



Instituto Nacional de Bosques
Màs bosques. Màs vida

Paquete Tecnológico Forestal

Santamaria
Calophyllum brasiliense Cambess

Serie Técnica
DT-030 (2019)

Publicación del Instituto Nacional de Bosques (INAB)
7a avenida 12-90 zona 13
Guatemala, Guatemala, Centro América
ww.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 Santamaría *Calophyllum brasiliense* Cambess, versión 1.0. Guatemala, Departamento de Investigación Forestal. 78 p. (Serie técnica DT-030-2019).

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 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 Santamaría *Calophyllum brasiliense* Cambess, donde las áreas temáticas relevantes que conforman el contenido son: aspectos introductorios, selección de sitio, producción de plántulas y genética, establecimiento de plantaciones, silvicultura de plantaciones, manejo de plagas y enfermedades, incrementos y existencias en plantaciones, contribuyendo así con proporcionar información de base para orientar actuales y potenciales reforestadores y silvicultores para la planificación del manejo de plantaciones.

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

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

Ing. Rony Estuardo Granados Mérida
Gerente INAB

2. Junta directiva del Instituto Nacional de Bosques

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

- Mario Méndez Montenegro
- José Felipe Orellana Mejía

Ministerio de Finanzas Públicas

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

Asociación Nacional de Municipalidades

- Edduar Amarildo Chún Champet
- Carlos Alexander Simaj Chán

Escuela Nacional Central de Agricultura

- Edvin Francisco Orellana Ortíz
- Tomás Antonio Padilla Cambara

Cámara de Industria, Gremial Forestal

- Roberto Andrés Bosch Figueredo
- Fernando Alcides Enríquez Flores

ASOREMA

- Miriam Elena Monterroso Bonilla
- Carmen Raquel Torselli Bech

Universidades

- Raúl Estuardo Maas Ibarra
- Mirna Lucrecia Vela Armas

Instituto Nacional de Bosques

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

Tabla de contenido

1.	Presentación.....	iii
2.	Junta directiva del Instituto Nacional de Bosques	iv
4.	Introducción	1
	Nombre científico y nota taxonómica.....	1
	Nombres comunes.....	1
	Descripción morfológica.....	1
	Distribución geográfica de la especie.....	4
	Importancia de la especie en el país	6
	Aptitud forestal – agroforestal.....	9
	Usos.....	13
	Estado de protección legal de la especie en el país	14
5.	Selección de sitio.....	15
	Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie	15
	Clima	15
	Fisiografía.....	16
	Suelo	17
	Distribución potencial de la especie en Guatemala.....	17
	Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie	19
6.	Producción de plántulas y genética	19
	Diversidad genética y procedencia	19
	Rodales semilleros	20
	Semilla.....	22
	Descripción	22
	Recolecta.....	22
	Acondicionamiento.....	24
	Conservación y viabilidad.....	25
	Tratamientos pre-germinativos.....	25
	Producción de plantas	25
	Métodos de propagación sexual.....	25
	Métodos de propagación asexual	26
	Sustratos en vivero.....	27
7.	Establecimiento de plantaciones.....	28

Comportamiento ecológico de la especie	28
Instalación.....	29
Introducción en sistemas agroforestales	31
8. Silvicultura de plantaciones	33
Control de malezas	33
Poda.....	34
Raleo.....	36
Aprovechamiento final.....	38
Esquema silvicultural y rendimientos.....	38
9. Manejo de plagas y enfermedades.....	39
Plagas y enfermedades en vivero	40
Plagas y enfermedades en plantaciones	40
<i>Rhizoctonia solani</i>	41
<i>Botryodiplodia</i> sp.	41
<i>Fusarium</i> sp.	41
<i>Pestalotiopsis</i> sp.	41
Recomendaciones para el manejo.....	41
<i>Pityophthorus</i> sp. (Coleóptera, Curculionidae)	44
Recomendaciones para el manejo.....	44
10. Manejo de bosques naturales	45
Manejo de regeneración natural	45
11. Crecimiento y productividad de plantaciones.....	46
Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala.....	46
Crecimiento e incrementos.....	48
12. Existencias.....	57
Herramientas.....	57
Superficies de plantaciones e inventario de producción actual de Santamaría.....	59
Análisis y proyección del inventario de producción de Santamaría	65
13. Conclusiones.....	68
14. Recomendaciones.....	69
15. Bibliografía.....	71

