermedades en vivero	48
Plagas y enfermedades en plantaciones	49
Barrenador de las meliáceas <i>Hypsipyla grandella</i> Zeller 1848.....	49
Vigilancia forestal.....	57
10. Manejo de bosques naturales	58
Manejo de regeneración natural	58
11. Crecimiento y productividad de plantaciones.....	60
Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala.....	60
Crecimiento e incrementos.....	61
12. Existencias.....	66
Herramientas.....	66
Superficies de plantaciones e inventario de producción actual de caoba.....	68
Análisis y proyección del inventario de producción de caoba	72
13. Conclusiones.....	76
14. Recomendaciones.....	77
15. Bibliografía	78

Lista de tablas

Tabla 1. Descripción de las fuentes semilleras de la especie caoba de Petén, inscritas en el Registro Nacional Forestal de Guatemala.....	23
Tabla 2. Agentes dañinos de la caoba de Petén <i>Swietenia macrophylla</i> reportados* en Guatemala.....	45
Tabla 3. Número de mediciones de PPMF monitoreados por el INAB, en plantaciones de Caoba en Guatemala, clasificadas por la edad de plantaciones y número de mediciones.	60
Tabla 4. Número de PPMF y especies asociadas, monitoreadas por INAB en plantaciones mixtas con Caoba en Guatemala, clasificadas por el grado de mezcla inicial.	60
Tabla 5. Categorías de sitio para Caoba de Petén <i>Swietenia macrophylla</i> en Guatemala.....	61
Tabla 6. Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para <i>Swietenia macrophylla</i> en Guatemala, según categorías de sitio.	61
Tabla 7. Familia de modelos de crecimiento para caoba de Petén <i>Swietenia macrophylla</i> en plantaciones puras en Guatemala.....	62
Tabla 8. Estado actual del comportamiento del crecimiento en plantaciones forestales de <i>Swietenia macrophylla</i> bajo monitoreo de Parcelas Permanentes de Medición Forestal en Guatemala.	65
Tabla 9. Distribución del área plantada (en hectáreas) de caoba de Petén por departamento y municipio en Guatemala.	68
Tabla 10. Descripción porcentual del área de proyectos y los rangos de edad actuales en el total de reforestaciones por incentivos en Guatemala, con la especie caoba de Petén <i>Swietenia macrophylla</i> . (De mayor a menor área/edad).	70
Tabla 11. Detalle de productividad actual (inventario forestal) de proyectos de caoba de Petén <i>Swietenia macrophylla</i> en proyectos incentivados en Guatemala.	71
Tabla 12. Proyección del volumen de raleos (m ³) para caoba de Petén en Guatemala, periodo 2019-2025.....	72
Tabla 13. Proyección del volumen total (m ³) de raleo para caoba de Petén en Guatemala, periodo 2030-2048.....	74

Lista de figuras

Figura 1. Daño que provoca el barrenador del tallo <i>Hypsipyla grandella</i> en los meristemas apicales de las plántulas de caoba, finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.....	4
Figura 2. Plantaciones de Caoba de Petén <i>Swietenia macrophylla</i> en finca Hacienda Río Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.	5
Figura 3. Vista de los claros ocasionados por mortalidad de hule <i>Hevea brasiliensis</i> , aprovechado con dos plantas de caoba (1.5 años de edad) en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.	7
Figura 4. Desarrollo del árbol de caoba aislado (1.5 años de edad) sin daños por barrenador del brote, dentro de plantaciones de hule <i>Hevea brasiliensis</i> , Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.	7
Figura 5. Plantación mixta de cedro y caoba intercalada en el mismo surco y palo blanco entre surcos, con una edad de 5 años, en Hacienda Magdalena, Retalhuleu, Guatemala	8
Figura 6. Plantación mixta de árboles en contorno de Cedro y Caoba, con una edad de 2 años, El Chal, Petén, Guatemala.....	9
Figura 7. Plantación mixta y sistema agroforestal de Caoba, rosúl, madre cacao y cacao, con una edad de 4 años, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.....	10
Figura 8. Plantación mixta y sistema agroforestal de caoba, rosúl, madre cacao y cacao, con una edad de 4 años, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.....	10
Figura 9. Sistema agroforestal de caoba <i>Swietenia macrophylla</i> King y cacao <i>Theobroma cacao</i> , Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.	11
Figura 10. Sistema Agroforestal de Caoba y Cacao, en Hacienda Río Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.	12
Figura 11. Tendencia de las reforestaciones con la especie caoba de Petén mediante los programas de incentivos PINFOR y PROBOSQUE, periodo 1998 al 2018.	15
Figura 12. Tendencia de las reforestaciones con la especie caoba de Petén mediante el programa de incentivos PINPEP desde 2012 al 2017.	15
Figura 13. Tendencia de las reforestaciones en sistemas agroforestales con la especie caoba de Petén mediante el programa de incentivos PINPEP desde 2012 al 2017.....	15

Figura 14. Mapa de distribución potencial de <i>Swietenia macrophylla</i> King en el territorio de Guatemala. (Fuente: Romero, 2019).	20
Figura 15. Semilla de caoba <i>Swietenia macrophylla</i> King recolectada en Finca Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.	24
Figura 16. Producción de vivero forestal de caoba de Petén con base a productos biológicos y fertilización a base de compuestos orgánicos en San Francisco, Petén, Guatemala.	29
Figura 17. Sistema agroforestal de caoba con cacao a una edad de 4 años, Finca Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.	37
Figura 18. Sistema agroforestal de 4 años de edad con, rosúl, madre cacao y cacao en asocio con caoba de Petén (arreglo de 12*3 metros), Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala. .	37
Figura 19. Uso de cultivo de cobertura para manejo y control de malezas, Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.	39
Figura 20. Árboles de caoba de seis (izquierda) y cuatro (derecha) años de edad podados anualmente, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala. (Altura estimada en 12 metros)	41
Figura 21. Poda manual con machete en árbol de caoba dañado por barrenador del brote, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.	43
Figura 22. Aplicación de tapacil (sellador) a las heridas provocadas por la poda, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.	43
Figura 23. Tallo de caoba de dos meses de edad con cicatrices del daño ocasionado por babosa común (no identificada), El Chal, Petén, Guatemala.	47
Figura 24. Daño del minador en el haz de la hoja de caoba con distintos grados de severidad, en finca particular de San Francisco, Petén, Guatemala.	47
Figura 25. Raíz de planta de caoba en vivero, con posibles colonias de <i>Metarhizium</i> en San Francisco, Petén, Guatemala.	48
Figura 26. Brote de caoba con daños ocasionados por la larva del barrenador del brote <i>Hypsipyla grandella</i> , Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.	49
Figura 27. Larva del barrenador de las meliáceas <i>Hypsipyla grandella</i> (Fotografía de Rony Alexander Albanés Barahona, del INAB).	50

Figura 28. Trampa biológica para el control etológico del barrenador del brote en una finca de Izabal, Guatemala. (Fotografía proporcionada por Wenner Mejía).	54
Figura 29. Fustes únicos y rectos de Caoba de 4 años, en finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.	55
Figura 30. Plantación de caoba de un año de edad, sin daños aparentes por barrenador del brote, con tratamiento de control biológico, San Francisco, Petén Guatemala.....	57
Figura 31. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> en Guatemala (fuente: Departamento de Investigación Forestal del INAB, 2018).	62
Figura 32. Familia de curvas de crecimiento en diámetro [cm] para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> en Guatemala (Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018).	63
Figura 33. Familia de curvas de crecimiento en área basal [m ² /ha] para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> en Guatemala (fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB 2018)	64
Figura 34. Familia de curvas de crecimiento en volumen total [m ³ /ha] para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> en Guatemala (fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB 2018)	64
Figura 35. Distribución de área de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento, para la especie de <i>Swietenia macrophylla</i> en Guatemala.	69
Figura 36. Descripción porcentual del área de proyectos y los rangos de edad actuales (2018) en el total de las áreas reforestadas por incentivos en Guatemala, con la especie caoba de Petén <i>Swietenia macrophylla</i> . (De mayor a menor área/edad).	71
Figura 37. Distribución del volumen total de producción actual de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento en Guatemala, para la especie caoba de Petén (<i>Swietenia macrophylla</i>).	72
Figura 38. Distribución del volumen total de raleos (a los 5, 10, 15 y 23 años respectivamente), proveniente de proyectos de incentivos forestales, para la especie de <i>Swietenia macrophylla</i> en Guatemala.	73
Figura 39. Proyección del volumen total (m ³) de producción en Guatemala de <i>Swietenia macrophylla</i> para el periodo 2030 al 2048, de plantaciones existentes desde el año 2000 al año 2018.....	74

4. Introducción

Nombre científico¹

Swietenia macrophylla King

SINÓNIMOS: *Swietenia belizensis* Lundell, *Swietenia candollei* Pittier, *Swietenia krukovii* Gleason, *Swietenia tessmannii* Harms

Nombres comunes

Basado en López (2008), Aguilar Cumes y Aguilar Cumes (1992) citados por Castañeda y Cabrera (2006), SEDUMA (2014), Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000), Bauer y Francis (2000).

NOMBRES VERNÁCULOS²: En Guatemala, la especie recibe el nombre de caoba del Petén en español, zutsuj en q'eqchi' y chacalté en maya. Vale aclarar que la precisión "caoba del Petén" es necesaria, para diferenciar la especie de la "caoba del Pacífico", nombre común que recibe en el país *Swietenia humilis* Zucc. En Yucatán, el nombre común maya de la especie es kanak ché. *Swietenia macrophylla* es el árbol nacional de Belice, donde se llama mahogany.

OTROS NOMBRES COMUNES: Caoba de hoja grande, Caoba del sur, Caoba del atlántico (América Central, México y Colombia); Mogno, Aguano, Araputanga (Brasil); Caoba hondureña, Honduran Mahogany (Puerto Rico); Acajou du honduras (Guadalupe); Oruba (Venezuela); Mara (Bolivia); Mahoni (Surinam).

Descripción morfológica

Basado en Cordero y Boshier (2003), Niembro (2010), López (2008)

PORTE DEL ÁRBOL: Árbol no deciduo, de 30 a 45 metros de altura y diámetro a la altura del pecho de 1.5 metros, aunque pudo alcanzar excepcionalmente hasta 70 metros de alto y 3 metros de diámetro (Vivero et al. 2006). Fuste largo y recto, cilíndrico, libre de ramas en los primeros 12-18 m, con estribaciones bien desarrolladas. La copa, abierta y redonda, tiene ramas gruesas y ascendentes, con denso follaje, y puede alcanzar hasta 20 m de diámetro.

CORTEZA EXTERNA: Fisurada, de color gris y textura lisa de joven; en árboles maduros se torna marrón oscuro y textura escamosa. La corteza interna tiene un alto contenido de taninos.

HOJAS: Compuestas, agrupadas al final de las ramillas, alternas, de 12-45 centímetros de largo; no tienen crecimiento terminal. Cada hoja tiene entre 3-6 pares de folíolos opuestos. El que el árbol sea deciduo o perenne, depende de la disponibilidad de agua.

FLORES: De color blanco amarillento, tamaño pequeño, olor agradable, agrupadas en inflorescencias axilares muy ramificadas, de 10-18 centímetros de largo. La especie es monoica, con flores unisexuales, las masculinas abriéndose después de las femeninas en un mismo árbol, para fomentar la polinización cruzada (el sistema de apareamiento de la especie es eminentemente exógamo) (Pennington, 2002).

¹ Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 12 dic. 2016 <<http://www.tropicos.org/>>

² Dicho especialmente del idioma o lengua: Doméstico, nativo, de la casa o país propios

La floración coincide con la formación de hojas nuevas, al final de la época seca y comienzo de la lluviosa.

FRUTOS: Cápsulas erectas, de forma ovoide al inicio y piriformes en la madurez, de 12-22 cm de largo y 6-10 cm de ancho. Cuando maduran y se secan se abren desde la base en cinco valvas; cada fruto contiene 35-45 semillas aladas, de color café, caoba o pardas, de 7.5-12 cm de largo incluyendo el ala. Los frutos maduran en 10-12 meses. El árbol comienza a producir semilla viable a los 12 años de edad.

Distribución geográfica de la especie

Basado en Navarro (1999), Grogan et al. (2017), López (1999), Bauer y Francis 2000

DISTRIBUCIÓN NATURAL: La caoba de Petén crece de manera natural desde la latitud 23° N hasta un poco más abajo de la latitud 18° S en el Neo trópico. Es nativa de los bosques tropicales estacionalmente secos, desde el sur de México (península de Yucatán), Belice, la costa atlántica de Guatemala, Honduras y Nicaragua, hasta el norte de Costa Rica. Más al sur se encuentra en el Pacífico de Panamá, para llegar a América del Sur, donde su área de distribución forma un gran arco desde Venezuela, las regiones amazónicas de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil, hasta casi alcanzar Belén do Pará.

Como la mayoría de las especies de árboles tropicales, la caoba de Petén tiene presencia en bajas densidades a escala de paisaje, con amplias variaciones de una región a otra, y aun dentro de un mismo sitio. La densidad de población en América Central, especialmente en el gran bosque lluvioso maya que atraviesa Guatemala, Belice y México, tiende a ser mucho mayor que en Suramérica. En la zona atlántica de Centroamérica, la especie es común en los bosques húmedos y de galería entre 0 a 150 msnm (Stevens et al. 2001 citado por López 2008).

En Guatemala, la caoba de Petén se encuentra, en forma natural, en las tierras bajas del norte y atlántico del país. Dicha área abarca el territorio de Petén y algunas pequeñas áreas de la Franja Transversal del Norte, en los departamentos de Quiché, Alta Verapaz e Izabal. En esta área predominan las zonas de vida *bosque húmedo subtropical cálido bh-S(c)* (el norte de Petén), *bosque muy húmedo subtropical cálido bmh-S(c)* (el sur de Petén, Alta Verapaz y Quiché), y *bosque muy húmedo tropical bmh-T* (Izabal).

En Petén, en un bosque dominado por *Manilkara zapota*, los socios arbóreos incluyen además de la caoba, a *Aspidosperma megalocarpon*, *Astronium graveolens*, *Brosimum alicastrum*, *Calophyllum brasiliense*, *Cedrela odorata* y *Vitex gaumeri* (Holdridge et al. 1950, citado por Bauer y Francis 2000).

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. *Swietenia macrophylla* estuvo presente con 0.996 árboles/ha, en bosques dominados por *Brosimum alicastrum*, *Manilkara zapota*, y *Dialium guianense*, y acompañada por *Vitex gaumeri*, *Terminalia amazonia*, *Spondias mombin*, *Pseudobombax ellipticum*, *Calophyllum brasiliense*, *Brosimum costaricanum*, *Bucida buceras*, *Ceiba pentandra* y *Vatairea lundellii* (UNEPET/SEGEPLAN 1992, citado por López 1999).

En las áreas de aprovechamiento anual 2005-2006 de 11 concesiones forestales ubicadas en la Reserva de la Biosfera Maya, la caoba mostró una abundancia media de 2.25 árboles con $dap \geq 30$ cm/hectárea, según los datos de los respectivos censos comerciales (Grogan et al. 2017).

LUGARES DE INTRODUCCIÓN: Debido a su valor comercial y habilidad para adaptarse a una variedad de condiciones de sitio, la caoba ha sido plantada de manera extensa a nivel mundial, tanto dentro como fuera de su distribución natural. Se le ha establecido en plantaciones cerradas, a campo abierto, en áreas deforestadas y en tierras agrícolas abandonadas, y en plantaciones de enriquecimiento o en hileras bajo un dosel forestal degradado. Ha sido plantada en casi todas las islas del Caribe; fue introducida a Puerto Rico alrededor de 1906 y se ha naturalizado a partir de esa fecha.

Aptitud forestal – agroforestal

Basado en López (1999), Cordero y Boshier (2003), INAB (sistematización de experiencias 2018).

En Petén la extracción de la caoba por su madera inició desde 1820, pero tomó importancia económica significativa a partir de 1860-70. Después de que la especie fue explotada y difícil de extraer de Belice, compañías inglesas concentraron sus operaciones en el sur-este de Petén, alrededor de Dolores, en la cuenca del río Mopán. Simultáneamente, firmas de Tabasco, México y después EUA se enfocaron en las riberas de los ríos La Pasión y Usumacinta, en el oeste de Petén.

Ya son más de 150 años que se aprovecha la caoba 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” de la caoba en Petén), las cosas cambiaron.

A partir de 1994, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) logró otorgar paulatinamente concesiones forestales en casi toda la zona de usos múltiples de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM), área que concentra la mayor parte de la caoba de Petén en Guatemala. 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 Forest Stewardship Council (FSC).

Los resultados de una investigación reciente sobre el estado de conservación de las poblaciones de caoba en 11 concesiones forestales de la RBM, están demostrando que, “con un alto grado de certeza, las poblaciones de *Swietenia* recuperarán, en promedio, la densidad comercial pre-cosecha durante el primer ciclo de corta entre cosechas. Este resultado pareciera ser sostenible a lo largo de repetidos aprovechamientos, con las prácticas de manejo forestal que actualmente se usan en la ZUM” (Grogan et al. 2017).

Según Whitmore (2003), *Swietenia macrophylla* constituye una gran promesa para el futuro, por las propiedades únicas de su madera de alta calidad, y a la vez su crecimiento rápido, sus altas exigencias por plena luz (es considerada intolerante a la sombra), y su habilidad para adaptarse a una variedad de condiciones de sitio (conjunto de características que lo hacen un buen sujeto para plantaciones). La principal desventaja de la especie, fuera de sus condiciones naturales es su susceptibilidad al barrenador del tallo *Hypsipyla grandella*.

Esta palomilla puede atacar diversas estructuras del árbol, pero el daño principal lo causa el barrenar al brote principal en árboles jóvenes, 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), por lo que de ninguna forma puede considerarse el cultivo de esta especie sin las consideraciones mínimas para la prevención y control de dicha plaga.

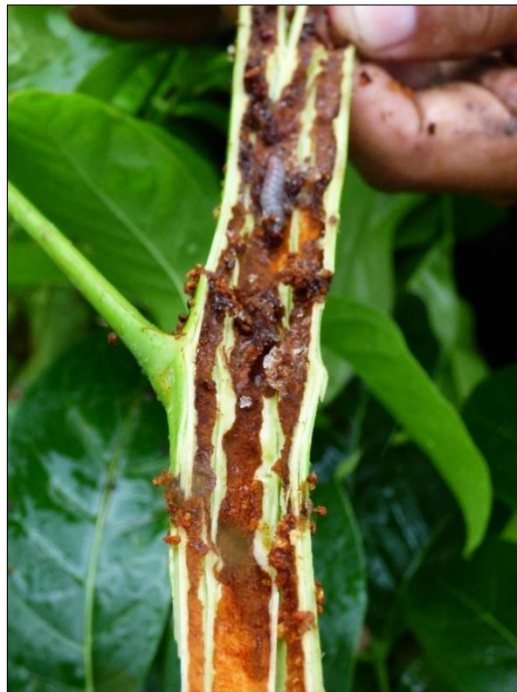


Figura 1. Daño que provoca el barrenador del tallo *Hypsipyla grandella* en los meristemos apicales de las plántulas de caoba, finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.

Plantaciones puras

Esta modalidad 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 *Hypsipyla grandella* que aprovecha la disponibilidad de alimento.

En consecuencia, plantaciones forestales puras de caoba de Petén establecidas en la finca El Paraíso (cercana a Río Dulce, Izabal, Guatemala) fueron identificadas por el INAB como experiencias exitosas de manejo forestal en Guatemala, y propuestas como sitio demostrativo. Merece especial mención los métodos de control mecánico y químico de la palomilla de los brotes *Hypsipyla grandella*, aspecto que ha permitido 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 entre organismos de la misma especie

En otro proceso similar realizado a finales del año 2018, se identificó plantaciones puras de caoba de Petén con buen desarrollo y poca incidencia de barrenador en la Hacienda Río Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala; en cuyo caso, a los dos años de edad presentan un promedio de 12 centímetros de diámetro (incremento de 6 centímetros por año) y alturas de hasta 6 y 8 metros en los árboles que no presentan daños por el barrenador del brote, demostrando el potencial de crecimiento de la especie, en conjunto con la calidad del sitio (calidad del suelo) y el manejo silvicultural del cual se discutirá posteriormente. Un detalle importante de la plantación es que se encuentra a un distanciamiento de 3 metros entre surco y 4 metros entre planta.



Figura 2. Plantaciones de Caoba de Petén *Swietenia macrophylla* en finca Hacienda Río Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.

Otras de las plantaciones puras (ver figura 2) de la Hacienda Río Dulce, reportan diámetro promedio de crecimiento de 16.7 centímetros de diámetro en 4 años, correspondientes a 4.2 centímetros de incremento anual en diámetro. Aunque no está de más indicar que al menos el 20% de los árboles presentan diámetros de 20 centímetros.

Estos resultados, aunado al valor de la madera de caoba (según dato proporcionado por Wagner Mejía⁴, es de 12 a 13 USD por pie tablar) en la finca han promovido la meta de establecer al menos 100 hectáreas de plantaciones puras de caoba, por su alta expectativa de mercado.

⁴ MSc. Wagner Mejía. 19 de noviembre de 2018. Motivo del establecimiento de áreas de Caoba de Petén en plantaciones. (entrevista). Livingston, Izabal, Guatemala. Regente Forestal de Hacienda Río Dulce.

Otro ejemplo con resultados considerables se identificó en terreno particular de San Francisco Petén, donde se estableció una plantación pura de caoba de Petén en el año 2018 y en términos de 6 meses, esta alcanza una altura 1.5 a 2 metros. Lo impresionante es que, debido al manejo de plagas, no se identificaron daños por barrenador del brote, por lo que la especie puede expresar su potencial; la descripción del manejo se expondrá en los capítulos siguientes.

Plantaciones mixtas

Entre los principales objetivos de plantar caoba de Petén (ciclo de corta⁵ largo) en arreglos donde comparte con otras especies secundarias, principalmente latifoliadas de ciclo o turno⁶ corto (como la Melina, *Gmelina arborea*), consiste en iniciar a recibir un flujo de ingresos en un menor tiempo, como producto del aprovechamiento de la especie secundaria, pretendiendo que transcurra el tiempo para aprovechar la especie primaria y de mayor valor económico.

Ha sido frecuente el uso de caoba en arreglos combinados con más de una especie, para aprovechar la tierra durante el turno largo de la caoba, al diversificar el cultivo y así generar un flujo regular de ingresos por los productos y subproductos de las especies asociadas.

Otro de los objetivos es utilizar especies distintas a la caoba de Petén para “esconder” o reducir la incidencia del barrenador del brote, bajo el principio de manejo integrado de *H. grandella*, que al no disponer de alimento continuo y promover la mezcla de especies, el insecto no logra trasladarse con facilidad de un árbol a otro y reducirá su presencia, tal como lo menciona Hilje y Cornelius, 2001; sin embargo, de acuerdo con las experiencias documentadas, el principio de manejo integrado no se cumple solo con establecer el arreglo mixto, 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”.

Se ha observado la emergente aptitud de la especie como árbol aislado dentro de plantaciones de hule *Hevea brasiliensis*, utilizados para completar los pocos espacios donde uno o dos árboles de hule mueren por casos excepcionales (ver Figura 3), aprovechando que regularmente no funciona plantar nuevamente hule porque no desarrollan bajo la sombra de los árboles de su misma especie, entonces, la caoba ha representado una opción que ofrece distintas ventajas entre las que se enlistan: i) aprovechar el espacio vacío durante el turno del hule (superior a 25 años), ii) reducir riesgos de acame por el efecto del viento en los espacios vacíos, iii) agregar valor a la plantación al final del turno de la plantación de hule y iv) debido a que son árboles aislados, generalmente no presentan daños por plagas y enfermedades como en plantaciones forestales.

Así mismo, en la figura 4, puede observarse la condición actual de la sanidad de las especies, es decir, las especies que se observaban en campo no expresaban signos ni síntomas del ataque de *Hypsipylla grandella*, probablemente por su poca abundancia y frecuencia dentro de las plantaciones de Hule, esta práctica puede replicarse en escenarios similares, con el ánimo de aprovechar claros amplios y agregar valor de especies preciosas a las plantaciones de Hule.

⁵ Ciclo de corta: Periodo de tiempo en que, en un área sujeta a aprovechamiento forestal, es posible volver a realizar una nueva intervención, luego del crecimiento de todos los árboles de la masa residual intervenida.

⁶ Turno: Número planificado de años que transcurre entre la formación o regeneración de una masa y el momento de su corta final.



Figura 3. Vista de los claros ocasionados por mortalidad de hule *Hevea brasiliensis*, aprovechado con dos plantas de caoba (1.5 años de edad) en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.



Figura 4. Desarrollo del árbol de caoba aislado (1.5 años de edad) sin daños por barrenador del brote, dentro de plantaciones de hule *Hevea brasiliensis*, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.

Ampliando el tema de aptitud de la caoba de Petén para su asocio con otras especies, es importante destacar que se han obtenido distintas experiencias, dentro de las cuales se discutirán algunos casos observados en campo.

El primer caso corresponde a la mezcla de la caoba con cedro *Cedrela odorata* L., y Palo blanco *Tabebuia donnell-smithii* Rose, combinación que se ha establecido considerando que dos especies 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); esta decisión debe tomarse con precaución, para que el asocio no comparta el fracaso al no tomar las medidas correspondientes para la prevención y control de plagas. Este tipo de combinaciones ofrecen algunas complicaciones, si no se planifica 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.



Figura 5. Plantación mixta de cedro y caoba intercalada en el mismo surco y palo blanco entre surcos, con una edad de 5 años, en Hacienda Magdalena, Retalhuleu, Guatemala

En la figura 5, la fotografía representa el asocio de cedro y caoba intercalada en el mismo surco, en este caso, el árbol al frente es de cedro y el posterior es de caoba, logrando observar que el cedro presenta un mayor diámetro, en comparación con la caoba; ofreciendo según lo indicado por el Sr. Ricardo Bressani⁷, 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.

Otro caso similar se observó en un sistema agroforestal de árboles en contorno, ubicada en el Chal, Petén, Guatemala, donde las dimensiones de los árboles de cedro superan en incremento a los árboles de la especie caoba.



Figura 6. Plantación mixta de árboles en contorno de Cedro y Caoba, con una edad de 2 años, El Chal, Petén, Guatemala.

Es importante señalar que dicho comportamiento también se observó en de la Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala, donde iniciaron con un sistema agroforestal que incluía el asocio de cedro y caoba, aun así, decidieron continuar únicamente con caoba (distanciamiento de 12 m entre surco * 12 metros entre planta) para el resto de sus proyectos, combinadas en un arreglo mixto con la especie Rosul *Dalbergia spp.*, (distanciamiento de 12 metros entre surco * 3 metros entre planta) y madre cacao *Gliricidia sepium* (distanciamiento de 6 metros entre surco * 3 metros entre planta) y el cultivo agrícola del sistema agroforestal lo compone la especie cacao *Theobroma cacao*, como se puede observar en la figura 7 y 8.

⁷ Sr. Ricardo Bressani/23/Octubre/2018/Raleos en plantaciones mixtas con Caoba/Entrevista/Retalhuleu /Guatemala/ Propietario de Hacienda Magdalena



Figura 7. Plantación mixta y sistema agroforestal de Caoba, rosúl, madrecaao y cacao, con una edad de 4 años, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.



Figura 8. Plantación mixta y sistema agroforestal de caoba, rosúl, madrecaao y cacao, con una edad de 4 años, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.

Sistemas agroforestales:

La caoba de Petén se ha usado en sistemas agroforestales que, además de sombra, permiten obtener madera. Por lo general, los árboles jóvenes son respetados por los propietarios cuando se corta el bosque para hacer potreros o usos agrícolas; por ello, los individuos de diversos tamaños son frecuentes dentro de las fincas. En algunos países (p. ej. Indonesia, Trinidad y Tobago), ha sido plantada con fines de protección del suelo.

El Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), en Honduras, promueve un sistema que asocia *Inga* spp con *Swietenia macrophylla* como sombra para café *Coffea arábica*, donde la caoba 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 la caoba.

En Guatemala, el asocio de la caoba con cultivos agrícolas, principalmente el cacao por coincidir en requerimientos y condiciones agronómicas, ha resultado una combinación importante dentro del sector, como en el caso de la Finca Kampura (ver Figura 9), o de la Finca Hacienda Rio Dulce, ambas ubicadas en Livingston, Izabal. En dichas fincas, tanto al cultivo agrícola como al forestal se les proporcionan atenciones especializadas logrando complementar y beneficiar la productividad del sistema para atender las demandas productivas de los mercados correspondientes.



Figura 9. Sistema agroforestal de caoba *Swietenia macrophylla* King y cacao *Theobroma cacao*, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.

La Figura 9, representa el primer sistema agroforestal establecido por la Finca Kampura, donde la experiencia adquirida en el manejo del cultivo agrícola (variedad, enmiendas de suelo, fertilización, entre otros) y del forestal (raleo, poda, entre otros) ha sido de gran aporte para continuar cubriendo otras superficies de la finca. Una característica que facilitó la aptitud de la caoba para este sistema fue su positiva respuesta a la poda, la cual se realizó para manejar la sombra para el cacao, pero que además, le permitió a varios árboles evitar el raleo, mientras que aumentaban algunos centímetros en diámetro y en consecuencia un mejor valor en el mercado.

A continuación, en la Figura 10, se muestra el sistema agroforestal de la Finca Hacienda Río Dulce, donde la combinación con el cultivo agrícola persigue principalmente facilitar de condiciones adecuadas al cultivo forestal, generando algunos ingresos periódicos que dinamizan los flujos de caja y reduciendo algunos costos, tales como las limpieas.



Figura 10. Sistema Agroforestal de Caoba y Cacao, en Hacienda Río Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.

Usos

Basado en Bauer y Francis (2000), Cordero y Boshier (2003)

Swietenia macrophylla es la especie tropical maderable número uno en el mundo (Grogan et al. 2015), donde es considerada como la mejor madera para la ebanistería. De hecho, ha sido comercializada y utilizada internacionalmente por más de 400 años.

El duramen (la madera), de color rojo a amarillo, se seca para alcanzar un vivo color pardo rojizo o pardo dorado con un lustre fino. La albura es de blanca a amarilla, de un valor mucho menor. La textura es de fina a tosca, la fibra de recta a ondulada y a menudo con una figura atractiva, especialmente al ser aserrada en plano radial. La madera de la caoba de Petén puede ser secada al aire o al horno con rapidez sin torsión o cuarteadura. El peso específico de la madera secada al horno varía entre 0.40 y 0.68 g por cm³ (0.40-0.85 según Niembro 2010). La madera cultivada en plantaciones es por lo usual un poco más liviana, blanda y débil que la madera procedente de árboles del bosque natural. La caoba de Petén es fácil de trabajar a mano y con instrumentos eléctricos. Sin embargo, la fibra con astillas o desgarres es común con el material veteado. La madera es fácil de encolar, agarra los clavos y los tornillos bien y toma un pulido excelente.

Se usa principalmente para muebles finos y chapa decorativa, pero su facilidad para trabajarla y su alta resistencia en comparación a su peso la hace apta para un gran número de usos como construcción ligera, embarcaciones, instrumentos musicales, modelos y maquetas. Tiene enorme valor comercial para la industria de tableros de calidad, aunque la variación en color, su grano ondulado, nudosidad y daños por el perforador, así como su escasez limitan un poco su aptitud para chapas de calidad.

También tiene un rango de usos menos frecuentes en medicina, tintes y taninos en la corteza. La infusión de la corteza y semillas se usa contra diarrea y fiebre. La semilla es muy amarga, usada para el dolor de muelas. Contiene también aceites usados en la preparación de cosméticos.

Importancia de la especie en el país

Basado en Estadísticas PINFOR-PROBOSQUE 2000-2018⁸, Estadísticas PINPEP 2007-2017⁹

La caoba de Petén 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 (Consejo Nacional de Áreas Protegidas) la clasifica como AAACOM, una de las dos únicas especies peteneras de uso maderable principalmente en ebanistería, actualmente muy valiosas y cotizadas en el mercado nacional e internacional¹⁰. 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.

⁸ INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018. Base de datos PINFOR-PROBOSQUE 2018 (Programa de Incentivos forestales y Programa de Incentivos para la Recuperación, Establecimiento, Restauración, Producción, Manejo y Protección de Bosques en Guatemala) 1998-2018. Guatemala, departamento de Incentivos forestales del INAB.

⁹ 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.

¹⁰ Zac Cruz, W. 21 oct 2013. Archivo Excel *Listado de especies arbóreas inventario integrado de Petén 2*. San Benito, Guatemala, CONAP Región VIII.

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 [Empresa comunitaria de servicios del bosque] (Grogan et al. 2015).

El país es el principal exportador de caoba de la región hacia los Estados Unidos. El 70% de la madera de esta especie importada por los Estados Unidos en el 2011 desde la región centroamericana, con un valor de 6 millones de dólares, provenía de Guatemala. Durante el periodo 2008-2012, el país exportó un total de 22 mil m³ de madera de *Swietenia macrophylla*, por un valor 27 millones de dólares (Navarro et al. 2014).

En Guatemala, el área de caoba de Petén establecida mediante plantaciones forestales puras con incentivos forestales (PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE) hasta finales del año 2018 sumaba una cantidad de 980.03 ha; la cantidad de área reforestada hasta el año 2018 ubicaba a la especie en el lugar 17 en cuanto a preferencia para el establecimiento de proyectos de reforestación. La importancia de la especie ha permitido que se registre la existencia de plantaciones en 11 departamentos de Guatemala, distribuidas en 45 municipios del territorio nacional.

Caoba de Petén ha sido plantada esencialmente en la zona norte de Guatemala, principalmente en el sur de Petén, Alta Verapaz e Izabal. Alta Verapaz presenta la mayor extensión de plantación (397.46 ha), seguido de las 330.95 hectáreas establecidas en el departamento de Petén y el tercer departamento con mayor superficie de plantación con la especie es Izabal (112.98 hectáreas). En Guatemala, los primeros cinco municipios con mayor existencia de plantaciones puras de Caoba de Petén son: 99.86 hectáreas en Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz; 93.13 hectáreas en Cobán, Alta Verapaz; 73.86 hectáreas en Sayaxché, Petén; 68.59 hectáreas en Chisec, Alta Verapaz y 64.33 hectáreas en Gualán, Zacapa.

La aptitud de crecimiento de la especie ha sido uno de los motivos para incrementar las áreas de introducción mediante sistemas agroforestales, de esa cuenta, hasta finales del año 2017, de acuerdo con la base de datos de PINPEP del INAB, se registra la existencia de 66.05 hectáreas de Caoba de Petén en sistemas agroforestales –SAF–, la modalidad de SAF preferida por los poseedores es la de “árboles en línea”.

Las siguientes tres figuras, expresan la tendencia de la dinámica de las reforestaciones con Caoba de Petén, en la figura 11, se puede observar que en el año 1998 (área/año: 1) se inició con la reforestación superior a 23 hectáreas, la tendencia redujo significativamente a partir del año 2011 (área/año: 14) donde el área reforestada anual fue de 6.50 hectáreas, manteniéndose esa tendencia hasta el año 2016 (área/año: 19), el anterior descenso se debe probablemente a que el programa de incentivos PINFOR estaba en su etapa final, ya que, para el año 2017 y 2018 (área/año: 20) con el funcionamiento del programa PROBOSQUE ya se tenían registros de reforestación superiores a 80 hectáreas; la puesta en marcha del programa PROBOSQUE ha promovido nuevamente el aumento de cobertura con esta especie. Con respecto a la figura 12, expresa la tendencia de la preferencia de los poseedores de tierra para establecer sistemas agroforestales, mediante el programa PINPEP, aspecto que contribuye a la ganancia de área y amplía la oportunidad de introducir especies de alto valor comercial a los sistemas productivos.

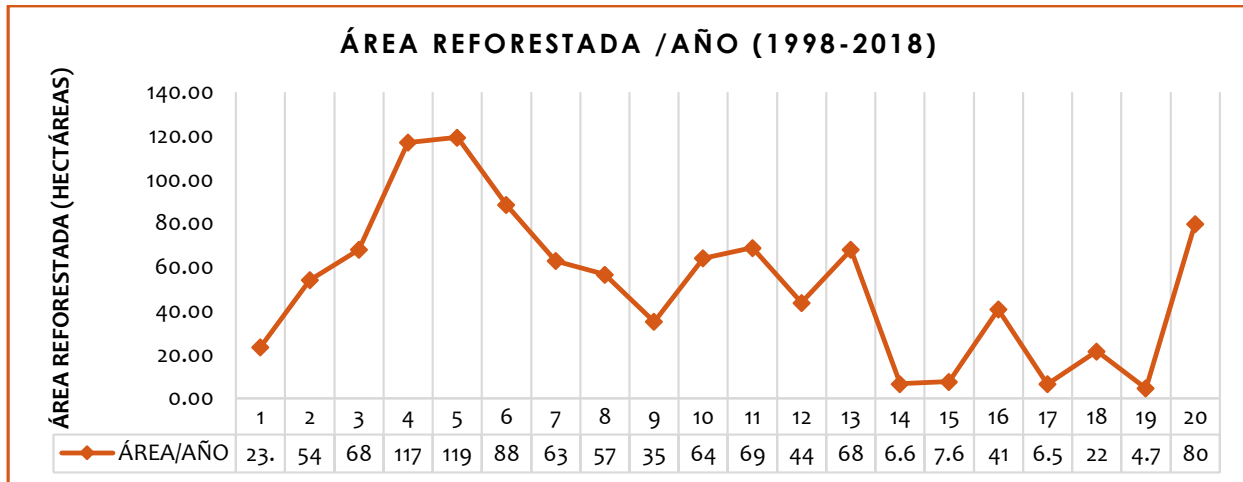


Figura 11. Tendencia de las reforestaciones con la especie caoba de Petén mediante los programas de incentivos PINFOR y PROBOSQUE, periodo 1998 al 2018.

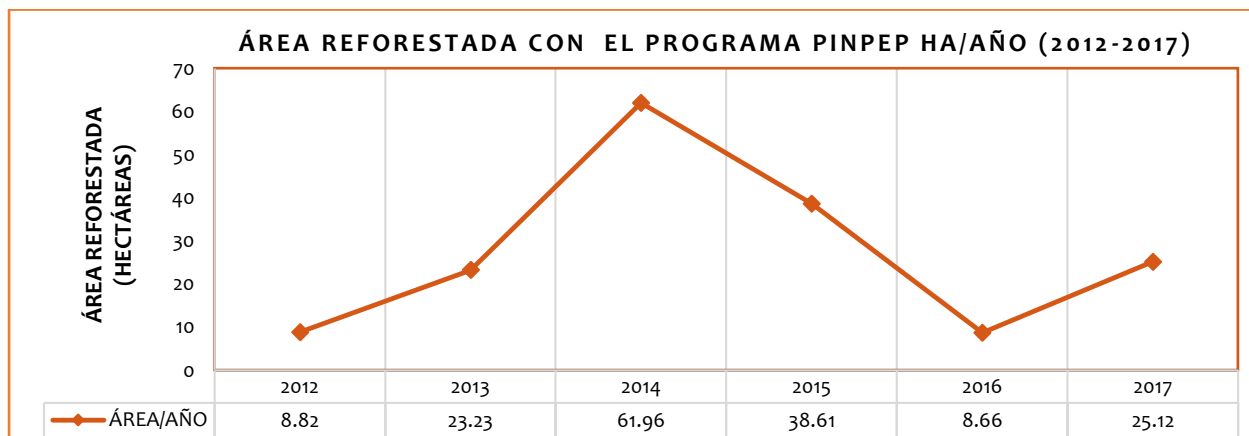


Figura 12. Tendencia de las reforestaciones con la especie caoba de Petén mediante el programa de incentivos PINPEP desde 2012 al 2017.

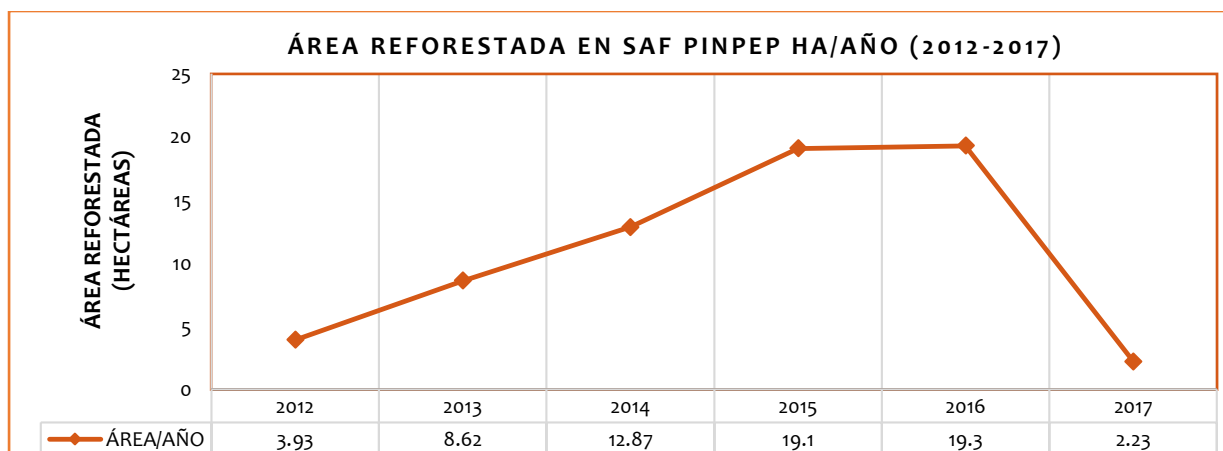


Figura 13. Tendencia de las reforestaciones en sistemas agroforestales con la especie caoba de Petén mediante el programa de incentivos PINPEP desde 2012 al 2017.

Estado de protección legal de la especie en el país

Basado en CONAP (2009), CONAP (2006)

La caoba es una especie protegida por el CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas), a través del listado de especies amenazadas –LEA- para Guatemala. Según esta institución, la especie se ubica en la categoría 3, la cual incluye a las especies que, si bien no se encuentran en peligro de extinción actualmente, podrían llegar a estarlo si no se regula su aprovechamiento.

En el listado de especies amenazadas del CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), *Swietenia macrophylla* se ubica en el Apéndice II. Esto significa que las poblaciones neotropicales de la especie no están en peligro de extinción, pero podrían llegar a estarlo si no se reglamenta la comercialización de manera estricta, que evite la utilización incompatible con su supervivencia. En la 12^{ava} conferencia de las partes del CITES (2002, Santiago de Chile) se acordó incluir una anotación a la especie: “designa trozas, madera aserrada, láminas de chapa de madera y madera contrachapada”. Esto significa que los cargamentos de madera de caoba para el comercio internacional deben ir acompañados por un permiso de exportación CITES.

Vivero et al. (2006) precisan además que, con base en las categorías y criterios de la UICN, la caoba es considerada 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.

5. Selección de sitio

Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie

Basado en Cordero y Boshier (2003), SEDUMA (2012), Castañeda (2013), López (1999), Schulze y Whitacre (1999), Wightman et al. (2006), Bauer y Francis (2000), Hilje y Cornelius (2001), Alvarado y Leiva (2012), Webb et al. (2001), Santos (2019) y Romero (2019).

Clima

TEMPERATURA: En el área de distribución natural de la caoba, la temperatura media anual oscila entre 22-28°C. Bajo cultivo, la especie ha dado buenos resultados en áreas con temperaturas desde 12 a 37°C. En Quiché y Alta Verapaz, la caoba prospera con temperaturas entre 16 y 24°C.

PLUVIOMETRÍA: En el hábitat natural de *Swietenia macrophylla*, las precipitaciones oscilan entre 1000 y 2500 mm, aunque se puede encontrar la especie en ambientes más extremos, más húmedos (hasta 4200 mm) o más secos (por ejemplo, en bosque seco en Guanacaste, Costa Rica o en petenes¹¹ inmersos en los humedales de la costa del estado de Yucatan). Puede tolerar estaciones secas de cuatro meses. Sin embargo, una región con una alta precipitación y una estación seca prolongada es menos adecuada para su crecimiento que una con menor precipitación, pero una estación seca más corta.

¹¹ Petenes: proviene de un vocablo maya que significa “campos llanos junto al mar a manera de islotes”

Bajo cultivo, ha dado buenos resultados en áreas con precipitaciones de hasta 5000 mm por año. Los mejores sitios para plantación en Quiché y Alta Verapaz cuentan con precipitaciones entre 4400 y 6500 mm por año.

ZONA DE VIDA: En Guatemala, la especie es propia de las zonas de vida bosque húmedo subtropical cálido (bh-S(c)) (parte norte de Petén y frontera con México) y bosque muy húmedo subtropical cálido (bmh-S(c)) (tierras bajas de Petén e Izabal); incursiona en el bosque pluvial subtropical (bp-S) al norte de los departamentos de Quiché y Alta Verapaz.

Fisiografía

ALTITUD: La caoba tiene un buen crecimiento en altitudes que van entre 50-500 (0-600) msnm, aunque puede llegar hasta los 1400 (1500) msnm. En Quiché y Alta Verapaz, la especie ha sido instalada en elevaciones entre 400 y 1400 msnm.

PENDIENTE DEL TERRENO: La especie crece bien en terrenos planos a ondulados, con una pendiente de 0 a 20%, pero puede desarrollarse en pendientes fuertes e inestables.

POSICIÓN EN EL PAISAJE: En Tikal, es común encontrar en las partes más altas del paisaje (cimas, lomas y colinas) parches de bosque dominados por especies emergentes demandantes de luz como *Swietenia macrophylla*. Sin embargo, allí no se encuentra regeneración natural alguna de la caoba bajo el dosel, y es probable que la dominancia actual sea el resultado de grandes perturbaciones ambientales antiguas (como huracanes), y que la especie irá desapareciendo de estos sitios, mientras no vuelva a ocurrir una perturbación mayor del dosel.

Al inverso, en las partes inferiores del paisaje (sabal, base de colina, bajos), *Swietenia macrophylla* muestra capacidad de regenerarse en ausencia de grandes disturbios: en estos lugares están presentes a la vez árboles altos, latizales y brinzales. Este comportamiento conllevó Schulze y Whitacre (1999) a caracterizar la caoba del Petén como una generalista de los sitios inferiores del paisaje, pero altamente tolerante a condiciones extremas de humedad del suelo.