Lista de tablas

Tabla 1. Fuentes semilleras del Santamaría inscritas en el Registro Nacional Forestal (bajo el nombre científico <i>Calophyllum brasiliense</i>).	20
Tabla 2. Agentes dañinos del Santamaría (<i>Calophyllum brasiliense</i>) reportados en Guatemala.....	39
Tabla 3. Número de PPMF de Santamaría bajo monitoreo de INAB clasificada por la edad de las plantaciones y el número de mediciones.	47
Tabla 4. Número de PPMF monitoreadas por INAB clasificadas por su grado de mezcla inicial, con especies asociadas a plantaciones.	47
Tabla 5. Clasificación de las categorías de sitio para Santamaría <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess en Guatemala.....	48
Tabla 6. Comportamiento del crecimiento de <i>Calophyllum brasiliense</i> en plantaciones puras o plantaciones con un grado de mezcla (Santamaría >85%) con base a PPMF bajo monitoreo en Guatemala.	49
Tabla 7. Comportamiento del crecimiento de <i>Calophyllum brasiliense</i> en plantaciones mixtas con base a PPMF en plantaciones con un grado de mezcla [$50 \leq G_{mezcla} < 85\%$] en Guatemala.	50
Tabla 8. Comportamiento del crecimiento de <i>Calophyllum brasiliense</i> en plantaciones mixtas con base a parcelas permanentes en plantaciones con un grado de mezcla < 50%.	51
Tabla 9. Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala, según categorías de sitio.	53
Tabla 10. Descripción de las familias de modelos de crecimiento para <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala.	55
Tabla 11. Áreas plantadas con <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala, incentivadas por PINFOR (Programa de incentivos forestales), PINPEP (Programa de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal) y PROBOSQUE (Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala).	59
Tabla 12. Áreas plantadas con <i>Calophyllum brasiliense</i> beneficiarias con los programas de incentivos forestales, por año de plantación y edad en Guatemala.....	61
Tabla 13. Detalle de productividad actual (inventario de la producción actual) de proyectos de Santamaría incentivados en Guatemala.....	62

Tabla 14. Detalle de productividad actual de volumen del primer, segundo y tercer raleo en plantaciones de Santamaría incentivados en Guatemala para el año 2019 (incluyen únicamente aquellas plantaciones que estén llegando a los 5, 10 y 15 años respectivamente).....64

Tabla 15. Proyección de principales variables y volumen de corta final para las plantaciones de Santamaría, periodo 2025-2043.65

Tabla 16. Proyección del volumen de raleo para Santamaría, periodo 2019-2025.66

Lista de figuras

Figura 1. Árbol maduro de Santamaría en condiciones naturales (fuste recto), finca Chajmaic, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala.....2

Figura 2. Corteza de árboles jóvenes de Santamaría con grietas en forma de diamante (romboide) característicos de la especie, finca Río Escondido, Chisec, Alta Verapaz, Guatemala.3

Figura 3. Frutos tipo bayas globosas, en plantación forestal de Santamaría de 4 años de edad, Finca San Juan Buena Vista, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.4

Figura 4. Tendencia del comportamiento de las reforestaciones de Santamaría en Guatemala mediante los programas de incentivos forestales PINFOR, PINPEP Y PROBOSQUE, del año 2000 al 2018.8

Figura 5. Tendencia del comportamiento de las reforestaciones de Santamaría reportadas a nivel nacional en la historia del programa PINPEP.....8

Figura 6. Plantación mixta de Santamaría y Caoba, finca Talita Kumi, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala.10

Figura 7. Sistema agroforestal de Santamaría en asocio con cardamomo, en finca Río Escondido, Chisec, Alta Verapaz, Guatemala.11

Figura 8. Plantación pura de Santamaría de 15 años, mostrando ramificación, bifurcaciones y torceduras basales, en finca particular, Aldea Cari, Ixcán, Quiché, Guatemala.12

Figura 9. Mapa preliminar de distribución potencial de la especie Santamaría *Calophyllum brasiliense* Cambess en Guatemala.18