En el departamento de Ucayali (Amazonía peruana), se ha observado un mejor crecimiento de la caoba en sistemas agroforestales establecidos en sitios cercanos a los ríos (en terrazas medias y bajas). Sin embargo, Juárez (2016) reporta la pérdida de árboles debido al efecto de inundaciones en bajos del Proyecto “El Ramonal III” (Las Cruces, Petén).

Suelo

Dentro de su área de distribución natural, crece en suelos aluviales de origen mixto, en suelos volcánicos y en suelos derivados de piedra caliza, granito, andesita y otras rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. La especie prefiere suelos aluviales profundos, bien drenados y fértiles, preferiblemente alcalinos a neutros, aunque también puede crecer en suelos ácidos, con pH (potencial hidrógeno) de hasta 4.5; aunque Santos (2019) indica que los mejores crecimientos en plantaciones forestales puras se obtienen en suelos ligeramente ácidos con pH de 4.8 a 5.20; así mismo, que los sitios donde se desarrolla Caoba de Petén en Guatemala (23 muestras de suelo) indican que la especie se está desarrollando adecuadamente en texturas de suelo que van de arcilloso a franco arcilloso.

Bajo condiciones de plantación, ha mostrado un crecimiento satisfactorio en suelos erosionados y deficientes en fósforo, en suelos lateríticos pobres y cascajosos, en arcillas ácidas y profundas y en suelos arcillosos derivados de piedra caliza. En Honduras, se le ha plantado con éxito en todas las texturas de suelo desde las arenas hasta la arcilla densa y ha mostrado resultados satisfactorios en áreas pobremente drenadas en donde otras especies han fracasado. Los mejores resultados para esta especie en Honduras se obtuvieron cuando se plantó en margas aluviales bien drenadas.

El conocimiento sobre nutrición y fertilización de la caoba es escaso e incompleto, a pesar de la importancia de la especie para la producción de madera¹².

Es prudente desarrollar con detalle en el presente capítulo la investigación desarrollada por Santos (2019), denominada “identificación de las variables edáficas y fisiográficas que inciden en la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de Caoba del Norte *Swietenia macrophylla* King en la red de parcelas permanentes¹³ ubicadas en los departamentos de Petén, Izabal, Quiché, Alta Verapaz y Escuintla.

El análisis metodológico consta de evaluar la productividad expresada (en términos de índice de sitio) en parcelas permanentes de medición forestal establecidas en plantaciones puras (14 PPMF¹⁴) y su relación existente con distintas variables de suelo obtenidas mediante análisis de laboratorios, entre las variables se encuentran: pH, análisis de fósforo (P), potasio (K), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), calcio (Ca), hierro (Fe), sodio (Na), magnesio (Mg); además de evaluar la capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica y saturación de bases.

El principal resultado indica que en las plantaciones puras de Caoba de Petén, la calidad de sitio se ve influenciada en mayor medida por cuatro variables edáficas, las cuales son: saturación de bases, magnesio, potasio y pH (encontrando sitios con índices altos y excelentes en pH ligeramente ácidos en un rango de 4.8 a 5.20); la expresión numérica del análisis consta en una ecuación derivada un análisis de regresión múltiple que se describe a continuación:

$$IS^{15} = 32.57 - 4.58 \text{ pH} - 0.19 \text{ Mg} + 8.56 \text{ K} + 0.12 \text{ Sb}$$

Dónde: IS = índice de sitio; pH = potencial hidrogeno; Mg = Magnesio; K = Potasio, y Sb = Saturación de bases.

¹² Alvarado y Leiva (2012), citando a Webb et al. (2001), describen en un cuadro los síntomas de la deficiencia foliar desarrollados a nivel de invernadero por *Swietenia macrophylla*, 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.

¹³ Sistema de monitoreo de distintos ecosistemas forestales distribuidos fuera de áreas protegidas en Guatemala, liderada por el Instituto Nacional de Bosques (INAB), donde se registran los cambios y la dinámica de crecimiento de plantaciones forestales, bosque natural de coníferas, bosque natural latifoliado y bosque manglar, por medio de dispositivos de muestreo denominados “parcelas permanentes de medición forestal (PPMF)”.

¹⁴ Las parcelas permanentes de medición forestal sujetas al análisis forman un arreglo de plantación pura, en un rango de edades de 4 hasta 20 años, distribuidas en la región norte de Guatemala.

¹⁵ El modelo de la regresión lineal múltiple ha sido validado mediante el coeficiente de determinación (R^2), siendo su valor 0.96; lo que explica que el 96% de la variabilidad del índice de sitio es explicado por el modelo.

Lo anterior constituye un insumo importante para analizar a conciencia, debido a que existen condiciones inherentes al sitio que deben considerarse para una adecuada selección de especies a reforestar y que no pueden ser modificados (temperatura, precipitación, pendiente, altitud), estas condiciones deben sustentar en primera instancia el criterio de selección de Caoba de Petén apoyándose de los requerimientos explicados en el presente capítulo, aunado a ello, una herramienta útil a consultar la constituye el mapa de distribución potencial de Caoba, que se encuentra disponible en el sitio web <http://ppm.inab.gob.gt/> (en formato shape).

Después de verificar que el sitio a reforestar cumple con los requerimientos climáticos y fisiográficos para la especie, es prudente analizar los factores edafológicos del lugar, previendo evitar condiciones adversas específicas (factores limitantes) y analizando a detalle la disponibilidad de nutrientes y el pH del suelo, sabiendo que las variables edáficas que explican la productividad de las plantaciones con fines industriales (expresado como índice de sitio) son las descritas en el modelo descrito con anterioridad.

FACTORES LIMITANTES: La caoba de Petén no crece bien en suelos degradados o compactados. La principal limitante en el uso de la especie es su susceptibilidad al barrenador *Hypsipyla grandella*, que produce bifurcaciones y forma del fuste deficiente.

En el marco de un programa de manejo integrado de plagas, es esencial tomar en cuenta que, aunque la caoba puede crecer, sobrevivir y reproducirse en sitios de baja calidad, esto no significa que tales sitios sean adecuados para su producción comercial. Como señala Hauxwell (2001 citado por Alvarado y Leiva 2012), la selección de sitios bien drenados y con fertilidad natural media a alta, constituye un paso pertinente en esta especie, que ayuda la plantación a soportar un eventual ataque del barrenador.

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 Caoba de Petén 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).

El 38.96% 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, pH y pendiente del terreno; Petén, Alta Verapaz e Izabal son los tres departamentos con mayor área potencial (45.29%, 12.51% y 10.63% respectivamente), abarcando más del 65% del área potencial del país; en cuanto a la relación que existe entre el área potencial para la especie y las existencias de plantaciones forestales por departamento, Zacapa, Guatemala y Alta Verapaz son los departamentos donde se ha aprovechado mejor la aptitud de la especie (0.16%, 0.14% y 0.07% respectivamente). En el mapa puede observarse la coincidencia entre los puntos de presencia registrados y el área de distribución potencial.

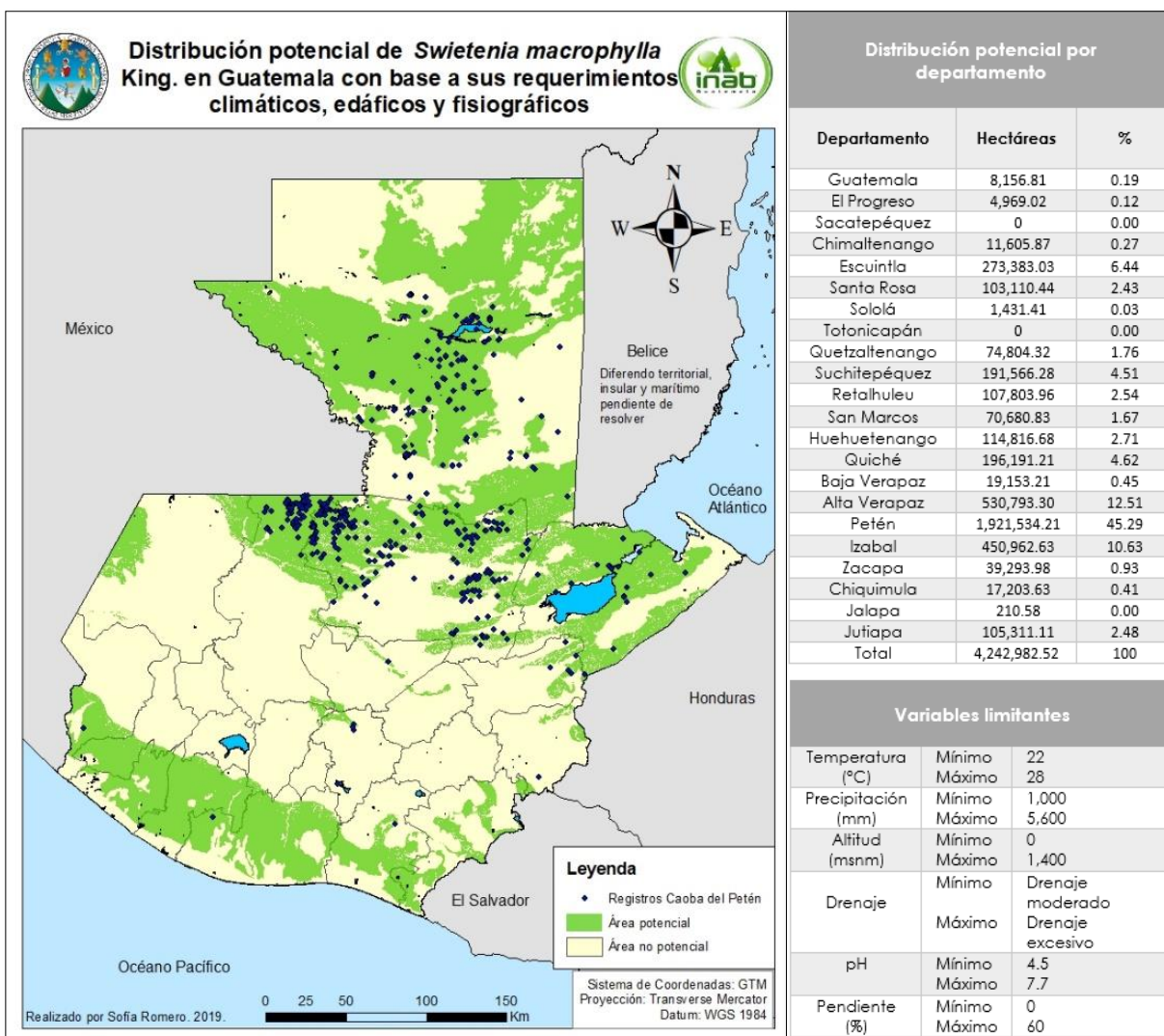


Figura 14. Mapa de distribución potencial de *Swietenia macrophylla* King en el territorio de Guatemala. (Fuente: Romero, 2019).

Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie

Basado en Cordero y Boshier (2003), Wightman et al. (2006), Alvarado y Leiva (2012), Hilje y Cornelius (2001), Castañeda (2013)

Swietenia macrophylla crece mejor en zonas bajas, con precipitación media anual de 2000-4000 mm, distribuidos uniformemente o con una estación seca no mayor de 4 meses, temperatura media anual de 24-28°C. El máximo crecimiento se obtiene en suelos profundos, fértiles, húmedos, bien drenados y con pH neutro a ligeramente alcalino. Crece mejor en sitios de pendiente suave y en suelos francos o franco-arcillosos.

Aunque la caoba de Petén tolera mejor las deficiencias nutricionales, no se recomienda como opción para recuperar sitios sobre cultivados y degradados cuyos suelos estén muy compactados, tengan poca materia orgánica o son muy poco profundos. También deben evitarse los sitios con suelos someros, muy ácidos y drenaje deficiente.

Es preferible plantar en terrenos planos o con pendientes moderadas, y suelos de texturas intermedias. En regiones más secas, los suelos arenosos deberían evitarse. Además, 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 encimar los plántones).

Es una especie relativamente resistente a vientos. En sus etapas jóvenes es muy sensible a incendios, mientras que los árboles maduros resisten mejor y se puede usar el fuego controlado para reducir la competencia y crear condiciones favorables para la regeneración. La caoba presenta adecuada adaptabilidad para ser plantada en sistemas agroforestales multiestrato.

Ejemplos de buena o mala elección

Basado en Wightman et al. (2006), Castañeda (2013), Hilje y Cornelius (2001), Ward y Lugo (1998)

En el departamento de Ucayali (Amazonia peruana), se ha observado mejor crecimiento de la caoba en sistemas agroforestales establecidos en sitios cercanos a los ríos (en terrazas medias y bajas); allí, el crecimiento del DAP de los árboles ha sido de 1 a 2 cm por año.

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 caoba en fajas de enriquecimiento de bosques y bosques secundarios, a condición de que se haga en ellas un mantenimiento continuo en que, sobre todo, se permita la entrada de suficiente luz.

En varios países no se planta caoba 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, observación confirmada en Ixcán-Lachua en Guatemala por Castañeda (2013).

En Hacienda Río Dulce, Izabal, Guatemala, los propietarios pretenden la certificación de sus unidades productivas, esto ha permitido la innovación utilizando un programa de manejo integrado de plagas –MIP-. El MIP enfatiza los aspectos de prevención, coexistencia con la plaga, y sostenibilidad económica y ecológica. Su aplicación ha permitido el crecimiento de DAP promedio de 16.7 cm en 4 años, correspondientes a 4.2 centímetros de incremento anual en árboles que no presentan daños por el barrenador del brote.

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.

Ward y Lugo (1998) coinciden en la importancia de la selección de los sitios para plantaciones para lograr mayor reducción real en el nivel de ataque del barrenador, y enfatizan en la necesidad de mejorar los conocimientos acerca de los requerimientos de sitio detallados de la caoba de Petén.

6. Producción de plántulas y genética

Diversidad genética y procedencia

Basado en Ramírez et al. (2012), Navarro y Hernández (1999), Novick et al. (2003), Alcalá y Gutiérrez-Granados (2011), Trujillo-Sierra et al. (2013), Ward y Lugo (1998), Hilje y Cornelius (2001)

Existen pocos estudios acerca de la diversidad genética de las poblaciones de caoba en Guatemala. Ramírez et al. (2012) identifican 3, los tres realizados por el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) en el marco de evaluaciones de la diversidad genética de la caoba en Centro América y México. En total se colectaron 92 progenies desde México hasta Panamá en todos los países del istmo, excepto El Salvador, provenientes de 33 poblaciones, que para Guatemala fueron Bethel, Bio-Itzá y Tikal, en Petén.

Una evaluación de la diversidad genética y la estructura de la población basado en el uso de micro satélites evidencia una fuerte estructura filogeográfica en la caoba mesoamericana. Las poblaciones de México, Belice y Guatemala conforman un grupo que se diferencia de las poblaciones del Atlántico sur de Nicaragua y Costa Rica, y marcadamente de las poblaciones de las costas del Pacífico de Costa Rica y Panamá. La historia biogeográfica ha desempeñado muy probablemente un papel de lo más importante en la estructuración de las poblaciones de caoba en Mesoamérica.

Las poblaciones de caoba que pertenecen al grupo norteño (México, Belice y Guatemala) mantienen bajos niveles de heterocigosis y altos coeficientes de endogamia, comparados con otras poblaciones de la especie en Centro y Suramérica, comportamiento que se explica por ubicarse en el límite norte de la distribución de *Swietenia macrophylla*.

Hay mayor variabilidad entre progenies dentro de poblaciones que entre poblaciones, lo que indica la presencia de caracteres con altas heredabilidades, la existencia de variabilidad genética aditiva y la habilidad de la especie para responder a la selección natural. En particular, heredabilidad y coeficiente de variación genética aditiva fueron altos para el crecimiento en altura y diámetro, lo que abre la posibilidad de obtener ganancias genéticas considerables. Al inverso, no se encontró variación aditiva ni heredabilidad con la resistencia a la palomilla *Hypsipyla grandella*, medida mediante presencia o no de ataques del barrenador. Ward y Lugo (1998) habían encontrado el mismo resultado negativo, lo que les hizo preguntarse acerca de la validez del interés en seguir buscando procedencias de árboles resistentes al ataque.

En vez de árboles resistentes a la plaga, parece más promisorio buscar mediante la selección genotípica individuos que puedan crecer rápidamente y tiendan a responder al ataque de *H. grandella* con apenas un rebrote (o unos pocos): es la estrategia de mejoramiento propuesta por Hilje y Cornelius (2001).

Es interesante hacer notar que hay progenies en los primeros y últimos lugares de los diferentes países, lo que indica que hay una variación muy importante dentro de las poblaciones y que se podría iniciar programas de mejoramiento a escala local, utilizando un buen rango de individuos dentro de las poblaciones.

Lo anterior indica que no haya variación entre poblaciones, y es importante tomar en consideración las condiciones ambientales del sitio a reforestar para elegir la correcta procedencia. Considerando la alta variación encontrada dentro de las poblaciones estudiadas es urgente su conservación y el uso de las mismas en programas de reforestación o agroforestales. Una de las áreas más importantes para su conservación es el Parque Nacional Tikal, en Petén, Guatemala.

Rodales semilleros

Basado en el Registro Nacional Forestal de Guatemala, Castañeda y Cabrera (2006), Cabrera (2006), Hernández (2004)

Las fuentes semilleras de la caoba de Petén inscritas en el Registro Nacional Forestal y con estado activo, ascienden a tres hasta el 19 de enero de 2019, (bajo el nombre científico *Swietenia macrophylla*) son las siguientes:

Tabla 1. Descripción de las fuentes semilleras de la especie caoba de Petén, inscritas en el Registro Nacional Forestal de Guatemala.

Registro	Departamento	Municipio	Finca	Bosque	Área [ha]
**FS-1100	Petén	San Francisco	Ejido municipal de San Francisco	natural	6
**FS-1110	Alta Verapaz	Chisec	Parque Nacional Laguna Lachua	natural	20
*FS-1128	Quiché	Ixcán	Santa María Tzeja	natural	31
**FS- 1159	Alta Verapaz	Cobán	s/n	natural	0.32

Fuente: Registro Nacional Forestal, INAB 2019 (* Fuentes seleccionadas inactivas y ** fuentes seleccionadas activas)

En Lachuá, Castañeda y Cabrera (2006) caracterizaron la composición florística arbórea del bosque natural fuente, seleccionaron, marcaron y geo referenciaron 21 árboles de caoba como árboles semilleros, que midieron y observaron para describir el calendario fenológico de la especie. Cabrera (2006) completó a 28 el número de árboles semilleros en esta población, número que se acerca más al número recomendado de árboles semilleros en una población fuente semillera de caoba (30, ver acápite siguiente).

Además, el BANSEFOR (Banco de semillas forestales) del INAB, maneja fuentes semilleras de caoba de Petén en Santa Elena, Santa Ana y Uaxactún en el departamento de Petén, y El Estor en el departamento de Izabal.

Si bien Uaxactún está pegado al Parque Nacional Tikal, llama la atención que la población de caoba de Tikal no haya sido incorporada a las fuentes semilleras controladas de *Swietenia macrophylla* en Guatemala, a pesar de su reconocido valor regional.

Un criterio importante y básico para el éxito de una plantación, es que **la semilla debe provenir de rodales o fuentes semilleras cercanas**, ya que aunque no se tenga documentado, es coincidente en campo encontrar buenos crecimientos provenientes de semillas de árboles padres cercanos, en comparación de semilla proveniente de otras regiones, aunque se ubique dentro de la mismo rango de distribución natural.

Semilla

Descripción

Basado en Niembro (2010), Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000), Hernández (2004), Navarro 1999

Samaroides, abultadas en la base, de 7 a 12 cm de largo y de 2 a 2.5 cm de ancho, incluyendo el ala, de color marrón y lustrosa. Cuando el fruto madura y se seca, las 4-5 valvas de la capsula se abren desde la base. Las semillas quedan entonces expuestas y colgando por las alas en el centro del fruto. Un fruto contiene (22) 35-45 (71) semillas aladas.

Existe una relación aproximada de (1300) 1,800-2,500 semillas por kilogramo, con porcentaje de germinación del 80 al 95%, y porcentaje de pureza del 91 al 99%.



Figura 15. Semilla de caoba *Swietenia macrophylla* King recolectada en Finca Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.

Recolecta

Basado en Cordero y Boshier (2003), Castañeda y Cabrera (2006), Utrera (2010), Hernández (2004), Niembro (2010), Navarro (1999), Cabrera (2006), Wightman et al. (2005), Wightman et al. (2006), Snook y López (2003), Salazar et al. (2000), Martínez (2015)

CALENDARIO DE RECOLECCIÓN (EN GUATEMALA): La floración y fructificación varían con la localidad, principalmente relacionadas con la época seca. La floración coincide con la formación de hojas nuevas, al final de la época seca y comienzos de la lluviosa. Los frutos maduran en 10-12 meses (Cordero y Boshier 2003). Los vientos secos favorecen la apertura del fruto maduro y la dispersión de la semilla alada.

En el Parque Nacional Laguna Lachuá, Guatemala, la caoba de Petén se defolia desde principios del mes de marzo hasta finales de abril, según los años, y después de un mes pueden observarse hojas nuevas. Inicia su floración desde principios del mes de abril hasta finales de mayo. La producción de frutos es anual e inicia a principios de junio. La maduración tarda aproximadamente de 6 a 7 meses (Castañeda y Cabrera 2006), y la caoba alcanza la maduración de sus frutos entre diciembre y marzo.

En Guatemala, el período de colecta es de febrero a marzo. La dispersión total de la semilla se da en los últimos días de marzo y abril, por medio del viento, alejando la semilla hasta 200 metros del árbol semillero. Navarro (1999), ha encontrado una variación entre árboles semilleros dentro de las mismas áreas de producción de hasta un mes. En la mayoría de las áreas de Belice, el período de colecta también es de febrero a marzo.

En los Estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, en México, el árbol florece de abril hasta junio y los frutos maduran de enero hasta marzo del año siguiente. Los frutos maduran durante la estación seca, cuando el árbol comienza a perder parte de su follaje y el aire cálido seca los frutos y promueve la dehiscencia. Los frutos se recolectan antes de que abran las valvas, desde enero hasta marzo.

En plantaciones forestales, la caoba de Petén puede florecer y comenzar a producir semilla a los 10-12-15 años de edad.

EVALUACIÓN PREVIA A COLECTAR FRUTOS: Antes de la recolecta de frutos se deben seleccionar y marcar los árboles semilleros. BANSEFOR recomienda que sean árboles dominantes de diámetro superior a 75 cm; fuste recto, cilíndrico y que no tenga el hilo en espiral; copa de diámetro pequeño y balanceada; ramas cortas y ángulo de inserción en el fuste de 90°; sin afectación por enfermedades ni plagas. 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).

El mejor momento para la recolección es justo antes de que las cápsulas se abran y dispersen las semillas. La madurez ideal para la colecta se da cuando las cápsulas están casi maduras (color café claro a café oscuro) y el pedúnculo se desprende fácilmente, algunos Indicadores son: fácil apertura de la cápsula al ser golpeada contra una superficie dura, la presencia de frutos abiertos en el árbol o la caída de las valvas del fruto y semillas.

La cantidad de semillas producida varía considerablemente de un árbol a otro y de año con año, probablemente en respuesta a las condiciones de crecimiento. Sin embargo, a excepción de uno que otro año cuando se desarrollan solamente unas pocas frutas, la caoba de Petén puede clasificarse como una productora de abundantes semillas (Bauer y Francis 2000).

Aves como loros se alimentan de sus frutos inmaduros (cápsulas), lo que hace que los frutos caigan del árbol y que la cantidad de frutos que llega a la madurez final sea relativamente poca.

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; alguna herramienta con la que se debe contar es: una vara de aluminio de 4.5 metros de largo con un gancho tipo S en el extremo y un machete.

El escalador corta los frutos teniendo cuidado de no dañar las ramas. Los árboles a los que se le han cortado ramas para cosechar los frutos, no recuperan su capacidad de producción en muchos años. Los frutos se transportan en sacos de yute o pita.

RENDIMIENTO: En la recolección, un escalador con experiencia puede cosechar aproximadamente 1.7 sacos con fruto por día con el apoyo de otra persona. La producción de frutos varía de 125 kg a 148 kg por árbol. Los rendimientos usuales varían de 3.8 a 4.5 kg de semilla por árbol.

Acondicionamiento

Basado en Hernández (2004), Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000), Niembro (2010)

POSTMADURACIÓN DE LA FRUTA: Los frutos se dejan secar a la sombra, dispersos sobre lonas o en cajas de madera con base de malla metálica, en un lugar seco, cubierto y bien ventilado, hasta por cinco días para que las cápsulas se abran naturalmente en un proceso lento a partir del segundo día.

SECADO DE LA FRUTA: Después se pueden poner al sol por periodos de hasta cuatro horas diarias durante tres días.

EXTRACCIÓN DE LA SEMILLA: La semilla se extrae en forma manual. Las capsulas que no han abierto se golpean sobre una superficie dura para remover las valvas. Se friccionan las semillas manualmente para desalarlas (las alas se rompen 1 cm encima de su base).

SECADO DE LA SEMILLA: La semilla se asolea nuevamente por 4 (7) horas.

LIMPIEZA DE LA SEMILLA: Se trata de eliminar las impurezas, como serían trozos de frutos, ramas, hojas y semillas abortivas, se remueven usando cedazos, un ventilador de casa o un soplador de columna vertical.

RENDIMIENTO: El rendimiento de un saco con fruto es de 2 kg de semilla. En promedio, un árbol produce de 3.8 a 4.5 kg de semilla.

Conservación y viabilidad

Basado en Cordero y Boshier (2003), Wightman et al. (2006), Salazar et al. (2000), Román et al. (2012), Hernández (2004)

Las semillas son ortodoxas y conservan su poder germinativo hasta por (seis) siete u ocho meses almacenadas a temperatura ambiente en bolsas de papel. Secadas hasta un contenido de humedad de 3-(4)-7%, y almacenadas en bolsas o botes plásticos herméticamente sellados, las semillas conservan su viabilidad por cuatro años refrigeradas a 4°C, y hasta por ocho años a 3°C.

Hernández (2004) reporta la conservación de semillas 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 Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000)

La caoba de Petén no requiere tratamiento pre-germinativo.

Producción de plantas

Métodos de propagación

Basado en Cordero y Boshier (2003), Negreros-Castillo et al. (2005), Snook et al. (2005a), Salazar et al. (2000), Wightman et al. (2006), Román et al. (2012), Bauer y Francis (2000), Niembro (2010), Navarro y Hernández (2001), Teni (2007).

La caoba de Petén puede reproducirse por semilla o vegetativamente. Sin embargo, la propagación común es por siembra directa en contenedores (p.ej. bolsas plásticas). Además, la siembra directa en campo es una práctica conocida que se utilizó regularmente en Belice entre 1920 y 1960 con semilla enterrada, aunque el establecimiento de plántulas de caoba a partir de semillas sembradas puede ser inseguro.

Propagación sexual

La producción de la caoba de Petén en vivero es sencilla: sin requerir ningún tratamiento previo, las semillas pueden sembrarse en camas germinadoras para repique posterior o directamente en eras o bolsas, en un lugar ligeramente sombreado y sustrato con buena humedad.

Aunque se han utilizado profundidades de siembra de hasta 8 cm, lo más recomendable es enterrar las semillas a 2-3 cm en el sustrato, ya sea acostada o vertical, con el lado del ala hacia arriba, que es como la semilla está adaptada a germinar en forma natural (Cordero y Boshier 2003). Wightman et al. (2006) coinciden en cuanto a la posición de siembra de la semilla: acostada o preferiblemente con el lado del ala hacia arriba, pero Niembro (2010) discrepa y recomienda disponer las semillas con el ala hacia abajo y la base apuntando hacia arriba, lo que ayudaría a la germinación y disminuiría la formación de raíz "cola de cerdo".

Bajo condiciones favorables, la germinación comienza a los 10 días de la siembra y continúa por 20 días. La germinación se considera completa 6 semanas después de sembradas. La germinación se ve influenciada por: (1) la edad de las semillas (las semillas frescas germinan con mayor rapidez, todas germinan después de unos 15 días) y en un mayor porcentaje (frecuentemente, hasta un 90 por ciento), (2) la profundidad de la siembra (la profundidad generalmente recomendada es de justo debajo de la superficie del sustrato) 2 a 3 (5) cm), (3) la estructura del suelo (los suelos bien drenados son los mejores), y (4) la provisión de humedad (deberá ser abundante).

Cuando aparecen las primeras hojas, las plantitas están listas para el repicado a bolsas o en eras, para la producción de pseudoestacas o plantas a raíz desnuda. Justo después del repicado requieren sombra fuerte (70%), para reducirla a un 30% al cabo de una semana y exponerlas a plena luz a las 3-4 semanas.

PLANTAS A RAÍZ DESNUDA: Después de una primera etapa de vida en germinador, las plantitas se repican a espaciamientos de 15 x 20 cm en eras, para la producción de plantas a raíz desnuda.

Cuando se provee condiciones como: luz plena, un suelo bien drenado y una provisión abundante de agua, el crecimiento es rápido y las plántulas alcanzan una altura de 60 a 90 cm en 6 meses.

PLANTAS EN BOLSAS: Para la siembra directa en el envase, se coloca 1-2 (2-3) semillas por bolsa. Las plantitas en bolsa están listas para llevar al campo a los cuatro (5-6) meses cuando miden 30-50 cm de altura. En el caso de sistemas agroforestales, se recomienda llevar al campo árboles con una altura aproximada de 60 cm cuando el café o cacao está pequeño y de 80 cm cuando el cultivo perenne tiene varios años de establecido (según 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 caoba son bolsas de polietileno negro de (8) 10 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.

Cuando se siembra directa a bolsa, el proceso de germinación no es uniforme, lo que implica alto porcentaje de remoción de las bolsas para clasificarlas, aumentando considerablemente los costos de producción. Por tal razón, Teni (2007) sugiere hacer inicialmente germinadores para reproducir la caoba del Petén. En la ecoregión Lachuá, se recomienda poner las semillas a germinar a partir del mes de mayo para un trasplante a campo definitivo en septiembre. En México, las semillas deben plantarse en marzo para asegurar que las plantas estén listas para establecerse en campo al inicio de la estación lluviosa, en julio.

PSEUDOESTACAS: Después de una primera etapa de vida en germinador, las plantitas se repican a espaciamientos de 15 x 20 cm en eras, para la producción de pseudoestacas. Se puede preparar la pseudo-estaca, una vez que la planta haya alcanzado un diámetro al cuello de la raíz de al menos 2 cm (de manera práctica, se dice que debe tener el diámetro del dedo pulgar); se recorta con 15-20 cm de tallo y 20-40 cm de raíz.

Sin embargo, Wightman et al. (2006) advierten que las pseudoestacas de caoba no dieron buenos resultados de supervivencia ni de crecimiento en plantaciones experimentales, y recomiendan producir plántulas en bolsas u otros contenedores.

Propagación asexual

ESTACAS: Aunque estudios antiguos (Burgos 1954, citado por Bauer y Francis 2000; De Vastey 1962, citado por Zanoni 1975; Zanoni 1975) indican que, con condiciones ambientales adecuadas, la especie puede propagarse por estaca, los resultados presentados no son alentadores, y no existe a la fecha un protocolo sólido para la reproducción de la caoba del Petén mediante estacas.

Cordero y Boshier (2003) afirman que la especie puede propagarse vegetativamente mediante estaquitas juveniles enraizadas, pero sin dar mayores detalles acerca del método.

PROPAGACIÓN IN VITRO: Cordero y Boshier (2003) señalan que la caoba de Petén puede propagarse vegetativamente mediante cultivo in vitro, sin indicar el protocolo experimental.

Sustratos en vivero

Basado en Wightman et al. (2006), Alvarado y Leiva (2012), Navarro y Hernández (2001), Teni (2007), INAB (sistematización de experiencias 2018)

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 compost debe utilizarse con cautela, porque tuvo efectos negativos en almácigos experimentales, en México. También en México, la fertilización de suelos comunes utilizados como sustratos no provocó una respuesta importante en el crecimiento de las plántulas. 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 ecorregión 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. Si la tierra negra ya contiene arena en el porcentaje adecuado, no es necesario agregarle.

De acuerdo con la experiencia 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 Detruire¹⁶ 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 Soil¹⁷, ha demostrado que proporciona vigor y promueve el crecimiento de las plantas.



Figura 16. Producción de vivero forestal de caoba de Petén con base a productos biológicos y fertilización a base de compuestos orgánicos en San Francisco, Petén, Guatemala.

¹⁶ Producto obtenido a través de fermentación biológica controlada, a base de bacterias y levaduras productoras de ácidos orgánicos a partir de oligosacáridos y polisacáridos. Formulado para el control de hongos del suelo.

¹⁷ 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%

7. Establecimiento de plantaciones

Comportamiento ecológico de la especie

Basado en Bauer y Francis (2000), Snook y López (2003), Schulze y Whitacre (1999), López (1999)

NATURALEZA DE LA ESPECIE: La caoba de Petén es una especie intolerante que no puede sobrevivir bajo sombra densa. Bajo un dosel forestal tropical denso, las plántulas que germinan por lo general no logran sobrevivir por más de unos pocos meses. El crecimiento más rápido se alcanza bajo plena luz solar con protección lateral. Las plántulas responden rápidamente a la liberación de la vegetación terrestre baja y la apertura del dosel superior.

En su estudio de la vegetación arbórea del Parque Nacional Tikal, Schulze y Whitacre (1999) caracterizan a *Swietenia macrophylla* King como una colonizadora de claros grandes, generalista de las partes bajas del paisaje, absolutamente intolerante a la sombra, pero altamente tolerante a una amplia gama de condiciones extremas de humedad del suelo.

En los bosques estudiados, es relativamente común encontrar parches en las partes más altas del paisaje (lomas y colinas) que son dominadas por especies emergentes demandantes de luz tales como *Swietenia macrophylla*. En estas áreas, las especies debajo del dosel superior son especies tolerantes a la sombra, típicas de estos bosques, pero no existe regeneración natural de las especies demandantes de luz. A menos que se dé un gran disturbio que permita la regeneración de estas especies, desaparecerán en un futuro las especies actuales dominantes del dosel como la caoba.

Sin embargo, en las partes bajas del relieve (sabal, bosque transicional, bajo medio), la caoba es capaz de regenerarse en ausencia de grandes disturbios. Las poblaciones de caoba pueden expandirse y contraerse alrededor de las tierras bajas en intervalos de varios cientos de años y además ser estable en grandes áreas y en largos periodos de tiempo. Las plantaciones de caoba reciclan los nutrientes de manera eficiente y mantienen casi tantas especies del sotobosque como los bosques secundarios adyacentes.

COMPORTAMIENTO RADICULAR: La caoba produce una raíz pivotante vigorosa desde la etapa de plántula. Desarrollando muchas raíces laterales finas que se engruesan de manera gradual para formar un extenso sistema radical lateral. Los árboles de mayor edad desarrollan contrafuertes de pequeños a medianos. Las raíces laterales de los árboles de gran tamaño se ven expuestas sobre el terreno por un metro o más en los sitios muy húmedos y en los suelos arcillosos.

Instalación

Basado en Wightman et al. (2006), Cordero y Boshier (2003), Snook y López (2003), Argüelles et al. (2005), Juárez (2016), Hilje y Cornelius (2001), Navarro y Hernández (2001), Prado (2006), Negreros-Castillo et al. (2005), Alvarado y Leiva (2012), Snook et al. (2005b), Snook et al. (2005a), INAB (sistematización de experiencias 2018)

El aspecto más importante en el manejo de una plantación de caoba tiene que ver con una plaga provocada por *H. grandella*. Cómo controlar esta plaga al menor costo, aunado al valor excepcional de la especie, conllevó a probar plantar la especie caoba en todos los ambientes posibles, desde condiciones de cultivo agrícola hasta bajo dosel protector del bosque alto.

Anteriormente se discutió sobre la aptitud de la especie y su respuesta a distintos arreglos puros, mixtos o agroforestales; el enfoque de la instalación de la especie debe estar orientada a una estrategia de manejo integrado de *H. grandella*, ya que, nuevamente resalta el problema con el barrenador del brote y de allí la importancia de realizar un adecuado manejo de plagas, cuya reflexión durante la sistematización de experiencias, permite sugerir un tratamiento biológico preventivo desde el vivero, a través de la inoculación de *Metarhizium*, con el objetivo de proteger la planta durante las primeras semanas en campo definitivo, independientemente del arreglo (puro, mixto, agroforestal, entre otros) en consistencia con los objetivos perseguidos por el silvicultor y el proyecto.

PLANTACIONES PURAS: Generalmente no son recomendables en esta especie, especialmente en áreas donde se esperan ataques severos del barrenador. Sin embargo, experimentos en Quintana Roo, México, demuestran que la caoba se establece y crece bien en aperturas relativamente grandes (superficies alrededor de 5000 m² — 1/2 ha) que fueron abiertas con maquinaria o por roza, tumba y quema. En dichas aperturas la regeneración de la caoba sea ésta natural, de semilla sembrada o de plántulas, es favorecida, siempre y cuando se establece poco después de abrir las aperturas.

En San Francisco, Petén, Guatemala, Juárez (2016) considera la plantación pura “Pilonos de Antigua” un proyecto exitoso, susceptible de aportar lecciones enriquecedoras a silvicultores que deseen familiarizarse y plantar *Swietenia macrophylla*, aunque esta opinión debe ser tomada con precaución, ya que el crecimiento observado es apenas “medio” según el monitoreo realizado por el departamento de Investigación Forestal del INAB (resultado probable de una mala elección del sitio: antiguo potrero, con suelo ácido y compactado).

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 la caoba no soporta estar encimada por la copa de las otras especies.

SISTEMAS AGROFORESTALES: La caoba también puede establecerse en combinación con cultivos agrícolas anuales o perennes (café, cacao). 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. En Quintana Roo, México, se establecieron con éxito plantaciones experimentales mediante el sistema “taungya” (en combinación con cultivos agrícolas). 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.

PLANTACIONES DE ENRIQUECIMIENTO EN BOSQUES PREEXISTENTES: Quizás es el tipo de plantación de la caoba 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 la caoba a lo largo de las franjas. Por lo general, se respetan árboles vigorosos y de buena forma de otras especies valiosas que ocurran a lo largo de la franja.

En Quintana Roo, México, prevalecieron entre 1950 y 1983 las plantaciones de enriquecimiento bajo dosel protector. Este consistía en abrir brechas paralelas de 1.5 m de ancho con dirección E-O y sembrar una planta cada 2-3 m. Nunca se reforestaba en las áreas de corta; por el contrario, la plantación se establecía en áreas de fácil acceso, en zonas aledañas a las carreteras federales y caminos rurales. Durante las últimas décadas, varios estudios han comprobado en forma amplia y científica lo inútil de plantar la caoba bajo el dosel del bosque y lo exitoso de plantarla en aperturas de tamaño adecuado. Así, se ha observado que las plantaciones de enriquecimiento en pistas de arrastre y huecos al pie de tocón no han tenido éxito (Argüelles et al. 2005).

En una plantación bajo dosel protector alto establecida en la zona de la sábana de Petén, Guatemala, con edad de 7 años, Prado (2006) determinó que los crecimientos tanto en diámetro como en altura total de la caoba se estancaron (4 mm y 30 cm por año respectivamente), mientras que, en condiciones mixtas, la especie alcanzó incrementos medio anuales de 17 mm DAP y 109 cm altura total.

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 caoba 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, Guatemala, y documentada por Prado (2006): a diferencia del caso bajo dosel alto anteriormente citado, este experimento parece muy positivo después de 6 años, quizás por la facilidad de asegurar plena iluminación vertical sobre los árboles de caoba.

Pero, antes de decidirse por un sistema e iniciar el establecimiento de una plantación, "controle a consciencia la calidad del sitio para *Swietenia macrophylla*": un mal sitio incidirá negativamente en la capacidad de la caoba de reaccionar con vigor al ataque de la palomilla y proporcionar los productos y objetivos comerciales perseguidos.

PREPARACIÓN DEL TERRENO: Tome en consideración el efecto positivo de preparar el terreno (laboreo) para mejorar las condiciones de estructura del suelo, el cual ha sido determinante para garantizar que las raíces se desarrollen hacia abajo y a los lados, facilitando además el ingreso del agua de lluvia y con ello el crecimiento inicial en la planta. Recuerde que una raíz sana y vigorosa proveerá alimento para que la planta crezca en altura; principal interés si deseamos reducir las preocupaciones por las plagas y lograr fustes aprovechables a una mayor altura.

En el norte de Guatemala, Belice y Quintana Roo, México, se emplean diferentes maneras de preparar el terreno previo a la siembra de caoba: 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; 3) preparación mecánica: se derriba la vegetación con tractor de oruga y se acumula en las orillas de la parcela (con la posibilidad de ejecutar además un arado superficial y una escarificación profunda con un subsolador); o 4) no hacer nada.

Un experimento diseñado para comparar estos cuatro métodos determinó que la preparación mecánica (3) y el método agrícola tradicional (1) propician una supervivencia de las plantas de caoba mucho mayor (Negreiros-Castillo et al. 2005). Esto se debe a que, con estos dos métodos, se reduce considerablemente la competencia subsiguiente causada por los rebrotes, los cuales se controlaron efectivamente mediante la quema y el desarraigo mecánico de la vegetación previa. A pesar de resultados similares entre los dos métodos, es importante considerar que el método que se escoja sea el menos perjudicial para el suelo, especialmente evitar que puedan modificar su grado de acidez o alcalinidad; así mismo, durante la preparación del suelo es prudente iniciar los labores de monitoreo y combate de plagas, por ejemplo, el combate del zompopo *Atta spp.*

En San Francisco, Petén, Guatemala, la preparación del terreno para la plantación "Pilonés de Antigua" incluyó un arado superficial para roturar - oxigenar el suelo de un antiguo potrero, y conformar surcos con camellones de 30 cm de alto. El movimiento más o menos profundo de suelo compactado por el pisoteo del ganado es un método usado –y absolutamente necesario– para poder utilizar potreros para la siembra de caoba, a pesar de que son sitios "no" adecuados para tal fin. Más bien, Snook et al. (2005) opinan que los campos de cultivo creados por medio de la técnica de roza-tumba-quema, son áreas muy favorables para la regeneración de la caoba que debieran aprovecharse más para introducir la especie. Otras experiencias con caoba en potreros confirman la necesidad de profundizar el movimiento del suelo hasta 50 centímetros de profundidad utilizando subsolador, para facilitar la movilidad (filtración) del agua de lluvia, evitando así el exceso de humedad al que ha demostrado susceptibilidad la caoba durante los primeros años.

En la Finca Hacienda Río Dulce la preparación de suelo incluye la realización de enmiendas en el suelo 15 días antes del establecimiento de la plantación¹⁸, que consiste en la aplicación en el fondo del agujero donde se colocara la planta, de 8 a 16 onzas de cal (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 cada aplicación.

La caoba requiere de aperturas grandes para crecer bien, por lo menos 500 m², pero idealmente 0.5 ha y más. El crecimiento de la caoba responde de forma positiva a la cantidad de luz disponible y de forma negativa a la competencia, si los individuos de otras especies se establecen antes que las plántulas de caoba. La competencia más fuerte proviene de plantas originadas en rebrotes, ya que estas tienen raíces bien desarrolladas. Es por lo tanto esencial preparar el terreno de una manera que logra impedir la regeneración de otras especies por rebrotes (tratamiento mecánico y de quema), las plántulas de caoba compiten bien con la regeneración de otras especies que logran establecerse a partir de semillas. Por esta razón, es esencial sembrar o plantar la caoba a campo definitivo lo más pronto posible después de tener listo el terreno.

¹⁸ De acuerdo con la experiencia de la Finca Hacienda Río Dulce, aunque la época de siembra en el sitio es de junio a agosto (máximo septiembre), las actividades de siembra, incluyendo la preparación del terreno inicia en el mes de julio.

MÉTODOS DE SIEMBRA: El material vegetativo que se utiliza en la plantación es básicamente semilla o planta en bolsa. La semilla, preferiblemente de procedencia comprobada, se entierra 1 cm en el suelo. Cada punto se marca con una estaca y alrededor de ésta se siembran tres semillas más o menos en forma triangular (5 cm entre semilla y semilla).

No se recomienda depositar simplemente la semilla sobre el suelo: el entierro mejora la germinación. Un kilo de semilla de caoba contiene aproximadamente 2000 semillas que se podrían llevar fácilmente a lugares poco accesibles donde se quiere promover la regeneración de caoba. En Petén, dos de los tres proyectos sistematizados por Juárez (2016) usaron la siembra directa de semillas para establecer la plantación.

Sin embargo, los niveles de supervivencia son muy bajos si se comparan con la siembra de plántulas de caoba bajo las mismas condiciones ambientales. Estudios en Quintana Roo, México, confirmaron que el establecimiento de plántulas de caoba a partir de semillas sembradas puede ser inseguro: hubo casos donde ninguna semilla germinó, debido, posiblemente, a la intensa radiación solar directa sobre la semilla y/o por falta de lluvia.

No obstante, plántulas en bolsa tienen sus desventajas: el costo de producción es generalmente alto y el transporte potencialmente complicado. Además, con frecuencia la plantación no se hace con el cuidado necesario.

DISTANCIAMIENTO DE SIEMBRA: El espaciamiento "convencional" es de 3 por 3 metros, aunque se han establecido plantaciones desde 2 m entre árboles, y hasta 6 m entre filas.

En plantaciones de enriquecimiento de bosques, las franjas están espaciadas a 10-12 m entre sí, y se planta la caoba a lo largo de las franjas, típicamente a espaciamientos de 2-5 m, dependiendo de la intensidad de manejo que se pretenda dar a la plantación; espaciamientos menores requerirán raleos en menor tiempo. Espaciamientos mayores se usan en sistemas agroforestales (ver más adelante).

MEZCLA CON OTRAS ESPECIES: Para crear una sombra lateral educadora de la caoba, pueden establecerse plantaciones mixtas con otras especies arbóreas que tengan abundante follaje, como la leucaena o guaba *Leucaena leucocephala*, que proporcionarán ingresos a menor plazo, en tanto se completa el turno comercial de la caoba. Pero cuidado, existe el mismo problema que con las plantaciones en faja: si el rodal acompañante cierra el dosel encima de la caoba, esta verá su crecimiento estancarse totalmente.

La gran mayoría de las plantaciones ejecutadas en el marco del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR) son plantaciones mixtas: quizás es por un deficiente control de la luz que muchas muestran un crecimiento pésimo (tema ampliado en ejemplos de buena y mala elección, en el tema "aptitud forestal-agroforestal"). Otra posible mezcla se da en sistemas agroforestales, tema que se trata más adelante.