Figura 10. Expresión fenotípica de Santamaría en bosque natural (izquierda) versus expresión fenotípica en plantación mixta (derecha), Finca Chajmaic, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala.21

Figura 11. Plantación de Santamaría con daños (torcedura basal) ocasionados por bejucos, Finca Chajmaic, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala.34

Figura 12. Árboles de Santamaría altamente ramificados, finca Río Seco, Chisec, Alta Verapaz (izquierda) y finca Talita Kumi, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala (derecha).	35
Figura 13. Esquema general de la forma de marcar el raleo en una plantación forestal.	37
Figura 14. Plantaciones forestales de Santamaría con características de muerte descendente, ubicadas en plantaciones forestales de Guatemala. (Fotografía por Rony Albanes, del INAB)	42
Figura 15. Coloración oscura en el área del cambium en un tocón de la especie <i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess, en Guatemala. (Fotografía por: Rony Albanes del INAB)	43
Figura 16. Síntomas del follaje muerto de Santamaría, cambiando de una coloración a amarillo, luego a rojizo y por último a café claro, en plantaciones forestales de Guatemala. (Fotografía por: Rony Albanes del INAB).	43
Figura 17. Presencia de grumos de resina en la corteza del árbol Santamaría causado por <i>Pityophthorus sp</i> en Guatemala (izquierda); insecto adulto de <i>Pityophthorus sp</i> identificado en plantaciones de Santamaría en Guatemala (derecha). (Fotografía por: Rony Albanes del INAB)..	44
Figura 18. Comportamiento de los incrementos de DAP y altura de especies asociadas a Santamaría en plantaciones mixtas en 11 Parcelas Permanentes de Medición Forestal.	53
Figura 19. Comportamiento observado del incremento medio anual de altura (m) en plantaciones mixtas de Caoba y Santamaría distribuidas en la franja transversal del norte, Guatemala.....	54
Figura 20. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] para plantaciones de <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala.....	56
Figura 21. Distribución de área de proyectos de incentivos forestales por departamento, para la especie <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala.....	60
Figura 22. Distribución del área de proyectos de incentivos forestales por departamento, para la especie de <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala.....	62
Figura 23. Distribución del volumen total de producción actual de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento, para la especie de <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala.	63
Figura 24. Distribución del volumen total de producción actual de raleo en proyectos de incentivos forestales, para la especie de <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala.	64
Figura 25. Distribución del volumen total proyectado en proyectos de incentivos forestales, para la especie de <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala.....	66
Figura 26. Distribución del volumen total de raleos, proveniente de proyectos de incentivos forestales, para la especie de <i>Calophyllum brasiliense</i> en Guatemala.	67

3. Introducción

Nombre científico¹ y nota taxonómica

Calophyllum brasiliense Cambess.

SINÓNIMOS: *Calophyllum antillanum* Britton, *Calophyllum brasiliense* var., *antillanum* (Britton) Standl., *Calophyllum brasiliense* var., *rekoï* (Standl.) Standl., *Calophyllum rekoï* Standl., y 3 más de América del Sur.

NOTA. Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003) hacen referencia a que se indica con frecuencia, que el nombre correcto de esta especie americana es *C. calaba* L. Es tan relevante, que el manual "Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales" presenta una monografía sobre el Santamaría bajo el nombre *C. calaba* L. (Weaver 2000), escrita a finales de la década de 1980, como única representante del género *Calophyllum*. Más de veinte años después, el mismo Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos publicó el "Manual de Semillas de Árboles Tropicales" que incluye una ficha sobre *C. brasiliense* Cambess. (Flores 2010), pero ninguna sobre *C. calaba* L.

De acuerdo con Stevens (1980 citado por Flores-Vindas y Obando-Vargas 2003), *C. calaba* L. debe tipificarse como un elemento de Sri Lanka. Sin embargo, el silvicultor centroamericano debe estar consciente que hay literatura técnica importante sobre *Calophyllum brasiliense* Cambess publicada bajo el nombre *C. calaba* L., a pesar de que el segundo no es sinónimo del primero.

Nombres comunes

Basado en López (2008), Cojóm (2015), Pennington y Sarukhán (1998), Cordero y Boshier (2003), Román et al. (2012), Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003)

NOMBRES VERNÁCULOS: En Guatemala, el árbol recibe el nombre de Santamaría o Marío (en español) y lech (en q'eqchí). En Petén, se le conoce también como marillo o barillo², y en Alta Verapaz como leche o leche amarilla.