FERTILIZACIÓN INICIAL: El requerimiento de fertilización inicial depende de las propiedades del suelo de la plantación. En Petén, Guatemala, los tres proyectos sistematizados por Juárez (2016) utilizaron fertilizantes.

Uno de los proyectos evaluados aplicó cal –óxido de Calcio- (CaO) durante el arado para reducir la acidez del suelo (vale recordar que la caoba prefiere suelos alcalinos a neutros). Luego, los tres aplicaron a cada plántula un fertilizante para estimular su crecimiento inicial, uno mediante fertilizantes fosfatados y nitrogenados de alta concentración, los otros dos mediante un abono complejo granular con nitrógeno, fósforo y potasio. La caoba introducida en sistemas agroforestales se beneficia del abono que se da al cultivo agrícola.

Aunque se han mencionado experiencias con fertilizantes aplicados al suelo, como el caso de la Finca Hacienda Río Dulce (Livingston, Izabal, Guatemala) que utiliza roca fosfórica, la mayoría de los casos están basando sus programas de fertilización en fertilizantes foliares bajo la premisa que la disponibilidad y asimilación de los nutrientes es inmediata en comparación con los fertilizantes aplicados al suelo, además, ofrece la ventaja al sincronizarse (por las aplicaciones foliares) con el programa para control de plagas.

En la misma finca, 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 los estomas). Los productos que utilizan son: Onex bio 20, omega fish, maxi grow¹⁹. Las aplicaciones se realizan cada 2 meses durante el primer año y segundo año o hasta que los árboles alcanzan un promedio de 3.5 metros de altura, hasta donde es posible asperjar con las varas telescópicas.

En el caso de la Finca Kampura (Livingston, Izabal, Guatemala), 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/tonel²⁰. 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 ha permitido que las plantaciones puedan lograr promedios de altura de 13 metros en 4 años, que dan sentido a un uso intensivo los primeros 3 años de la plantación, en comparación de utilizar menor intensidad de insumos y tener que realizar aplicaciones por un número mayor de años, aunado a las pérdidas por daños de plagas, sobre lo cual podrían desarrollarse investigaciones específicas que sugieran mayor información.

Es importante hacer énfasis que el cuidado intensivo de los primeros años de la plantación tiene como fin principal que las plantas de caoba alcancen una altura superior a la altura de vuelo del barrenador del brote de las meliáceas, previendo asegurar la producción futura de trozas de primera calidad (sin daño del barrenador), en donde se concentra el valor de las plantaciones establecidas. Una vez el meristemo apical supera la altura de vuelo del barrenador, no significa que la plaga se elimina, sino persiste en la plantación, atacando ramas tiernas (meristemas laterales) en alturas aproximadas de 5 a 6 metros (finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala).

¹⁹ 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

²⁰ 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.

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 Cordero y Boshier (2003), Juárez (2016), Negreros-Castillo et al. (2005), Navarro y Hernández (2001), Jiménez (2012)

La caoba a menudo se establece en combinación con cultivos agrícolas anuales o perennes (café, cacao), a espaciamientos amplios de hasta 15 m x 15 m, dependiendo del cultivo y los objetivos.

En Petén (Guatemala) y Quintana Roo (México), la especie, en plantación pura a espaciamiento "convencional", se asocia con cultivos tradicionales (maíz obligatoriamente, además de a veces pepitoria, frijol, calabaza y chiles) durante por lo menos una temporada, eventualmente dos. Los cultivos tradicionales se siembran después de la primera lluvia. Al tercer año, puede introducirse cacao u otro cultivo agrícola permanente.

En Honduras, un sistema asocia *Inga* spp., con *Swietenia macrophylla* como sombra para café, donde la caoba 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 *Cedrela odorata*, *Cordia megalantha*, *Dalbergia glomerata*, *Guarea grandifolia*, *Hurtea cubensis*, *Hyeronima alchorneoides* o *Swietenia humilis*. Sin embargo, un estudio reciente ha demostrado que, en la zona cafetalera de Honduras, la caoba no tiene un potencial productivo tan promisorio como el cedro, probablemente por razones ambientales.

A continuación se mencionarán casos específicos relacionados con el asocio de café con caoba, sin embargo, como se indicó con anterioridad, los casos sistematizados corresponden a sistema agroforestales de caoba de Petén con cacao, esto debido a que la mayor área plantada con esta especie se encuentra en el área norte y costa atlántica de Guatemala, donde las condiciones son coincidentes con los requerimientos del cultivo de cacao, en comparación con el área potencial en la costa y boca costa del pacífico, donde coincidiría mayormente con café; sin embargo, en estas áreas se encuentra con mayor abundancia la caoba del pacífico *Swietenia humilis*.

Para el caso del asocio de la caoba de Petén con cacao, en la Hacienda Río Dulce se observaron dos escenarios de densidades: (1) la caoba establecida en densidades de 1111 árboles/hectárea, correspondiente a distanciamientos de 3 m * 3 m; (2) la caoba establecida a en densidades de 277 árboles/hectárea, correspondientes a distanciamientos de 6 m * 6 m; en ambos escenarios, el cultivo de cacao posee un distanciamientos de 4 m * 4 m.

En finca Kampura, el primer escenario tiene espaciamientos en caoba de 12 m * 3 m (aunque también acompañan las especies rosúl y madre cacao) y escenarios de 4 m * 4 m, donde coexisten únicamente las especies cacao y caoba de Petén. En ambas fincas, el cultivo agrícola se estableció en paralelo con la plantación de los árboles.



Figura 17. Sistema agroforestal de caoba con cacao a una edad de 4 años, Finca Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.



Figura 18. Sistema agroforestal de 4 años de edad con, rosúl, madrecaao y cacao en asocio con caoba de Petén (arreglo de 12*3 metros), Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.

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 600 árboles por hectárea. Nótese que son relativamente muy pocos árboles si se compara con la reforestación tradicional (1111 árboles/hectárea); por esto, debe 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 la caoba con distanciamientos de siembra ordenados de 3×3 m o 6×6 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 plantar 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, plantar 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 antes del establecimiento (evitar contacto directo con las raíces). Otro cuidado que se debe tener a la hora de plantar los árboles es que el pilón²¹ 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.

EFECTO 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 establecerlo 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 siembra de los árboles.

²¹ Término utilizado para referirse a la porción de tierra con raíces que se retira del envase del vivero para plantarse en campo definitivo.

8. Silvicultura de plantaciones

Control de malezas

Basado en Juárez (2016), Cordero y Boshier (2003), Wightman et al. (2006), Snook y López (2003), Snook et al. (2005b) y sistematización de experiencias (2018).

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 espalda), 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 de caoba.

CONTROL BIOLÓGICO. El establecimiento casi simultáneo de caoba y cultivos tradicionales, como maíz, por ejemplo, abarata 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, 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*.



Figura 19. Uso de cultivo de cobertura para manejo y control de malezas, Hacienda Rio Dulce, Livingston, Izabal, Guatemala.

Es importante mencionar 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 el cultivo de cobertura radica en que la 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 de la caoba 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.

Más, si las condiciones iniciales para la regeneración son las adecuadas (terreno preparado mecánicamente o mediante roza, tumba y quema), limpiar las plántulas de caoba (quitar la vegetación a su alrededor) no es necesario para estimular su crecimiento, y por el contrario, realizar la limpieza puede provocar un enorme incremento del ataque de *Hypsipyla*. Donde se deja crecer la vegetación que resulta de la regeneración natural de otras especies alrededor de las plántulas de caoba, el ataque por la palomilla "no" es significativo.

Pero, el fomento y desarrollo de cualquier rodal acompañante se revelará positivo, "solamente si se asegura que los arbolitos de caoba ¡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 las caobas. En sistemas de enriquecimiento del bosque se debe controlar el crecimiento de lianas y bejucos, que prosperan vigorosamente en estos ambientes y pueden dañar seriamente los árboles.

Poda

Basado en Cordero y Boshier (2003), Wightman et al. (2006), Hilje y Cornelius (2001), Jiménez (2012), Juárez (2016), INAB (sistematización de experiencias 2018)

PODA DE FORMACIÓN. *Swietenia macrophylla* produce una copa muy angosta durante los primeros años, que tarda en cerrar el dosel. La especie muestra una autopoda bastante satisfactoria, sobre todo en sistemas con sombra lateral, pero en espaciamientos amplios, la especie tiende a desarrollar una copa baja que deja un fuste corto. Los árboles plantados para aserrío deben podarse para asegurar un fuste único, largo y limpio de ramas, pero se debe dejar follaje suficiente para el buen crecimiento del árbol.

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.

De acuerdo con información proporcionada en dicha finca, hasta el momento pretenden producir fustes limpios, mínimo de 12 metros limpio (libre de nudos) realizando podas hasta lograr dicha altura, una vez logrando dicha altura, dejar que el árbol desarrolle su copa, pudiendo continuar las podas hasta metas más ambiciosas, ya que la experiencia les ha demostrado que el árbol responde positivamente a dicho estímulo. No está de más agregar que la calidad del sitio permite la meta propuesta, debido a que sitios con crecimientos marginales podrían limitar las expectativas.



Figura 20. Árboles de caoba de seis (izquierda) y cuatro (derecha) años de edad podados anualmente, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala. (Altura estimada en 12 metros)

La altura de los árboles de la figura 20 es el resultado del sitio con un manejo silvicultural intensivo, incluyendo manejo de plagas, combinado con podas de formación, lo cual proporciona las condiciones para el desarrollo en altura.

PODA SANITARIA. La caoba es atacada por una palomilla nocturna *Hypsipyla grandella*. Esta palomilla 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 sanitaria controla las ramas secundarias” producidas como resultado del ataque de *Hypsipyla*.

En una plantación de caoba, 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.

Durante la sistematización de experiencias se logró observar como realizaban esta poda de sanidad tiempo después del ataque de la plaga, cuando las ramas son gruesas, pero en ningún caso debe perderse la oportunidad de rescatar la inversión en los árboles. “Si usted no las aplica, es muy probable que su plantación de caoba nunca tenga un valor comercial”.

En la figura 21 se muestran imágenes de la poda manual realizada con machete, cuyo procedimiento inicia desde la preparación del instrumento de corte, principalmente la desinfección, pasando por la preparación de los lazos para los estribos con que se escala el árbol, hasta la realización de los cortes necesarios para dejar solamente uno de los ejes (el mejor) y rescatar el potencial maderable del árbol. Esta actividad concluye con la aplicación de un sellador a base de cobre, que puede consistir también en cal con sal o tapacil, el cual es aplicado en todas las heridas provocadas con una brocha.



Figura 21. Poda manual con machete en árbol de caoba dañado por barrenador del brote, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.



Figura 22. Aplicación de tapacil (sellador) a las heridas provocadas por la poda, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.

Raleo

Basado en Wightman et al. (2006), Lamb (1966) citado por Martínez (2015), Juárez (2016), Fuentes (2014), Jiménez (2012).

La caoba crece rápidamente, en muchos casos, hasta 2 metros de altura por año en los primeros años. Si se planta con un espaciamiento "convencional" y en un buen sitio, el primer raleo se haría normalmente a los 4 o 5 años de edad de la plantación (Wightman et al. 2006).

En condiciones favorables, *S. macrophylla* alcanza la madurez (cortabilidad natural), entre los 45 y 50 años. Si no fue plantada a espaciamiento muy amplio, habrá que realizar los primeros aclareos entre el año 6 y 10 y continuarlos progresivamente. A los 20 años se recomienda mantener unos 400 árboles/ha, teniendo cada árbol 25 m² de espacio vital; a los 35-40 años deben quedar en pie unos 200 arb/ha, con un área de 50 m²/árbol. Al final del turno de 45 años pueden quedar para la corta final 200 arb/ha (Lamb 1966 citado por Martínez 2015).

En Petén, Guatemala, ninguno de los tres proyectos sistematizados por Juárez (2016) había ejecutado un raleo todavía (a pesar de que uno ya tenía siete años de edad, pero mostraba un crecimiento medio). Las únicas intervenciones recibidas por los rodales fueron cortas sanitarias de los árboles enfermos, torcidos y muertos. 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).

El problema para el producto de las primeras intervenciones es su mercado. En su estudio de los productos de raleos en plantaciones de 7-9 años de *Swietenia macrophylla* y dos latifoliadas más en la eco región Lachuá, Fuentes (2014) constató que, aún para las dimensiones que calificaban como trocillas (diámetros entre 10 y 25 cm), todos los raleos tuvieron que ser vendidos como leña.

Para el caso de la Finca Kampura, Livingstón, Izabal, Guatemala, las primeras plantaciones con distanciamientos de 4 m* 4 m (625 arb/ha) se ralearon hasta los 8 años de edad, cuando los árboles adquirieron dimensiones adecuadas para el mercado, mientras tanto, la competencia intraespecífica fue manejada a través de la poda, la que a su vez estuvo sujeta a los requerimientos del cultivo agrícola (cacao).

Aprovechamiento final

Basado en Cordero y Boshier (2003), Bauer y Francis (2000)

En el bosque natural los árboles requieren 60-100 años para alcanzar un tamaño comercial, mientras que en plantaciones pueden hacerlo en 30-50 años. En el Bosque experimental de Luquillo, Puerto Rico, el Servicio Forestal estatal proyecta un turno de 40 a 60 años para la caoba.

9. Manejo de plagas y enfermedades

Sin lugar a duda, 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; y 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 (Bauer y Francis 2000).

A pesar de la aptitud sobresaliente de la caoba 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 de la caoba de Petén *Swietenia macrophylla* 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 o 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 caoba en Guatemala / reportado por el SIFGUA	Sosa (2009)
Viruela, mancha foliar	<i>Cercospora</i> sp.	Patógeno	Follaje	Afecta hojas maduras / 100% de individuos afectados en una plantación en Petén / reportado por el SIFGUA.	García (2006)
s/n	<i>Phyllachora</i> sp.	Patógeno	Follaje	Afecta hojas maduras, causando defoliación prematura y retraso en el crecimiento de la planta / encontrada en Mazatenango, Suchitepéquez.	García (2006)
Mancha foliar	<i>Pestalotia</i> sp., y <i>Pestalotiopsis</i> sp.	Patógeno	Follaje	Patógeno oportunista débil, severidad baja / incidencia entre 25-50 % de los individuos / encontrado en plantaciones en Livingston, Izabal y Petén.	García (2006), Soto (2002), Arguedas (1997)
s/n	<i>Glomerella</i> sp.	Patógeno	Follaje	Incidencia fortuita / encontrado en Livingston.	Soto (2002)
s/n	<i>Hysterographium</i> sp.	Patógeno	Corteza de fuste y ramas	Epifito o parasito facultativo, poblador regular del ecosistema local / decoloración de la corteza, que acaba por desprenderse, sin que se haya comprobado patología en el árbol / incidencia 75% de los individuos en plantaciones jóvenes / encontrado en Livingston	Soto (2002)

Cáncer	<i>Nectria</i> sp.	Patógeno	Corteza de ramillas, ramas y fuste	Porciones de corteza se resquebrajan, se crea una fisura en la madera, hasta matar ramas / incidencia fortuita / encontrado en Livingston.	Soto (2002), Arguedas (1997)
Descortezador, barrenador del líber	<i>Scolytodes</i> spp.	Insecto COL	Corteza	Ataca árboles vivos, debilitados por factores ambientales, creando sistema de galerías ubicadas en el líber / puede abarcar todo el perímetro del fuste provocando marchitez, defoliación y por último, muerte / reportado en I ha por el SIFGUA.	Hilje et al. (1991)
Termitas o comején		Insecto ISO	Madera del tronco, desde el suelo hacia arriba	Atacan al tronco en su interior donde desarrollan su colonia y construyen su nido, creando túneles de salida de los adultos, que parecen como protuberancias (chiporras) en la corteza del fuste comercial / incidencia en los árboles mayores a 50 cm de DAP / afectan más árboles en bosques bajos (invierno con agua excesiva - verano extremadamente seco)	Godínez (2010)

Fuente: elaborado con base en los Informes anuales de plagas 2006-2015 del SIFGUA (<http://www.sifgua.org.gt/Plaga.aspx>), García (2006), Soto (2002), Sosa (2009), Godínez (2010), Hilje et al. (1991), Arguedas (1997).

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 está aún succulento. El daño es ocasionado por la babosa es descortezar principalmente la base de la planta, realizando un anillado que resultó fatal para varios árboles hasta que se logró su control.

El caso fue reportado en El Chal y San Francisco, Peten, Guatemala, donde la problemática fue abordada de distinta forma. En el caso de El Chal, 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 Molux²², que es un producto granulado que se aplicó sobre el suelo alrededor de la base del árbol, donde las babosas por la acción sistémica debido a la ingestión fueron muriendo, lográndose el control de esta plaga.

²² 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.



Figura 23. Tallo de caoba de dos meses de edad con cicatrices del daño ocasionado por babosa común (no identificada), El Chal, Petén, Guatemala.



Figura 24. Daño del minador en el haz de la hoja de caoba con distintos grados de severidad, en finca particular de San Francisco, Petén, Guatemala.

Durante la sistematización de experiencias (2018), se observó en plantación ubicada en San Francisco, Petén, Guatemala, que las plantas de caoba presentaban daño del minador de la hoja, es importante mencionar que la altura de la planta medía 1.25 m en promedio y mediante recorrido de campo se determinó que no existía ningún daño del barrenador de los brotes en la planta, esto debido al control biológico que se aplica en dicha finca; sin embargo, una significativa proporción de la plantación presenta daño del minador en el haz de las hojas, en distintos grados de severidad.

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. Posibles ataques de *Hypsipyla grandella* se controlan con la aplicación de un insecticida.

De forma preventiva un vivero ubicado en San José Petén, Guatemala, realiza al menos una inoculación con productos a base de *Metarhizium*, como por ejemplo el nombre comercial Specific Meta²³; con lo que las plantas se mantienen completamente libres de daños por barrenador, además que estas aplicaciones previenen y proporcionan protección a las plantas contra la presencia del barrenador del brote en campo definitivo.



Figura 25. Raíz de planta de caoba en vivero, con posibles colonias de *Metarhizium* en San Francisco, Petén, Guatemala.

²³ Es un insecticida biológico compuesto por esporas del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* para el control de insectos.

Plagas y enfermedades en plantaciones

Basado en Hilje y Cornelius (2001), FAO (2007), Hilje et al. (1991), Arguedas (1987), Caal (2007), Juárez (2016), Jiménez (2012), Sosa (2009), INAB (sistematización de experiencias 2018).

García (2006) y Soto (2002) reportan patógenos que afectan el follaje o la corteza, pero sin detallar prácticas de control.

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 Meliáceas (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 unas plantaciones de caoba del municipio de Cobán (Alta Verapaz, Guatemala), 50% de los cerca de 14 mil individuos diagnosticados estaban atacados, y 13% muertos (Caal 2007).



Figura 26. Brote de caoba con daños ocasionados por la larva del barrenador del brote *Hypsipyla grandella*, Finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.

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 27. 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 a 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 haz 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 se alimenta 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 15 a 30°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 plaga 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 los sembríos; árboles de tres meses a catorce 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* 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.

Un programa de manejo integrado de plagas (MIP) combina varios métodos para mantener la plaga del barrenador de las meliáceas a niveles que no causen pérdidas de importancia económica, sin provocar serios perjuicios ambientales ni humanos. El MIP enfatiza los aspectos de prevención, coexistencia con la plaga (permitiéndole convivir, pero sin que su daño sea fuerte) y sostenibilidad económica y ecológica (uso de métodos eficaces, que dejen ganancias económicas, y que no perjudiquen al ambiente ni a la gente).

Un buen programa de MIP enfatiza las componentes de tipo preventivo, priorizando las prácticas silviculturales, el control biológico, el control etológico y el mejoramiento genético. De acuerdo con la información proporcionada en Finca Hacienda Río Dulce (Livingston, Izabal, Guatemala), que 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 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.

Otras experiencias basan el MIP únicamente en la nutrición y control correctivo, aunque este último con frecuencias o intervalos muy cortas para que cumpla con una funcionalidad preventiva, como en el caso de la Finca Kampura (Livingston, Izabal, Guatemala).

Los casos específicos se estarán desarrollando dentro de los componentes, incluyendo la experiencia de una finca particular en San Francisco, Petén, Guatemala, con el control biológico basado en el uso de organismos benéficos y que el tema de la nutrición ya ha sido abordada ampliamente con anterioridad.

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 caoba de Petén, 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. A pesar de que estos temas fueron tratados en su capítulo técnico respectivo, 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 disuasivos. 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.

Aunque los extractos crudos de hombre grande y ruda, así como los productos comerciales a base del nim, podrían aplicarse directamente a la parte aérea del árbol, 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 caoba en el municipio de Concepción las Minas (Chiquimula, Guatemala), Sosa (2009) estudió la susceptibilidad de la plaga *Hypsipyla grandella* a extractos de semilla de nim, y confirmó que el insecticida orgánico ValleNim35 EC²⁴ 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 la Finca 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 (Forafos²⁵) 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 (etílico e isopropílico²⁶) al 80%
 - 150 cc de melaza + 50 cc de alcohol (etílico e isopropílico) al 80% + Propolio²⁷
 - 150 cc de melaza + 50 cc de alcohol (etílico e isopropílico) al 80% + feromona
 - 150 cc de melaza + 50 cc de alcohol (etílico 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: 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.

La experiencia de la finca es la utilización de 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.

²⁴ Sosa, A. 8 jun. 2017. Insecticida usado en la investigación de grado (correo electrónico).

²⁵ Insecticida organofosforado que actúa por contacto, ingestión e inhalación. En los insectos altera el sistema nervioso al inhibir la acción de la enzima acetilcolinesterasa.

²⁶ Se utiliza alcohol isopropílico en época de lluvia y alcohol etílico en época seca

²⁷ 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 28. Trampa biológica para el control etológico del barrenador del brote en una finca de Izabal, Guatemala. (Fotografía proporcionada por Wenner Mejía).

Control químico: el uso de insecticidas para el 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 (Livingston, 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 de la plantación, 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. Las aplicaciones se realizan cada semana durante el primero 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.



Figura 29. Fustes únicos y rectos de Caoba de 4 años, en finca Kampura, Livingston, Izabal, Guatemala.

Un caso interesante se observó en una finca particular en El Chal, Peten, Guatemala, donde han estado haciendo aplicación de insecticida cada mes, pero aún se observan daños significativos ocasionados 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 avispidas, 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 caobas 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 establecida en una 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. 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-selective²⁸ y *Bacillus* con el nombre comercial Invasione²⁹, los cuales contribuyen al control de hongos como el *Fusarium* y *Phytophthora*, entre otros.

El tratamiento³⁰ se complementa con la inoculación de organismos para el control de defoliadores como el minador, utilizando un extracto vegetal de nombre comercial BH110³¹ y finalmente, para el control del barrenador se utilizan productos a base de *Metarhizium*, como el de nombre comercial Specific Meta³².

Con base en las experiencias del técnico de la finca, su 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.

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.

²⁸ 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.

²⁹ Fungicida biológico formulado por varias cepas de bacterias benéficas como *Bacillus subtilis* y *Bacillus* ssp., las cuales funcionan como competidoras contra hongos foliares.

³⁰ El costo promedio del tratamiento biológico estimado por el técnico Ángel Ibarra es de Q 11.55 (1.5 dólares americanos) al año.

³¹ Es un insecticida natural orgánico constituido por alcaloides naturales con esqueleto de benzofeantridina y benzoisoquinolina así como saponinas oleanólicas. Posee acción contra larvas de *Spodoptera frugiperda*

³² Es un insecticida biológico compuesto por esporas del hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* para el control de insectos.

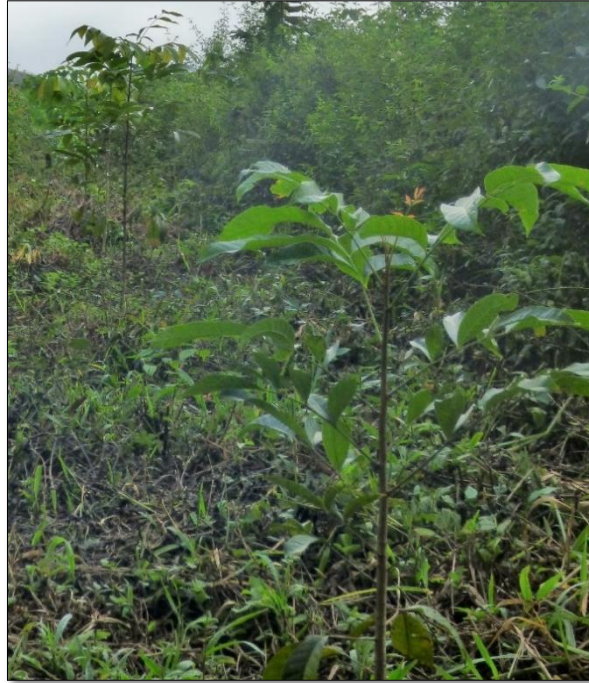


Figura 30. Plantación de caoba de un año de edad, sin daños aparentes por barrenador del brote, con tratamiento de control biológico, San Francisco, Petén Guatemala.

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 caoba 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, Guatemala, son un secreto celosamente guardado por los técnicos responsables de las plantaciones de caoba.

Vigilancia forestal

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

Wightman et al. (2006) sugieren supervisar una plantación de caoba 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, Guatemala) consideran clave el monitoreo de la plantación, para proteger los árboles de ataques de la polilla barrenadora. Su estrategia es contratar a personal en la época de invierno (lluvias), 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.

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 la caoba de Petén. El tema del manejo forestal sostenible de caoba en bosques naturales latifoliados no está por lo tanto considerado en esta revisión bibliográfica. Los siguientes documentos aportan elementos de interés en el campo de manejo:

- 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 (Petén, Guatemala), 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.

Pero el Programa de Incentivos forestales del INAB incentivaba, a finales del 2015, el manejo de regeneración natural de 8 ha de caoba de Petén. Este hecho justifica el desarrollo en este capítulo de elementos técnicos para apoyar esta actividad.

Manejo de regeneración natural

Basado en Negreros-Castillo et al. (2005), Argüelles et al. (2005), Snook et al. (2005a), Snook et al. (2005b)

“La semilla de caoba germina adecuadamente bajo sombra; sin embargo, las plantas que resultan no sobreviven bajo el dosel debido a los reducidos niveles de luz”. Esta afirmación no sólo se basa en datos experimentales, también la práctica así lo sustenta. Quince años después de iniciadas las plantaciones de enriquecimiento en las áreas de aprovechamiento anual, el grupo campesino del Ejido Noh Bec (Quintana Roo, México) hizo observaciones de campo para evaluar qué había pasado en las áreas reforestadas. Se encontró que en las pistas de arrastre y en los claros de tumba al pie de tocón, el dosel se había cerrado y, por consiguiente, las plantas de caoba habían muerto o no se habían desarrollado. Por el contrario, en las bacadillas el éxito era evidente: los árboles de caoba crecían, formando un bosque coetáneo o en mezcla con otras especies. Este aspecto conllevó a tratar de determinar el tamaño mínimo del claro requerido para asegurar la supervivencia de la caoba en desarrollo. Bajo el dosel, el 95% de las plántulas de caoba mueren en cinco años, mientras que en aperturas de 500 m² o más sobrevive el 50%.

El crecimiento es más variable que la supervivencia. Las plántulas crecen más en aperturas más grandes, y crecen el doble cuando se instalan poco después de crear la apertura, en comparación con las que se instalen un año después. "El crecimiento de la caoba responde de forma positiva a la cantidad de luz disponible y de forma negativa a la competencia, si los individuos de otras especies se establecen antes que las plántulas de caoba". La competencia más fuerte proviene de plantas originadas en rebrotes, ya que éstas tienen raíces bien desarrolladas.

Es muy importante tomar conciencia de la rapidez del cierre de los claros, por el crecimiento de otras plantas presentes. Ya a los cuatro años, los claros están casi cerrados. Tenga en cuenta que los claros grandes se cierran con la misma o mayor rapidez que los menores. Esto puede deberse a la mayor disponibilidad de luz en los primeros, lo cual favorece el rápido crecimiento de árboles y plántulas ya presentes dentro o alrededor del claro. Algunos de estos pueden ser ramas o árboles quebrados o dañados por la tumba, que rebrotan y crean un nuevo dosel. Aunque este nuevo dosel es menos alto que el dosel original, impide la llegada de luz a las plántulas de caoba.

Cabe notar que las aperturas creadas por el aprovechamiento comercial de madera suelen ser menores a 300 m² (Robinson 1998, citado por Snook et al. 2005b). Por tal razón, el grupo campesino del Ejido Noh Bec (Quintana Roo, México) localiza en la próxima área de aprovechamiento anual los sitios en donde, previsiblemente, habrá cosecha de árboles en grupo. En condiciones reales, ubica aproximadamente unos 15 claros por 100 ha de AAA (Área Anual de Aprovechamiento), con un tamaño promedio de 1800 m² cada uno (rango 900-3150 m²). A continuación, en cada claro se cosechan los árboles que quedaron en pie y se retira el ramaje hasta dejar completamente limpio el sitio. Luego, se planta la caoba a una distancia de 3x3 m; se siembran unos 200 arbolitos por claro (equivalente a 1111/ha). Objetivo: 10 árboles promisorios sobrevivirán y crecerán por claro.

Enseñanzas:

- 1) No tiene sentido pretender manejar, y mucho menos subvencionar, abundante regeneración natural de caoba en pistas de arrastre o en claros al pie del tocón: ¡va a morir!, mejor repicarla en aperturas grandes.
- 2) Las bacadillas abandonadas constituyen buen sitio para introducir la caoba, siempre y cuando se planta la caoba inmediatamente después de no usarla más.
- 3) El método más seguro consiste en acondicionar aperturas grandes, aprovechando lugares donde se cayeron varios árboles (claros entre 35x35 m y 50x50 m), mediante eliminación total de la vegetación todavía existente (sea con tractor forestal o mediante quema), y posterior siembra de la caoba (inmediatamente después de haber acondicionado la apertura).
- 4) El uso de claros más pequeños está condicionado por la necesidad permanente de apertura y control del dosel: es posible, pero requiere labores de mantenimiento que generalmente no se dan.

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 los proyectos de reforestación, el INAB decidió evaluar el crecimiento de la caoba de Petén 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, apoyado por personal de las sub-regiones del INAB, instaló paulatinamente desde el año 2003 un total de 72 Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) en plantaciones de Caoba de Petén establecidas por medio del PINFOR, distribuidas entre las regiones de existencia de la especie (ver mapa con la ubicación de las PPMF en el acápite "Distribución potencial de la especie en Guatemala"). Actualmente, el crecimiento de la caoba de Petén está monitoreado en 24 municipios ubicados en 9 departamentos del país.

Tabla 3. Número de mediciones de PPMF monitoreados por el INAB, en plantaciones de Caoba en Guatemala, clasificadas por la edad de plantaciones y número de mediciones.

Edad de las plantaciones	Número de Observaciones
Edad de 0-5 años	26 observaciones en 11 PPMF
Edad de 5.1-10 años	29 observaciones en 13 PPMF
Edad de 10.1-15 años	31 observaciones en 10 PPMF
Edad de 15.1 y más años	6 observaciones en 2 PPMF
Total general	92 observaciones

Fuente: Departamento de Investigación Forestal del INAB, 2018

Tabla 4. Número de PPMF y especies asociadas, monitoreadas por INAB en plantaciones mixtas con Caoba en Guatemala, clasificadas por el grado de mezcla inicial.

Grado de mezcla inicial de la caoba	No. De PPMF	Especies asociadas [con N>5 en la parcela] (número de parcelas de ocurrencia)
$G_{mezcla} < 50\%$	37	Cedro <i>Cedrela odorata</i> (6); Sanjuán <i>Vochysia guatemalensis</i> (5); Santamaría <i>Calophyllum brasiliense</i> (21); Teca <i>Tectona grandis</i> (2); Jobillo <i>Astronium graveolens</i> (2); Cojoba <i>arborea</i> (1); Laurel <i>Cordia alliodora</i> (1); Cericote <i>Cordia dodecandra</i> (2); <i>Pithecelobium arboreum</i> (7); <i>Pithecellobium sp</i> (1); <i>Pseudobombax ellipticum</i> (4); Palo blanco <i>Tabebuia donnell-smithii</i> (5); Matilisguate <i>Tabebuia rosea</i> (6); Canxán <i>Terminalia amazonia</i> (4); <i>Vatairea lundellii</i> (4); <i>Virola koschnyi</i> (1)
$50 \leq G_{mezcla} < 85\%$	9	Cedro <i>Cedrela odorata</i> (1); Cericote <i>Cordia dodecandra</i> (3); Matilisguate <i>Tabebuia donnell-smithii</i> (5)
$G_{mezcla} \geq 85\%$	26	Varias especies
Total	72	

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, del INAB, 2016

La mayoría de las PPMF ha sido instalada en plantaciones mixtas (2 de 3). Lastimosamente, estas PPMF 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 las caobas?

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 la especie, disturbios que hayan modificado el desarrollo del rodal, ya sean naturales (huracanes, ...) o provocados por el hombre (incendios, ...).

Crecimiento e incrementos

El análisis de la base de datos dasométricos (PPMF de caoba de Petén en plantaciones forestales puras, estado al 31 de diciembre 2017) condujo a diferenciar 5 rangos de productividad, llamadas categorías de sitio (el índice de sitio se determinó a una edad base de 10 años), con base en la altura alcanzada por el rodal y su edad; los análisis de se realizaron con base a 92 mediciones en 24 parcelas permanentes de medición forestal, siendo la PPMF de menor edad de 1 año y la de mayor edad de 20.4 años.

Tabla 5. Categorías de sitio para Caoba de Petén *Swietenia macrophylla* en Guatemala

Categoría de sitio	Rangos de índice de sitio por categoría [m]
Pésimo	<7.30
Malo	7.31-11.00
Medio	11.01-14.70
Bueno	14.71-18.50
Excelente	>18.50

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

A cada categoría de sitio corresponden valores de crecimiento, que constituyen estimadores prácticos de la producción de un rodal en el tiempo.

Tabla 6. Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para *Swietenia macrophylla* 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	0.39	0.30	0.09	0.27
Malo	0.53	0.51	0.17	0.66
Medio	0.73	0.72	0.31	1.63
Bueno	1.00	0.93	0.57	4.14
Excelente	1.37	1.14	1.06	10.50

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018

El cuadro anterior expresa las estimaciones del incremento medio anual para el índice de sitio medio de cada categoría, siendo los valores de 5, 9, 13, 17 y 20 años respectivamente (de pésimo a excelente), con proyecciones hasta 20 años.

El análisis de la base de datos dasométricos (PPMF de caoba en plantaciones forestales puras, estado al 31 de diciembre 2018) permitió definir las siguientes funciones de crecimiento, que transcriben la dinámica de crecimiento de la especie en cada sitio.

Tabla 7. Familia de modelos de crecimiento para caoba de Petén *Swietenia macrophylla* en plantaciones puras en Guatemala.

Variable	Modelo de crecimiento	r ²
Índice de sitio	$=\exp(\ln(H_d)+2.398073*(1/T-0.1))$	0.47
Altura total [m]	$=\exp(\ln(S)-2.398073*(1/T-0.1))$	0.47
Diámetro [cm]	$=\exp(1.724193-2.74867/T+0.0838*S-0.000075*N)$	0.89
Área basal [m ² /ha]	$=\exp(-0.418205-5.392252/T+0.162167*S+0.001469*N)$	0.85
Volumen total [m ³ /ha]	$=\exp(0.351869-7.469184/T+0.24528*S+0.001234*N)$	0.90

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018

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

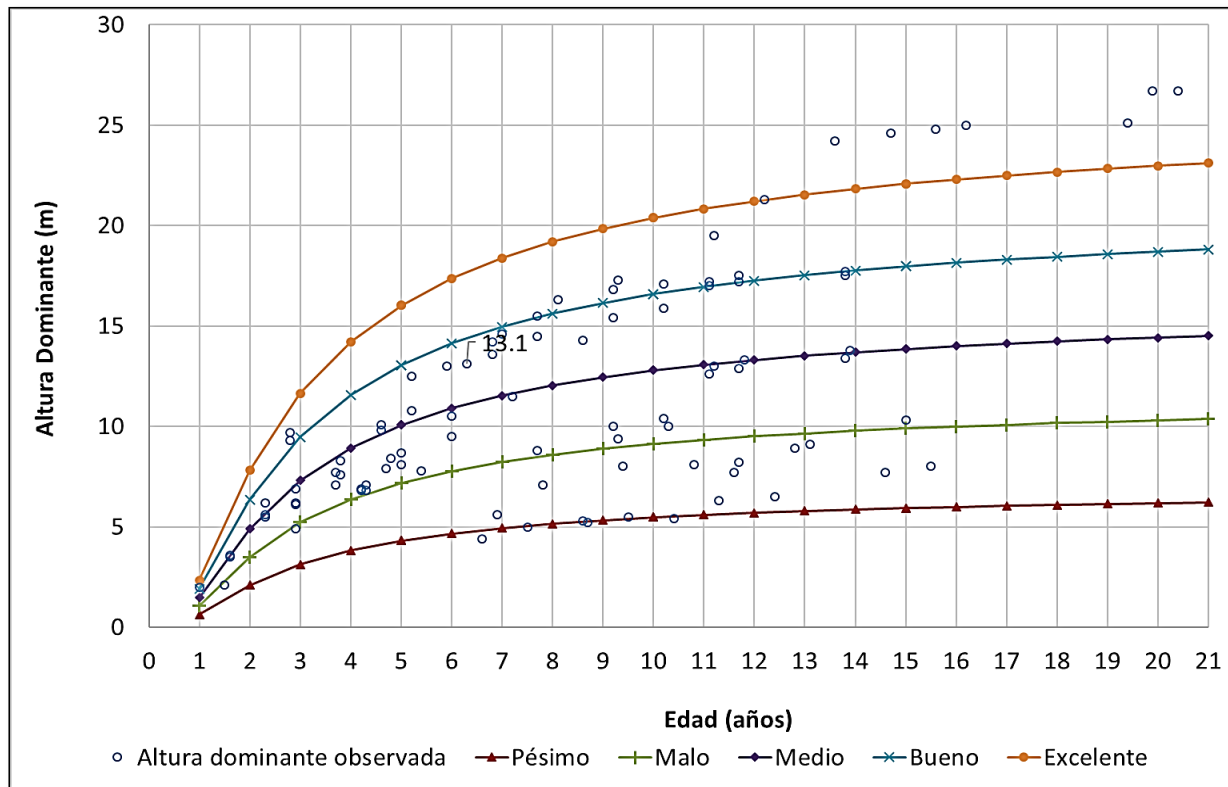


Figura 31. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] para plantaciones de *Swietenia macrophylla* en Guatemala (fuente: Departamento de Investigación Forestal del INAB, 2018).

La figura 31, expresa una realidad en el poco análisis para la selección del sitio, ya que, al observar detenidamente la figura, se puede observar que existen sitios que a los 10 años de edad expresan una altura dominante de 5.1 metros (sitio pésimo) y otros sitios que a los mismos 10 años de edad expresan una altura dominante de 20.10 metros (sitios excelentes), al comparar los parámetros de productividad de ambos sitios, existe una diferencia de 15 metros; la reflexión es que la correcta selección de sitio (variables climáticas, fisiográficas y de suelo; abordado en el tema "Selección de sitio" del presente documento) y el estudio del comportamiento ecológico de la especie, entre otros, son parámetros fundamentales a considerar durante la planificación de las reforestaciones, de esa cuenta, con adecuado y oportuno manejo, tendremos plantaciones exitosas con fines industriales.

Las figuras 31, 32, 33 y 34, ilustran la dinámica de crecimiento de *Swietenia macrophylla*, y se basan en las funciones definidas, y un perfil teórico de manejo del rodal, fijado de la siguiente manera: Densidad inicial de 1111 árboles/ha, que se reduce a 600 árboles/ha al cuarto año producto de un primer raleo de aproximadamente un 45% de intensidad. Esta densidad permanece estable hasta el año siete, donde se realiza un segundo raleo con una intensidad cercana a 35% que deja un remanente de 400 árboles/ha. Este número de individuos se mantiene hasta el año once, momento en el que se realiza un tercer raleo del 25% que deja un remanente de 300 árboles por hectárea para la cosecha final.

El perfil de manejo descrito con anterioridad se definió de forma teórica, este mismo irá adaptándose a las condiciones reales de desarrollo de la especie, en la medida que pase el tiempo y se registren más mediciones de las PPMF. Cordero y Boshier (2003) indican que en plantaciones, los árboles de caoba de Petén pueden alcanzar un tamaño comercial en 30-50 años (40-60 en Puerto Rico).

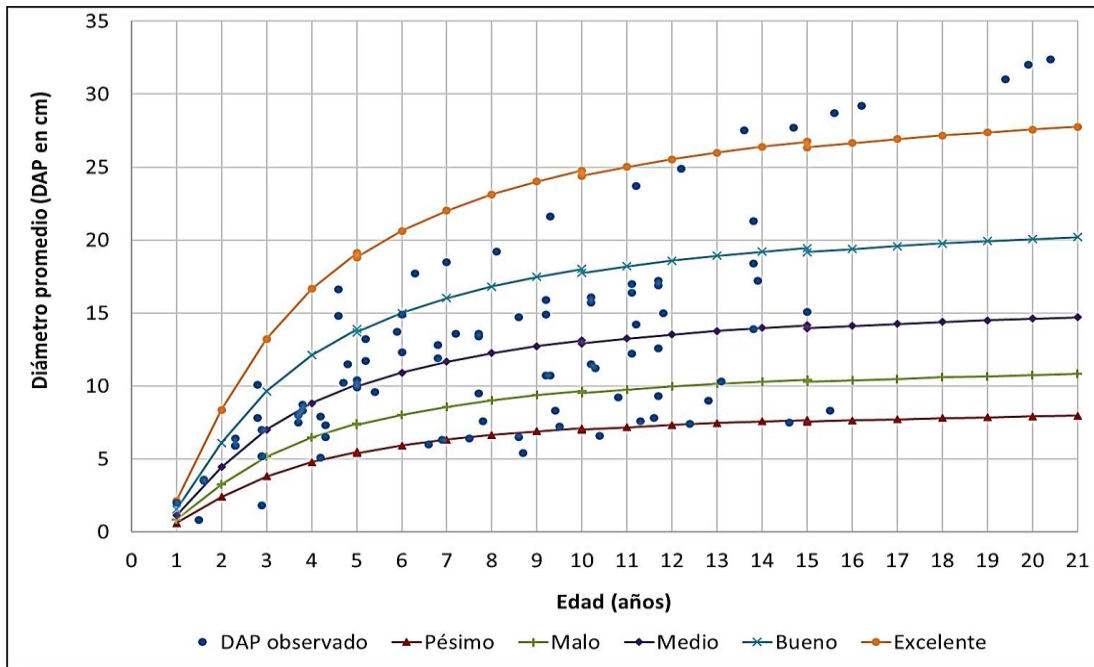


Figura 32. Familia de curvas de crecimiento en diámetro [cm] para plantaciones de *Swietenia macrophylla* en Guatemala (Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2018).

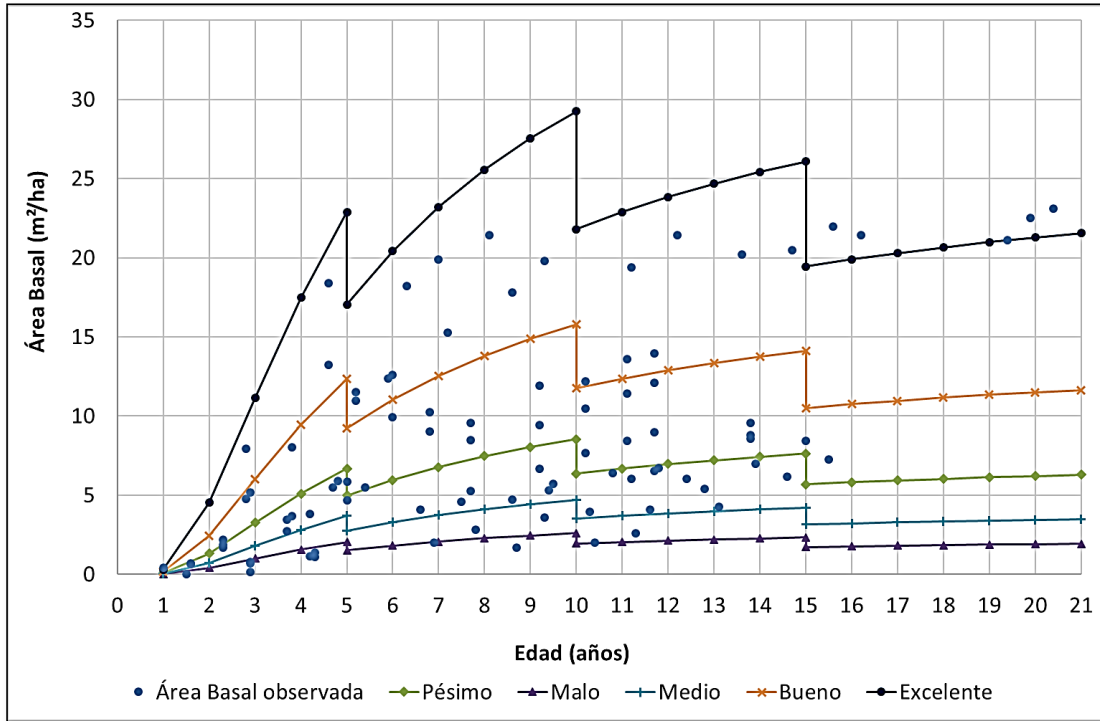


Figura 33. Familia de curvas de crecimiento en área basal [m²/ha] para plantaciones de *Swietenia macrophylla* en Guatemala (fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB 2018)

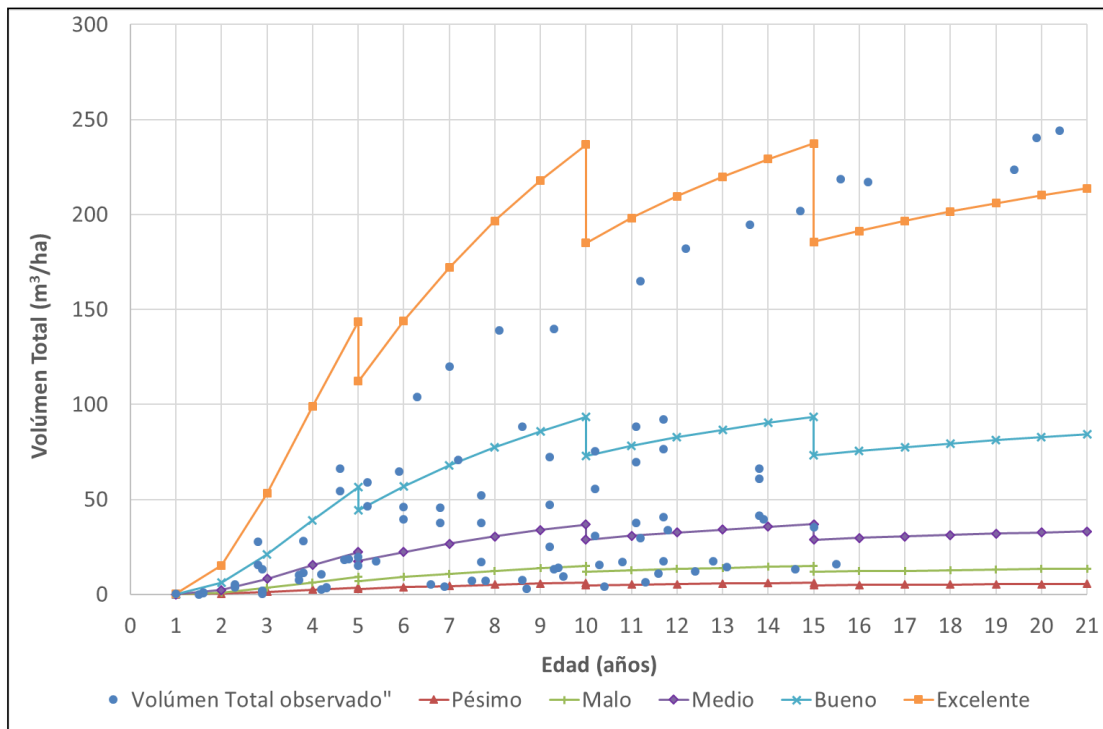


Figura 34. Familia de curvas de crecimiento en volumen total [m³/ha] para plantaciones de *Swietenia macrophylla* en Guatemala (fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB 2018)

Al sustituir el valor de la altura dominante de la última medición de las parcelas permanentes de medición forestal en la ecuación del índice de sitio generada para Caoba de Petén (cuadro 7), se obtuvieron los valores descritos en el cuadro 8, los cuales fueron clasificados por categoría de sitio con base a los parámetros de índice de sitio expuestos en el cuadro 5.