OTROS NOMBRES COMUNES: barí, leche maría, leche amarilla en México; Santamaría o leche maría en Belice; barillo en El Salvador; palo de maría en Honduras y Nicaragua; cedro maría en Costa Rica; maría en Panamá; Santamaría es el nombre más usado en la región centroamericana.

NOTA: según Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003), *maría* no debe tildarse, porque proviene de la palabra taíno *mario*, la lengua principal en las Antillas a la llegada de los españoles.

Descripción morfológica

Basado en Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000), Stevens et al. (2001) citado por López (2008), Flores (2010), Sandi (1998), Pennington y Sarukhán (1998), Weaver (2000).

¹ Tropicos.org, Missouri Botanical Garden. 28 ago. 2017 <<http://www.tropicos.org/Name/7800054>>

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

PORTE DEL ÁRBOL: Árbol grande siempre verde, de hasta 45 [50] m de altura, más comúnmente de 20-30 m y de 40-60 cm de diámetro a la altura del pecho, aunque puede llegar hasta [130] 180 [215] cm de diámetro. Fuste recto, cilíndrico, libre de ramas en los dos tercios basales, de base cónica sin gambas, aunque algunas veces con pequeños contrafuertes. Copa redondeada, con ramas oblicuamente ascendentes y torcidas. Follaje verde oscuro y denso. Ramas jóvenes minuciosamente puberulosas (pubescencia), ligeramente cuadrangulares más o menos aladas.



Figura 1. Árbol maduro de Santamaría en condiciones naturales (fuste recto), finca Chajmaic, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala.

Tanto los árboles maduros como jóvenes en condiciones naturales manifiestan características y comportamientos similares, lamentablemente el árbol fuera de sus condiciones naturales (en plantaciones forestales) se manifiesta muy distinto, ya que su porte es mucho menor y una copa atípica, producto de varios ejes (ver tema "aptitud forestal-agroforestal").

CORTEZA. La corteza externa es lisa de joven, fisurada longitudinalmente de adulto; de color gris o café grisáceo con algunas partes de color amarillento; áspera y dura; exfolia en placas. La corteza interna es de color crema rosado, laminada, fibrosa, amarga; exuda un látex resinoso de color crema, amarillo verdoso o intensamente amarillo. Grosor total de la corteza de 10 a 20 mm. Es característica identificadora en los adultos la corteza fisurada longitudinalmente con muchas grietas en forma de diamante (romboide).



Figura 2. Corteza de árboles jóvenes de Santamaría con grietas en forma de diamante (romboide) característicos de la especie, finca Río Escondido, Chisec, Alta Verapaz, Guatemala.

HOJAS: Simples, enteras, opuestas, decusadas (entrecruzadas), elípticas de [5] 6-12 [18] cm de largo y de [1.5] 2.5 a 5 cm de ancho. Limbos glabros, verde brillante arriba y verde claro y opaco abajo. Venas secundarias estrechamente paralelas, mayormente cerca de 15 por cada centímetro, ligeramente prominentes en ambos lados de la lámina. Estípulas ausentes.

Criterio identificador: hojas de color verde oscuro, típicamente lustroso y brillante, coriáceo, con numerosas venas laterales paralelas. Follaje muy denso. De las hojas y ramitas cortadas exuda un látex amarillento.

FLORES: Especie dioica: algunos árboles producen solo flores masculinas, mientras que otros producen tanto masculinas como hermafroditas. Las inflorescencias son panículas axilares, con un eje central de [2 a 5] 3 a 9 cm de longitud. Numerosos insectos, pequeños y de tamaño mediano, visitan las flores. No se ha encontrado un agente polinizador específico.

FRUTOS: Bayas globosas, de 1 a 3 cm de diámetro, de color verde pálido glauco, amarillo a pardo-amarillento en la madurez; exocarpo coriáceo, pulpa de olor fragante y sabor astringente con abundante látex amarillento. Contienen una sola semilla, ovoide o esférica, de testa gruesa, dura, color pardo.