Tabla 8. Estado actual del comportamiento del crecimiento en plantaciones forestales de *Swietenia macrophylla* bajo monitoreo de Parcelas Permanentes de Medición Forestal en Guatemala.

Departamento	Municipio	Finca	Índice de Sitio	Categoría de Sitio
Guatemala	Chinautla	HIDROELECTRICA RIO LAS VACAS	7.35	Malo
Alta Verapaz	Tucurú	Guaxpom	6.13	Pésimo
Alta Verapaz	Fray Bartolomé de las Casas	Rancho Noe	9.51	Malo
Izabal	Livingstón	Hacienda Rio Dulce	23.63	Excelente
Izabal	El Estor	Finca Tablitas	12.90	Medio
Izabal	El Estor	Finca Tablitas	12.54	Medio
Izabal	El Estor	Finca Tablitas	16.57	Bueno
Izabal	El Estor	Finca Tablitas	15.91	Bueno
IZABAL	Livingstón	Río Seja	13.48	Medio
IZABAL	Livingstón	Río Seja	15.36	Bueno
Zacapa	Gualán	La Estrella	9.28	Malo
Chiquimula	Concepción Las Minas	Finca San Jose Las Minas	10.08	Malo
Petén	Santa Ana	Chultunes	10.73	Malo
Petén	Santa Ana	Chultunes	9.36	Malo
Petén	Flores	Finca Virginia	7.43	Malo
Petén	San Francisco	Pilones De Antigua	9.56	Malo
Petén	San Francisco	Pilones De Antigua	9.79	Malo
Petén	San Francisco	Pilones De Antigua	9.44	Malo
Petén	San Francisco	Nabah	8.88	Malo
Petén	San Luis	Prendisa	12.99	Medio
Petén	San Luis	Prendisa	13.38	Medio
Petén	San Francisco	Finca El Ramonal III	13.10	Medio
Retalhuleu	Retalhuleu	Hacienda El Establo La Cuchilla	13.86	Medio
Retalhuleu	Retalhuleu	Tomatales	9.88	Malo

Fuente: Departamento de Investigación Forestal del INAB, 2016

12. Existencias

Herramientas

A pesar de existir en Guatemala ecuaciones volumétricas desarrolladas específicamente para *Swietenia macrophylla*, muchos estudios usan para la especie funciones generales.

Así, para fines de censos, el inventario forestal nacional de Guatemala 2002-03 (FAO 2004) usó para la caoba de Petén las siguientes ecuaciones generales 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):

Ecuación volumétrica general para latifoliadas del Manual técnico forestal (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

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.

f_{1.3} = factor de forma, igual a 0.65 para todas las latifoliadas.

Para fines de monitoreo del crecimiento de *Swietenia macrophylla* 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 2016³³):

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

³³ Hurtado Domingo L. 5-14 set. 2016. Cálculo del volumen en MIRA-SILV (correos electrónicos). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, departamento de Investigación Forestal.

Donde:

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.

f_{1,3} = factor de forma, igual a 0.45 para todas las especies (latifoliadas y coníferas).

El Manual Técnico Forestal del INAB (1999) propone una fórmula específica para estimar el volumen bruto comercial de *Swietenia macrophylla*, basada en un estudio mexicano realizado en Quintana Roo:

Ecuación volumétrica para *Swietenia macrophylla* del Manual Técnico Forestal (INAB 1999)

$$V = 0.0000444909 * (d^2 * h_c)^{1.005447155}$$

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.

h_c = largo del fuste desde el tocón (o encima de las gambas) hasta la base de la copa, en m.

Pero la ecuación tradicionalmente usada en Petén para la caoba, en particular en las concesiones forestales, es la llamada "fórmula de la FAO" (Monroy 2001, Martínez y Trujillo 2011), 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.

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 m.

Martínez y Trujillo (2011) desarrollaron un modelo de estimación del volumen aserrado y diseñaron unas tablas nacionales de conversión volumétrica de madera en rollo en pie a madera aserrada, según las reglas de la NHLA (*National Hardwood Lumber Association*) para la clasificación de madera, las cuales se aplican en el ámbito internacional. Su uso aún no está generalizado.

Modelo de estimación de volumen aserrado de *Swietenia macrophylla* (Martínez y Trujillo 2011).

$$VA = -2.62 + 0.0572 * d - 0.000019 * d^2$$

Dónde: VA = volumen aserrado, en m³; d = diámetro a la altura del pecho (DAP), en cm.

Superficies de plantaciones e inventario de producción actual de caoba

Aunque las estadísticas son amplias, en la presente evaluación se utilizó el registro de plantaciones forestales de los programas de incentivos forestales, a partir de la fecha de plantación correspondiente al año 2000. Desde entonces hasta el año 2018, se han establecido 980.3 hectáreas. El cuadro 8 da mayores detalles acerca de las áreas plantadas en Guatemala con *Swietenia macrophylla*, incentivadas por PINFOR-PROBOSQUE (Programa de Incentivos forestales y, Ley de fomento al establecimiento, recuperación, 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 hectáreas.

Tabla 9. Distribución del área plantada (en hectáreas) de caoba de Petén por departamento y municipio en Guatemala.

Departamento/Municipio	PINFOR-PROBOSQUE (ha)	PINPEP (ha)	Total (ha)
Zacapa	64.33		64.33
Gualán	64.33		64.33
Santa Rosa	9.25		9.25
Barberena	8.35		8.35
Cuilapa	0.90		0.90
Quiché	30.74		30.74
Ixcán	30.74		30.74
Petén	328.96	1.99	330.95
Dolores	23.99		23.99
El Chal	10.44		10.44
Flores	52.02		52.02
La Libertad	31.85		31.85
Las Cruces	5.37		5.37
Poptún	14.70	1.91	16.61
San Andrés	28.03		28.03
San Benito	9.25		9.25
San Francisco	27.09		27.09
San José	15.20		15.20
San Luis	29.48	0.08	29.56
Santa Ana	7.69		7.69
Sayaxché	73.86		73.86
Jutiapa		0.11	0.11
Santa Catarina Mita		0.11	0.11
Izabal	105.71	7.27	112.98
El Estor	29.53		29.53
Livingston	53.27	7.10	60.37
Morales	22.53	0.17	22.70
Puerto Barrios	0.39		0.39
Huehuetenango		1.67	1.67
Santa Ana Huista		1.67	1.67
Guatemala	12.23		12.23
Amatitlán	0.50		0.50
Chinautla	8.12		8.12

San Raymundo	3.61		3.61
Escuintla	10.75		10.75
Escuintla	9.57		9.57
Guanagazapa	1.18		1.18
Chiquimula	2.04		2.04
Concepción Las Minas	2.04		2.04
Baja Verapaz	2.00	5.53	7.53
Cubulco		1.13	1.13
Granados		0.11	0.11
Salamá	2.00	0.43	2.43
San Miguel Chicaj		3.86	3.86
Alta Verapaz	396.08	1.38	397.46
Chahal	14.89		14.89
Chisec	68.59		68.59
Cobán	93.13		93.13
Fray Bartolomé De Las Casas	99.86		99.86
Lanquín	0.25		0.25
Panzós	36.63	0.15	36.78
Raxuhá	7.11		7.11
San Cristóbal Verapaz	0.43		0.43
San Miguel Tucurú	8.03	1.23	9.26
San Pedro Carchá	22.25		22.25
Santa María Cahabón	33.60		33.60
Senahú	11.30		11.30
Total	962.08	17.95	980.03

Fuentes: INAB (Instituto Nacional de Bosques), 2018. Base de datos PINFOR-POBOSQUE (Programa de Incentivos forestales y Programa de Incentivos para la recuperación, establecimiento, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala) 1998-2018. Base de datos PINPEP (Programa de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal) 2007-2017.

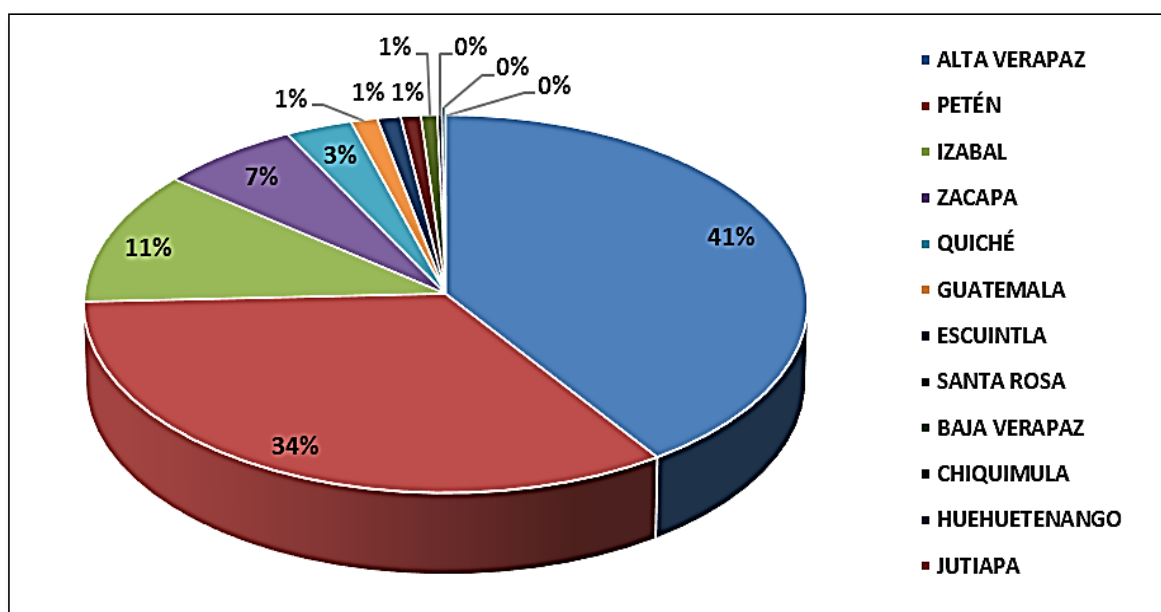


Figura 35. Distribución de área de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento, para la especie de *Swietenia macrophylla* en Guatemala.

El 86% del área plantada se ubica en una zona continua que se extiende desde el municipio de Ixcán (Quiché) hasta el municipio de Puerto Barrios (Izabal), a lo largo de la Franja Transversal del Norte, incluyendo además al valle del Polochic, y de los municipios norteños de Petén (San Andrés, San José y Flores) hasta Gualán en Zacapa. Las plantaciones de *Swietenia macrophylla* incentivadas están en 28 municipios de los departamentos de Petén, Izabal y Alta Verapaz. Además, la caoba de Petén aparece plantada de manera muy dispersa y en pequeñas áreas en la zona sur-oriente del país, desde Chiquimula hasta Escuintla.

El municipio con mayor extensión de plantación de caoba de Petén es Fray Bartolomé de las Casas, con 99.86 ha, seguido por Cobán y Sayaxché, con unos 80 ha, luego por Chisec y Gualán (unos 65 ha cada uno), además de Flores y Livingston (unos 50 ha cada uno).

Complementariamente, La caoba ha sido establecida en plantaciones mixtas (94% del área total). Existen plantaciones puras únicamente en San Luís, Petén (el proyecto más grande de reforestación, con 22 ha, ejecutado por una empresa), San Francisco–Petén (8 ha, también de tipo empresarial), La Unión, Zacapa (el proyecto agroforestal más grande, con 5.5 ha, de tipo individual), y en otros 3 lugares, pero con extensiones menores a 2 ha. La caoba es una especie latifoliada priorizada que aparece en las cuatro modalidades de plantación subvencionada (plantaciones puras, plantaciones mixtas, sistemas agroforestales y manejo de regeneración natural), lo que demuestra en el campo práctico su versatilidad de uso.

Tabla 10. Descripción porcentual del área de proyectos y los rangos de edad actuales en el total de reforestaciones por incentivos en Guatemala, con la especie caoba de Petén *Swietenia macrophylla*. (De mayor a menor área/edad).

Edad (años)	Área de proyectos (ha)	Área de proyectos (%)
17	119.24	12%
18	116.92	12%
16	88.46	9%
1	79.76	8%
11	68.87	7%
19	67.96	7%
9	67.92	7%
12	64.13	7%
15	62.83	6%
14	56.58	6%
10	43.71	4%
6	43.69	4%
13	35.09	4%
4	22.45	2%
8	9.64	1%
2	9.55	1%
5	9.24	1%
7	8.08	1%
3	5.93	1%
Total	980.03	100%

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB 2018

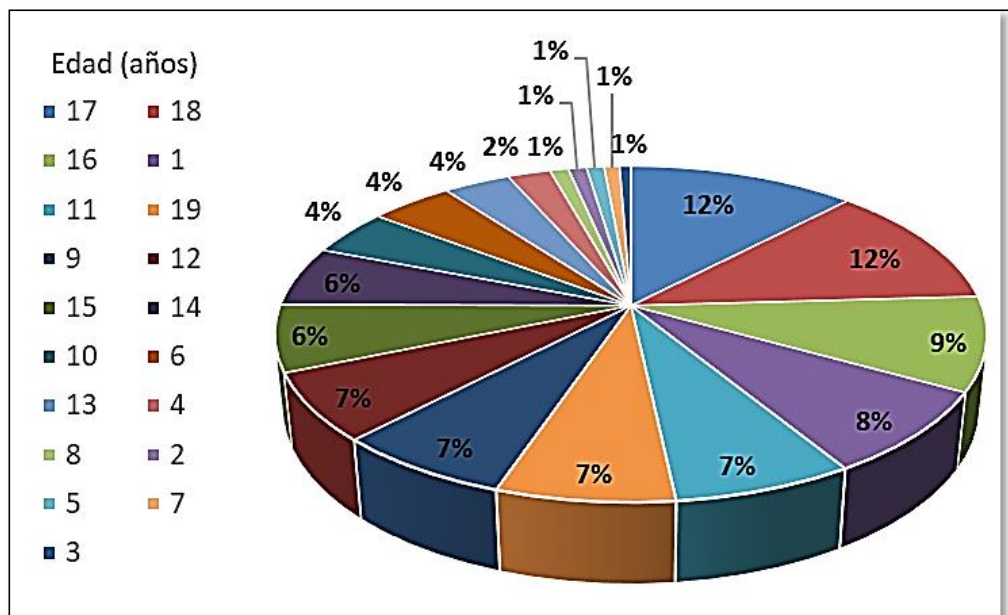


Figura 36. Descripción porcentual del área de proyectos y los rangos de edad actuales (2018) en el total de las áreas reforestadas por incentivos en Guatemala, con la especie caoba de Petén *Swietenia macrophylla*. (De mayor a menor área/edad).

Tabla 11. Detalle de productividad actual (inventario forestal) de proyectos de caoba de Petén *Swietenia macrophylla* en proyectos incentivados en Guatemala.

Departamento	No. Proyectos	DAP (cm)	Altura Total (m)	Volumen total (m ³ /ha)	Volumen total de proyectos (m ³)	Volumen total de raleo en proyectos (m ³)
Zacapa	6.00	16.83	16.23	92.71	30,486.52	317.61
Santa Rosa	2.00	11.49	11.40	78.51	35,513.60	391.96
Quiché	12.00	10.06	9.76	42.54	9356.59	29.54
Petén	80.00	12.05	11.57	3.72	169.46	2.49
Jutiapa	1.00	4.44	4.90	83.19	3,644.46	11.22
Izabal	35.00	13.74	12.08	172.12	10,344.60	338.88
Huehuetenango	2.00	8.57	8.69	130.61	1,800.03	0.00
Guatemala	5.00	10.94	10.28	0.30	0.75	6.11
Escuintla	2.00	10.70	10.78	62.59	113.27	7.27
Chiquimula	1.00	12.07	11.86	98.94	1,893.72	0.00
Baja Verapaz	26.00	7.24	7.50	0.00	0.00	0.00
Alta Verapaz	78.00	10.44	9.99	75.99	155.01	0.00
Total	250.00	11.21	10.67	72.84	93,478.01	1,105.08

Fuente: Elaborado por Investigación Forestal, según base de datos de los programas de incentivos Forestales del INAB, actualizado al año 2018.

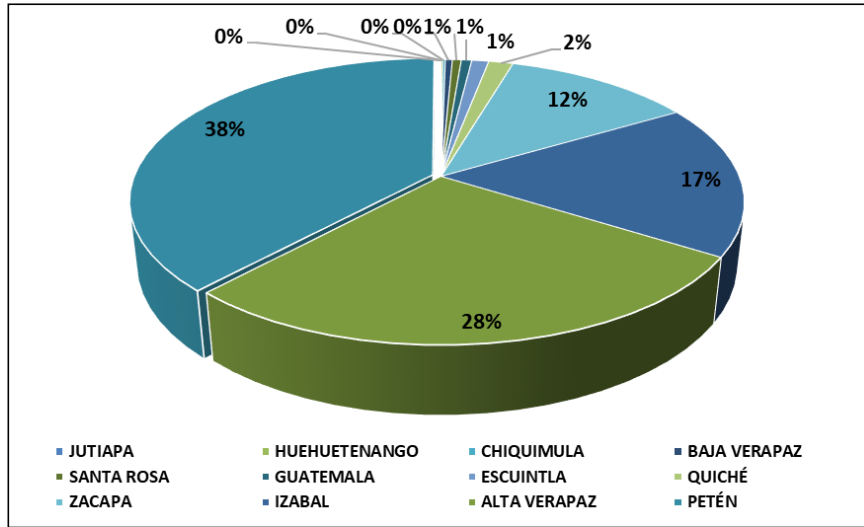


Figura 37. Distribución del volumen total de producción actual de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento en Guatemala, para la especie caoba de Petén (*Swietenia macrophylla*).

El cuadro 10 y la figura 37 expresan el porcentaje de volumen actual que existe en los departamentos de Guatemala, en función de la cantidad de proyectos incentivados, con la edad y variables dasométricas actuales tal como puede observarse, Izabal es el municipio que mayor existencias actuales de volumen tiene, siendo su volumen un total de 35,513.60 m³.

Análisis y proyección del inventario de producción de caoba

VOLUMEN DE RALEO: Como se ha discutido ampliamente en los capítulos anteriores, la caoba de Petén se ha establecido en distintas modalidades, además, debido a los problemas con *H. grandella*, también se ve afectada la sobrevivencia y variables específicas de los árboles; sin embargo, el análisis de los datos recopilados en campo, permite estimar que están realizando raleos con regularidad, definiendo un perfil teórico de manejo que con el cual se proyectaron las principales variables de crecimiento, entre ellas un volumen de raleos en las edades de 5, 10 y 15 años, además se estableció arbitrariamente un cuarto raleo a los 23 años de edad, considerando que el turno propuesto es de 30 años como se detalla más adelante.

Tabla 12. Proyección del volumen de raleos (m³) para caoba de Petén en Guatemala, periodo 2019-2025.

Perfil de raleo	Periodo de proyección del raleo 2019-2025 (volúmenes en m ³)						
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Primer raleo	97.06	119.23	116.61	405.16	121.49	0.00	0.00
Segundo raleo	57.74	164.62	33.57	127.81	132.39	160.04	196.58
Tercer raleo	103.90	95.83	65.93	158.23	155.83	57.86	164.97
Cuarto raleo	0.00	0.00	0.00	0.00	229.13	398.65	301.11
Total (m³)	258.70	379.67	216.11	691.20	638.84	616.55	662.66

Fuente: Departamento de Investigación Forestal. INAB 2018.

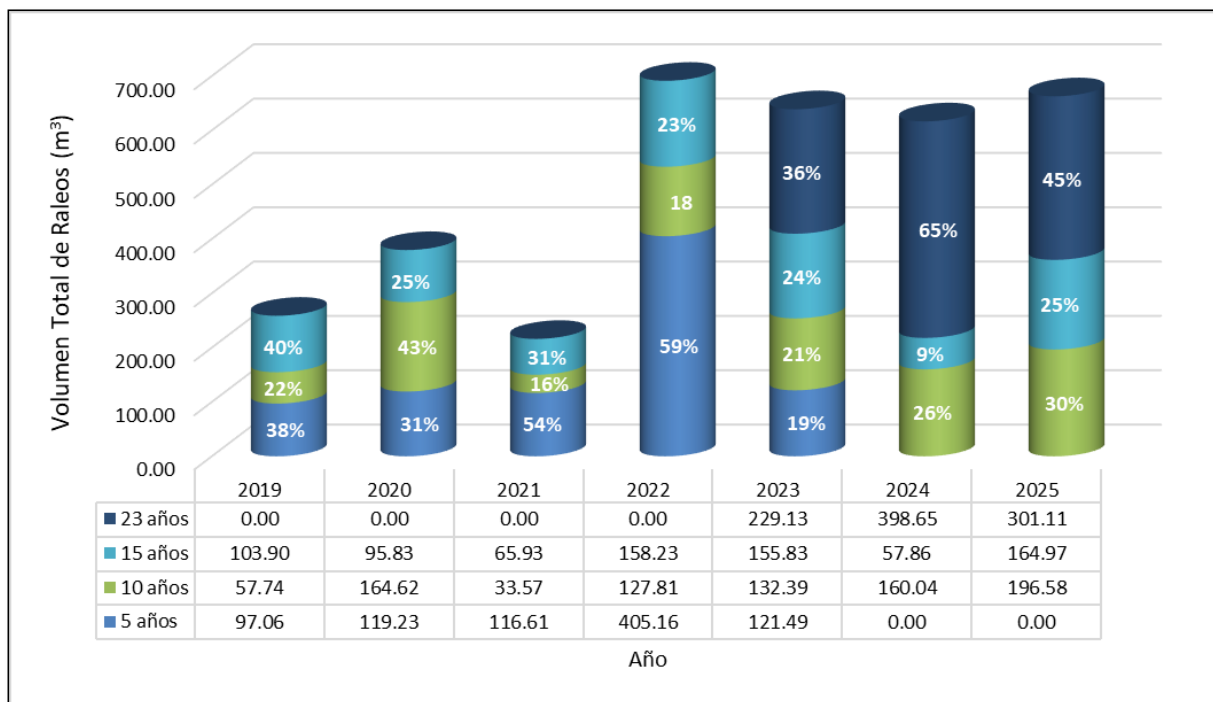


Figura 38. Distribución del volumen total de raleos (a los 5, 10, 15 y 23 años respectivamente), proveniente de proyectos de incentivos forestales, para la especie de *Swietenia macrophylla* en Guatemala.

En el Cuadro 11 y la Figura 38 se hace la diferencia entre cada uno de los raleos efectuados, es decir, el volumen de un primer raleo a la edad de 5 años, otro raleo cuando las plantaciones llegan a 10 años, el tercer raleo a los 15 años y en los cálculos se está estimando un cuarto raleo cuando la plantación llega a 23 años. En ese sentido, se observa que la mayor cantidad de volumen correspondiente a un primer raleo será el en año 2022, con un valor de 158.23 m³, equivalentes al 59% del total del volumen de raleo de ese año, mientras que el mayor volumen de un cuarto raleo se estima en el año 2024 con un valor de 398.65 m³, equivalentes a 64.65% del total del volumen de raleo de ese año, se hace referencia a ambos raleos (3 y 4) considerando que las dimensiones del árbol permitirán la obtención de productos forestales para fines industriales.

VOLUMEN DE EXISTENCIAS FUTURAS: A continuación, en el Cuadro 12, se presentan los resultados de la proyección de cada proyecto de caoba de Petén beneficiado por los programas de incentivos forestales PINFOR-PROBOSQUE y PINPEP, presentado por año durante el periodo que comprende los años 2030 al 2048, estimando la edad de rotación o turno de 30 años y densidades finales de 150 árboles/ha (la densidad final y edad del turno dependerá del potencial productivo del sitio y los objetivos de la plantación). En capítulos anteriores se presentaron experiencias que evidencian resultados competitivos que favorecen la productividad de las plantaciones e inclusive quizá reduzcan la edad del turno, aunque por el momento se están utilizando 30 años; además se espera continuar el proceso de evaluación para generar mayor información de campo con mayor número de parcelas permanentes en diversas edades, diversos sitios y diversas densidades de árboles.

Tabla 13. Proyección del volumen total (m³) de raleo para caoba de Petén en Guatemala, periodo 2030-2048

Año	No. Proyectos	DAP (cm)	Altura Total (m)	Área Basal (m ² /ha)	Volumen Total (m ³ /ha)	Área de proyectos (ha)	Volumen Total (m ³) de proyectos
2030	16	40.67	25.71	20.65	271.29	67.96	18,328.65
2031	21	40.31	27.57	20.39	287.99	116.92	32,487.31
2032	17	40.35	27.26	20.42	282.88	119.24	31,716.17
2033	17	40.38	27.19	20.44	284.63	88.46	26,610.43
2034	13	41.07	23.79	20.95	259.13	62.83	17,713.50
2035	12	41.24	22.96	21.09	254.55	56.58	13,913.00
2036	9	41.08	23.70	20.96	257.19	35.09	8,771.57
2037	15	40.46	26.76	20.50	281.17	64.13	16,835.42
2038	14	40.56	26.35	20.58	280.01	68.87	18,785.59
2039	8	40.99	24.14	20.90	261.21	43.71	11,965.20
2040	15	40.19	28.06	20.30	289.06	67.92	18,699.28
2041	5	41.31	22.62	21.13	251.36	9.64	2,613.68
2042	5	39.07	33.96	19.48	345.92	8.08	2,078.79
2043	11	15.88	15.39	6.33	42.71	43.69	4,680.53
2044	9	17.80	16.37	8.58	75.93	9.24	441.72
2045	12	18.27	17.08	8.62	72.00	22.45	1,230.45
2046	13	17.06	16.17	7.52	58.47	5.93	562.12
2047	24	22.14	19.26	12.88	131.69	9.55	1,503.62
2048	14	16.63	15.69	7.25	56.06	79.76	11,588.96
Total	250	15.70	14.74	6.61	50.52	980.03	43,044.79

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB 2018.

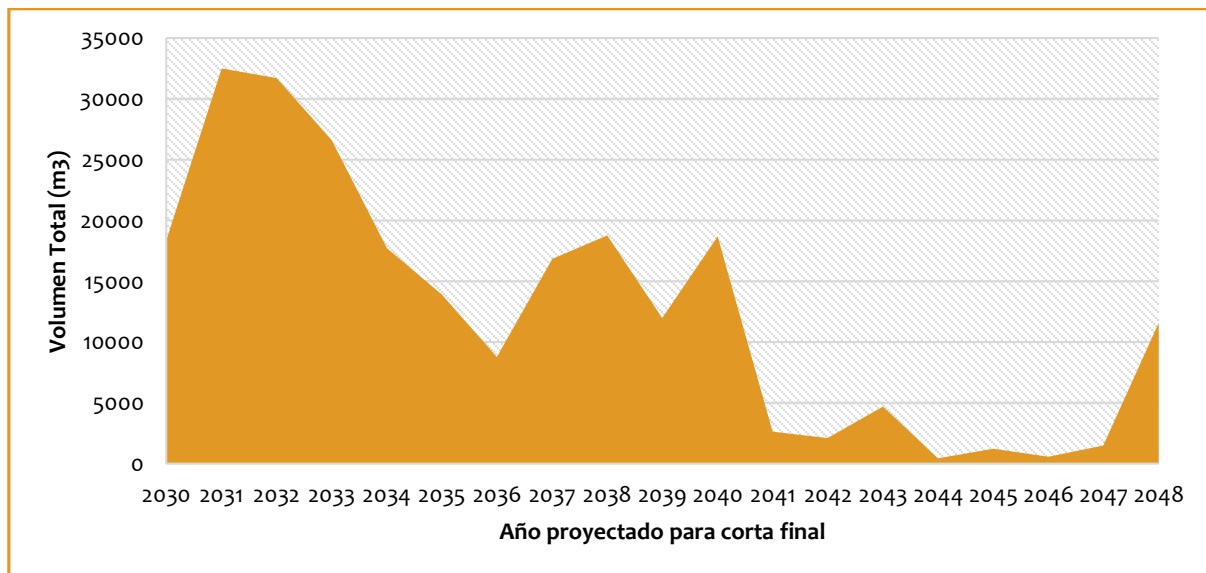


Figura 39. Proyección del volumen total (m³) de producción en Guatemala de *Swietenia macrophylla* para el periodo 2030 al 2048, de plantaciones existentes desde el año 2000 al año 2018.

El procedimiento para el cálculo del volumen proyectado se describe a continuación:

- a. En primer lugar, se procedió a solicitar las bases de datos de proyectos reforestados en los diversos programas de incentivos forestales que administra el INAB (PINFOR-PROBOSQUE-PINPEP), la base de datos utilizada contempla las reforestaciones desde el año 2000 al año 2018.
- b. Posteriormente, se definió un turno de corta, con base a las experiencias documentadas y a las investigaciones sintetizadas en el presente texto, para el efecto, se definió un turno de corta de 30 años. Por ello puede observarse en la gráfica que la primera cosecha proyectada es hasta el año 2030, debido a que la fecha de plantación más antigua que se considero fue del año 2000.
- c. Seguidamente se estableció un perfil de manejo teórico, para un adecuado cálculo del volumen de los raleos, y el remanentes que se considera como volumen de cosecha final al término de los 30 años; para el efecto, el perfil de manejo definido contempla el primer raleo a los 5 años, el segundo raleo a los 10 años, el tercer raleo a los 15 años y el último raleo a los 23 años.
- d. Por último, mediante la utilización de los modelos de crecimiento descritos en el cuadro 7, se utilizó la ecuación para el cálculo del volumen; de esa cuenta se obtuvo como resultado los volúmenes proyectados, que se traducen a una oferta de volumen de cosecha final proyectada y descrita con mayor detalle en el cuadro No. 12 y gráfica No. 36.

De acuerdo con la proyección desarrollada, la producción de madera proveniente de corta final o 2030 (de las reforestaciones del año 2000), aporta un volumen significativo, que asciende a 18,328.65 metros cúbicos, seguido del año 2031 donde se encuentra el punto más alto de la gráfica, correspondiente a un volumen de 32,487.31 m³ cuya tendencia se mantiene para el año 2032. A partir del año 2035 empieza a decaer la cantidad de volumen proyectado, dicho aspecto se respalda considerando la tendencia de las reforestaciones expresadas en la gráfica 1, donde se observa como reducen las áreas reforestadas de caoba.

13. Conclusiones

1. Las principales características climáticas a considerar para la selección de Caoba de Petén como especie a reforestar son: sitios en rangos de temperatura de 22 a 28 °C como temperatura media anual (según su distribución natural), aunque bajo cultivo, los mejores resultados se han obtenido en rangos de temperatura entre 16 a 24 °C; En su rango de distribución natural la precipitación oscila entre 1000 a 2500 mm anuales, bajo cultivo, los mejores sitios registran precipitaciones entre 4400 y 6500 mm por año, con un máximo de cuatro meses de época seca.
2. Las principales características fisiográficas a considerar para la selección de Caoba de Petén como especie a reforestar son: sitios con altitudes desde 0 a 1400 msnm (según su distribución natural) aunque los mejores crecimientos se reportan en altitudes de 50 a 500 msnm; la especie se desarrolla mejor en terrenos ondulados a planos (< a 20% de pendiente) y de acuerdo a su posición del paisaje, la especie desarrolla mejor en partes altas del paisaje (cimas, lomas y colinas).
3. Las principales características edáficas a considerar para la selección de Caoba de Petén como especie a reforestar es que se adapta a una gran variedad de suelos, aunque, prefiere suelos aluviales profundos, bien drenados y fértiles, ligeramente ácidos, en el norte de Guatemala los rangos de pH de los mejores sitios oscilan entre 4.8 a 4.20, donde la especie también crece de forma adecuada en suelos del tipo arcilloso a franco arcilloso.
4. De acuerdo su comportamiento ecológico, la caoba de Petén es una especie intolerante que no puede sobrevivir bajo sombra densa, es más, el crecimiento más rápido se alcanza bajo plena luz solar con protección lateral. Este aspecto se constituye importante para la planificación de la instalación de reforestaciones y selección de especies acompañantes en arreglos mixtos.
5. Como parte de un manejo integrado de plagas, a manera de reducir la incidencia de *Hypsipyla grandella*, se promueve el establecimiento de arreglos mixtos, aunque en la práctica, existen plantaciones puras de Caoba de Petén 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 5) o con base al incremento medio anual de las principales variables dasométricas de un rodal (cuadro 6). De forma complementaria, los modelos de crecimiento (cuadro 7) 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 Caoba de Petén sin dejar de considerar tres factores importantes que contribuyen a alcanzar el éxito de la productividad futura de las plantaciones de la especie con el mercado más sólido a nivel mundial, 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 Caoba de Petén, se debe tomar en consideración que los suelos degradados, compactos y con poca profundidad efectiva (factores limitantes) comprometen el desarrollo y productividad de las plantaciones de Caoba de Petén.
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 Caoba de Petén, con la condicionante de que la especie reciba luz vertical, la sombra lateral favorece el crecimiento en altura de la especie y permite la generación de brotes verticales secundarios si llegara a verse afectado por la plaga. Así mismo, la correcta elección de especies acompañantes de Caoba de Petén simplifica la toma de decisiones con respecto al manejo silvicultural, haciendo viable y poco compleja la práctica de los raleos, en comparación con lo complejo que significa generar un criterio de raleo en plantaciones puras, especialmente cuando Caoba de Petén está siendo suprimida.
4. Las plantaciones puras de Caoba de Petén han expresado características exitosas, considerando que se aplique un adecuado manejo integrado de plagas o un plan fitosanitario contundente; otra opción innovadora consiste en establecer plantaciones puras con distanciamientos de 4 m * 4 m, para que posteriormente pueda introducirse una especie agrícola permanente, que beneficia el flujo de ingresos anual y propicia mayores beneficios al componente arbóreo. Así mismo, es necesario tener precaución en establecer plantaciones de especies meliáceas combinadas, por ejemplo Cedro *Cedrela odorata* con *Swietenia macrophylla*, debido a que poseen distintas tasas de crecimiento, lo que repercutirá a largo plazo que una especie suprima a su acompañante.
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

- Alcalá Martínez, RE; Gutiérrez-Granados, G. 2011. Ecología, genética y conservación de la caoba (*Swietenia macrophylla*): herramientas para un manejo adaptativo de la Selva Maya de Quintana Roo, México. Cuernavaca, MX, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 56 p. (Informe final SNIB-CONABIO proyecto FQ006).
- Alvarado, A; Leiva, JA. 2012. Nutrición y fertilización de *Swietenia macrophylla*. In: Alvarado, A; Raigosa, J (eds.). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. p. 307-315.
- 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).
- Argüelles, LA; Synnott, T; Gutiérrez, S; Angel, B del. 2005. Regeneración y silvicultura de la caoba en la Selva Maya mexicana, Ejido de Noh Bec. Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica) 44:45-52.
- Bauer, G.; Francis, JK. 2000. *Swietenia macrophylla* King Caoba hondureña, Honduras mahogany. In: Francis, JK; Lowe, CA (eds). Trabanino, S (traductor). 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 492- 498. (General Technical Report IITF-15)
- Caal Paau, O. 2007. Cuantificación del número de plantas de caoba atacadas en estado brinzal, latizal y fustal por el barrenador de las meliáceas (*Hypsipyla grandella*) en las comunidades Las Tortugas y San Benito I, municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz. Informe de práctica agroforestal supervisada. San Juan Chamelco, Alta Verapaz, GT, Instituto Técnico Experimental en Recursos Naturales. 21 p.
- Cabrera Ermitaño, IEO. 2006. Estudio de la composición arbórea, fuente semillera y calidad de la semilla de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y santa maría (*Calophyllum brasiliense* var. *reko* Standl.) en el Parque Nacional Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Tesis Lic. Ing.agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 66 p.
- Castañeda Hurtado, MR. 2013. Evaluación de parcelas permanentes de medición forestal, con la finalidad de generar propuestas de áreas para establecer especies predominantes en plantaciones mixtas en la Sub-Región II-6 Ixcán y II-7 Salacuim, del Instituto Nacional de Bosques. Informe de práctica forestal supervisada. Jacaltenango, GT, Escuela Técnica de Formación Forestal. 83 p.

- Castañeda, C; Cabrera, IE. 2006. Determinación del potencial como fuente semillera, y evaluación del germoplasma de caoba (*Swietenia macrophylla*), rosúl (*Dalbergia stevensonii*), san juan (*Vochysia guatemalensis*), santa maría (*Calophyllum brasiliense*) y sangre (*Virola koschnyi*) en el Parque Nacional Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Guatemala, Unión Mundial para la Conservación de la Naturaleza (UICN) / Instituto Nacional de Bosques (INAB). 88 p + anexos. (Informe final de investigación).
- 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). 2006. Manual de procedimientos para la exportación de caoba del norte de Guatemala. Guatemala, 40 p. [Documento técnico 50 (18-2006)].
- 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)].
- Cordero, J; Boshier, DH (eds.). 2003. *Swietenia macrophylla* King. In: Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute UK / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CR. p. 901-906.
- 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>
- Fuentes Archila, LM. 2014. Productividad de las plantaciones forestales en los diferentes tipos de raleos en la Región II Las Verapaces. Informe de práctica profesional supervisada. Guatemala, GT, Universidad Rafael Landívar. 57 p.

- García Contreras, BE. 2006. Informe final de diagnóstico, investigación y servicios desarrollados en la Unidad de Plagas forestales del Proyecto de Protección forestal / Investigación: Caracterización de enfermedades fungosas de especies forestales en plantaciones PINFOR ubicadas en Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 136 p.
- Godínez Pulido, HJ. 2010. Determinación de calidad de madera proveniente de árboles de saneo de *Swietenia macrophylla* King (caoba) y rentabilidad de su aprovechamiento en la concesión forestal San Andrés, Petén, Guatemala. Tesis Lic. Ing. for. Huehuetenango, GT, Centro Universitario del Nor-Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala. 184 p. + anexos.
- 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>
- 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.
- 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.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1999. Manual técnico forestal. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques (INAB). 110 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 Paraíso. 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 Gómez, WA; Trujillo Burgos, JG. 2011. Tablas nacionales de conversión volumétrica de madera en rollo en pie a madera aserrada por calidades según las reglas internacionales de clasificación de madera NHLA de la especie caoba (*Swietenia macrophylla* King). Guatemala, Banco Mundial / INAB / CONAP / CATIE. 62 p.
- 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>
- 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, C. 1999. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica: Silvicultura-Genética. San José, CR, Centro Científico Tropical (CCT). 25 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
- Navarro, C; Hernández, M. 1998. Evaluación de la diversidad genética de especies tropicales de importancia económica y ecológica en Centro América y el Caribe, implicaciones para la conservación, la utilización sostenible y el manejo [disco compacto]. *In: Congreso Latinoamericano IUFRO (1., 1998, Valdivia CL). El manejo sustentable de los recursos forestales, desafío del siglo XXI. Valdivia, CONAF/IUFRO.*
- Navarro, C; Hernández, M. 1999. Variación genética de *Swietenia macrophylla* en Centroamérica, implicaciones para su conservación, utilización sostenible y manejo. *In: Semana Científica (4, 1999, Turrialba CR). Memorias. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 97-100. (Serie técnica, Reuniones técnicas (CATIE) 5)*
- Negreros-Castillo, P; Snook, LK; Mitze, CW. 2005. Regeneración de caoba a partir de siembra directa en aperturas creadas en un bosque natural en México. *Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)* 44: 84-90.
- Niembro Rocas, A. 2010. *Swietenia macrophylla* King. *In: Vozzo, JA (ed.). Manual de semillas de árboles tropicales. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). p. 703- 705.*
- Novick, RR; Dick, CW; Lemes, MR; Navarro, C; Caccone, A; Bermingham, E. 2003. Genetic structure of mesoamerican populations of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) inferred from microsatellite analysis. *Molecular Ecology* 12: 2885-2894.
- Pennington, TD. 2002. Mahogany carving a future. *Biologist* 49(5):204-208.
- 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.
- Proyecto UNALM-ITTO PD 251/03. sf. Estudio de las poblaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el Perú. Lima, PE, Universidad Nacional Agraria La Molina PE / Organización Internacional de las Maderas Tropicales JP. 248 p.
- 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.

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 and 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. *Swietenia macrophylla* King. (Nota técnica no. 21). In: Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 41-42. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 41).

Schulze, MD; Whitacre DF. 1999. A classification and ordination of the tree community of Tikal National Park, Petén, Guatemala. Bulletin of the Florida Museum of Natural History 41(3): 169-297.

SEDUMA (Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Yucatán). 2014. Caoba. Mérida, MX. 1 p. (Ficha técnica de Flora nativa). Consultado 14 ene. 2017. Disponible en <http://www.seduma.yucatan.gob.mx/flora/fichas-tecnicas/Caoba.pdf>

Snook, LK; Iskandar, H; Chow, J; Cohen, J; O'Connor, J. 2005a. Supervivencia y crecimiento de caoba en claros post-extracción en Belice, a partir de semillas y plántulas. Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica) 44:76-83.

Snook, LK; López, C. 2003. Resumen ejecutivo: Logros y conclusiones principales del Taller "La regeneración de la caoba (*Swietenia macrophylla* King): Frutos de siete años de investigación colaborativa", 2003, Chetumal, Quintana Roo, México. Bogor, ID, CIFOR. 15 p.

Snook, LK; Negreiros-Castillo, P; O'Connor, J. 2005b. Supervivencia y crecimiento de plántulas de caoba en aperturas creadas en la Selva Maya de Belice y México. Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica) 44: 91-99.

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.

Santos Yanes, IM. 2019. Primera identificación de las variables edáficas y fisiográficas que inciden en la calidad de sitio en plantaciones jóvenes de Caoba del Norte (*Swietenia macrophylla* King) en la red de parcelas permanentes ubicadas en los departamentos de Petén, Izabal, Quiché, Alta Verapaz, y Escuintla. Tesis Lic. Inga. Agr. R.N. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 162 p. + anexos.

Standley, PC; Steyermark, JA. 1946. *Swietenia* Jacquin. Mahogany. In: Flora of Guatemala: families Leguminosae, Geraniaceae, Oxalidaceae, Tropaeolaceae, Linaceae, Erythroxylaceae, Zygophyllaceae, Rutaceae, Simaroubaceae, Burseraceae, Meliaceae, and Malpighiaceae. Fieldiana Botany (Chicago Natural History Museum), 24(5): 456-459.

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.

Trujillo-Sierra, JE; Delgado-Valerio, P; Ramírez-Morillo, I; Rebolledo-Camacho, V; Pérez-Nasser, N. 2013. Variación genética en poblaciones mexicanas de *Swietenia macrophylla* King, una especie tropical en expansión geográfica reciente. Botanical Sciences 91(3): 307-317.

Utrera Granados, LP. 2010. Trabajo de graduación realizado en la eco región Lachua, Cobán, Alta Verapaz, con énfasis en las características morfológicas externas y de la calidad de semilla de cinco especies forestales. Tesis Lic. Ing.agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 170 p.

Vivero, JL; Szejner, M; Gordon, J; Magin, G. 2006. The red list of trees of Guatemala. Cambridge, UK, Fauna & Flora International. 48 p.

Ward, SE; Lugo, AE. 1998. Efectos del ambiente y la genética en la variación del crecimiento, ataque del barrenador de la yema, sobrevivencia, y tamaño en 20 procedencias de caoba en Puerto Rico [disco compacto]. In: Congreso Latinoamericano IUFRO (1, 1998, Valdivia CL). El manejo sustentable de los recursos forestales, desafío del siglo XXI. Valdivia, CONAF/IUFRO.

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>

Whitmore, TC. 2003. Mahogany: tree of the future. In: Lugo, AE; Figueroa Colón, JC; Alayón, M (eds.). Bigleaf mahogany: genetics, ecology and management. New York, US, Springer. p 1-5.

- 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 2: Caoba (*Swietenia macrophylla*). *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. 123-126. (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.



Dirección de Desarrollo Forestal
Departamento de Investigación Forestal
7a avenida 12-90, zona 13
Teléfono: 2321-4600
www.inab.gob.gt



Instituto Nacional de Bosques
Más bosques. Más vida