El tamaño de las semillas está correlacionado con el tamaño del fruto. Frutos y semillas son dispersados por murciélagos, pájaros, roedores y, en bosques periódicamente inundados, son dispersados por peces. Se han observado algunos árboles floreciendo y produciendo frutos cuando tienen solamente 3 años.



Figura 3. Frutos tipo bayas globosas, en plantación forestal de Santamaría de 4 años de edad, Finca San Juan Buena Vista, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala.

Distribución geográfica de la especie

Basado en Weaver (2000), Rodríguez et al. (2009) citado por Percuoco (2014), Flores (2010), Pennington y Sarukhán (1998), Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003), Gómez (2009), Aguilar y Aguilar (1992), Segura (2012), Cabrera (2006), CATIE (2001), Girón (1997), Grogan et al. 2017, Vázquez et al. (s.f.), Cordero y Boshier (2003).

DISTRIBUCIÓN NATURAL: El Santamaría es una especie arbórea neotropical, que crece de manera natural desde la latitud 23° N en la costa pacífica de México, hasta alrededor de la latitud 27° S en el sureste de Brasil y Paraguay (aparece en las selvas ribereñas del sur de Misiones y noreste de Corrientes en Argentina). La especie se encuentra extensamente distribuida a través de las Antillas. Es un árbol común en el dosel³ de los bosques perennifolios⁴ húmedos, muy húmedos y pluviales.

En la parte norte de su extensa área de distribución natural, se encuentra tanto en la vertiente caribeña, desde el sur de Veracruz en México hasta Colón en Panamá, pasando por la península de Yucatán (México), Petén (Guatemala), Belice, la Mosquitia hondureña y nicaragüense y la costa atlántica costarricense y panameña; también en la vertiente del Pacífico, desde Nayarit en México hasta el Darién en Panamá, con presencia entre otros lugares en Chiapas (México), El Salvador y el Pacífico central y sur de Costa Rica.

³ Comprende la región de las copas y regiones superiores de los árboles de un bosque.

⁴ Que tiene hojas durante todo el año

En Guatemala, el Santamaría se encuentra en los bosques húmedos y muy húmedos tropicales de la vertiente pacífica (departamentos de Santa Rosa, Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu), del norte del país (departamentos de Petén, Huehuetenango, Quiché y Alta Verapaz) y del oriente (departamentos de Izabal, Zacapa, Chiquimula y Jutiapa), hasta una altitud de 1200 msnm. Aguilar y Aguilar (1992) lo encontraron también en los departamentos céntricos de Guatemala, Chimaltenango y Sololá.

Segura (2012) diferenció claramente tres tipos de bosques en la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) en el departamento de Petén, Guatemala, con base en el análisis del conjunto de datos de los inventarios forestales de 16 unidades de manejo forestal (UMF) ubicadas en la zona de usos múltiples. Aunque *Calophyllum brasiliense* está presente en toda la Reserva, destaca particularmente en la parte oriental de la RBM (el denominado bloque "Melchor"), siendo indicadora del bosque llamado ASPIDOSPERMA/POUTERIA/BROSIMUM. Las UMF más relacionadas a este tipo de bosque son Yaloch, Río Chanchich, Chosquitán, La Unión, Las Ventanas y Uaxactún.

En los bosques del Parque Nacional Laguna Lachuá, Cobán, Guatemala, *Calophyllum brasiliense* muestra una abundancia de 2.5 individuos ≥ 20 cm Dap por ha. Presenta un Índice de Valor de Importancia⁵ (IVI) de 20, que lo coloca en la quinta posición de importancia dentro del conjunto de árboles del dosel superior, después de *Dialium guianense*, *Ledenbergia macrantha*, *Virola koschnyi* y *Vochysia guatemalensis*, de *Terminalia amazonia* (en orden ascendente). En estos bosques, el Santamaría tiene adecuada representación en todos los estratos verticales del rodal.

En la concesión comunitaria de San Miguel La Palotada, dentro de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM), Petén, Guatemala, se identificaron tipos de bosque con base en la semejanza florística y estructural entre parcelas de inventario de 1 ha, donde se midieron los árboles a partir de 10 cm de DAP. El Santamaría presenta su mayor densidad dentro de la unidad en el bosque de mano de león – manax-, con 3.6 árboles/ha, al igual que la caoba de Petén (3.6 arb/ha en este mismo tipo de bosque), pero con mayor número de individuos que el cedro (que cuenta 2.4 arb/ha en este mismo bosque). Las especies que dominan este bosque son mano de león *Dendropanax arboreus*, manax *Pseudolmedia spuria*, chechén blanco *Pleradenophora tuerckheimiana*, zapotillo de hoja fina *Pouteria durlandii* y amapola *Pseudobombax ellipticum*; la especie comercial de mayor presencia es el chicozapote *Manilkara zapota*, con 19.6 arb/ha, y la mejor maderable el malerio colorado *Aspidosperma megalocarpon*, con unos 12.4 arb/ha (CATIE 2001).

También en las comunidades boscosas de San Miguel La Palotada, pero en un área de estudio mucho mayor al área de la concesión anteriormente citada, Girón (1997) reconoció tres paisajes fisiográficos (*Colinas Altas de La Palotada*, *Colinas Bajas de La Palotada* y *Planicie de La Laguna La Canoa*), y estudió en un perímetro de investigación de cada paisaje las relaciones de *Calophyllum brasiliense* con el medio arbóreo que lo rodea, mediante parcelas de muestreo de 2500 m², donde se midieron los árboles a partir de 10 cm dap. El paisaje *Colinas Altas de La Palotada*, que está cubierto por el bosque de mano de león – manax anterior, alberga la mayor población de Santamaría (13.3 arb/ha), abundancia mayor a la indicada por CATIE (2001), de toda evidencia por la distribución mucho más compacta de las parcelas de muestreo del presente estudio.

⁵ El Índice de Valor de Importancia (IVI) define cuáles de las especies presentes contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema (Cottam y Curtis, 1956)

En las áreas de aprovechamiento anual (AAA) 2005-2006 de 11 concesiones forestales ubicadas en la RBM, el Santamaría mostró una abundancia media de 0.87 árboles con $dap \geq 30$ cm por hectárea (rango 0.0-5.49), según los datos de los respectivos censos comerciales (a manera de comparación, la caoba presentó en las mismas AAA una abundancia media de 2.25 arb/ha, pero el cedro solamente de 0.15) (Grogan et al. 2017). La densidad promedio de árboles de tamaño comercial >60 cm de diámetro fue de 14 árboles por 100 ha (rango: 0–73) –donde debe aclararse que la mayoría de las unidades de manejo fijan un diámetro mínimo de corta (DMC) para *Calophyllum* menor, entre 45 y 55 cm (solo Yaloch y Chanchich lo tienen en 60). Se encontraron extremadamente pocos árboles >90 cm de diámetro (rango: 0 a 1 por cada 100 ha), lo que confirma que *Calophyllum brasiliense* es una especie maderable de porte medio en la ZUM, en términos de diámetro del fuste.

En México, en el Istmo de Tehuantepec en Oaxaca, sur de Veracruz, oeste de Tabasco y norte de Chiapas (selva Lacandona), *Calophyllum brasiliense* es especie muy abundante y codominante de la selva alta perennifolia junto con *Terminalia amazonia*, *Dialium guianense* y *Guatteria anomala* (Vázquez et al. s.f., Pennington y Sarukhán 1998).

LUGARES DE INTRODUCCIÓN: La especie se encuentra naturalizada en las Bermudas y ha sido introducida en el sur de la Florida. Fuera de su área de distribución natural, ha sido plantada con fines madereros en Florida y Hawái.

Importancia de la especie en el país

Basado en Grogan et al. (2015), Segura (2012), FAO (2004), Cordero y Boshier (2003), Estadísticas PINFOR 1998-2015⁶, Estadísticas PINPEP 2007-2015⁷

El Santamaría es una de las cinco especies maderables principales explotadas en la actualidad en la Reserva de la Biósfera Maya. En el 2013, este grupo de cinco conformó el 95% del volumen de madera cosechado en las concesiones, donde 55% lo aportaron *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*, mientras que el 40% restante correspondió a las tres especies adicionales *Lonchocarpus castilloi* (manchiche), *Bucida buceras* (pucté) y *Calophyllum brasiliense* (Santamaría), según información del CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas) y de Forescom (Empresa comunitaria de servicios del bosque). (Grogan et al. 2015).

Es una especie latifoliada seleccionada para comercialización en el último inventario forestal nacional (FAO 2004), dentro del grupo de las especies con mercado potencialmente desarrollado (son aceptadas para ciertos usos, se venden solo a usuarios específicos y a precios menores que las especies latifoliadas con mercado totalmente desarrollado). CONAP la clasifica como ACTCOM, una especie maderable actualmente comercial, pero con valor menor a la caoba y el cedro⁸.

⁶ INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2018. Base de datos PINFOR-PROBOSQUE (Programa de Incentivos forestales y Programa de Incentivos para la recuperación, establecimiento, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala) 2000-2018. Guatemala, departamento de Incentivos forestales del INAB.

⁷ 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.

⁸ Zac Cruz, W. 21 oct. 2013. Archivo Excel *Listado de especies arbóreas inventario integrado de Petén 2*. San Benito, Guatemala, CONAP Región VIII.

Con base en estadísticas del CONAP, Segura (2012) precisa que el Santamaría es la segunda especie más aprovechada de la RBM, después de la caoba de Petén, con más del 18% de los volúmenes de extracción.

No es una especie cuya madera aserrada se exporta (o muy poco); el mayor volumen exportado sale como productos semi terminados o terminados. A manera de ejemplo, de la producción de puertas indicada en el acápite anterior, un 37.5% se consume en el mercado nacional, mientras que 7.5% se exporta a Centroamérica, 25% se destina a Estados Unidos de América y Europa y 30% va a México (Cordero y Boshier 2003).

En Guatemala, el área de Santamaría establecida mediante plantaciones forestales puras con incentivos forestales (PINFOR, PINPEP y PROBOSQUE) hasta finales del año 2018 sumaba una cantidad de 1491.50 ha; la cantidad de área reforestada hasta el año 2018 ubicaba a la especie en el lugar 10 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 4 departamentos de Guatemala, distribuidas en 22 municipios del territorio nacional.

Santamaría ha sido plantada esencialmente en la zona norte de Guatemala, principalmente en el área denominada "franja transversal del norte". Alta Verapaz presenta la mayor extensión de plantación (687.17 ha), seguido de las 310 hectáreas establecidas en el departamento de Quiché y el tercer departamento con mayor superficie de plantación con la especie es Petén (286.08 hectáreas). En Guatemala, los primeros cinco municipios con mayor existencia de plantaciones puras de Santamaría son: 310 hectáreas en Ixcán, Quiché; 284.54 en Cobán, Alta Verapaz; 208.20 hectáreas en Santa María Cahabón, Alta Verapaz; 141.13 hectáreas en Livingston, Izabal; y 131.21 hectáreas en Sayaxché, Petén.

La aptitud de crecimiento de la especie ha sido uno de los motivos para incrementar las áreas de introducción mediante sistemas agroforestales aunque aún no se aprovecha del todo, de esa cuenta, hasta finales del año 2017, de acuerdo con la base de datos de PINPEP del INAB, se registra la existencia de 19.20 hectáreas de Santamaría en sistemas agroforestales –SAF-, la modalidad de SAF preferida por los poseedores es la de "árboles forestales en asocio con cultivos perennes (árboles de sombra)".

La mayoría de las plantaciones de Santamaría se establecieron en condiciones mixtas (85% en plantaciones mixtas, 4% en manejo de regeneración natural y 1% en sistemas agroforestales). Es la única latifoliada, junto con la caoba, que está presente en las cuatro modalidades de plantación incentivadas; su uso en sistemas agroforestales es modesto (apenas 19.7 ha, en su casi totalidad en Livingston, Izabal), pero el manejo de su regeneración natural abarca 54 ha, la segunda superficie en esta modalidad de las latifoliadas, después del Sanjuán *Vochysia guatemalensis*.

La tendencia de las reforestaciones de Santamaría durante el año 2000 al 2010 expresan un promedio de 115.6 hectáreas reforestadas anualmente, a partir del año 2011 la preferencia por reforestar Santamaría ha disminuido considerablemente, a tal grado que en el periodo 2011 al 2018 se reportan áreas de 23.34 hectáreas reforestadas anualmente en los últimos 7 años, datos obtenidos según registros de áreas incentivadas mediante el programa PINFOR y PROBOSQUE del INAB.

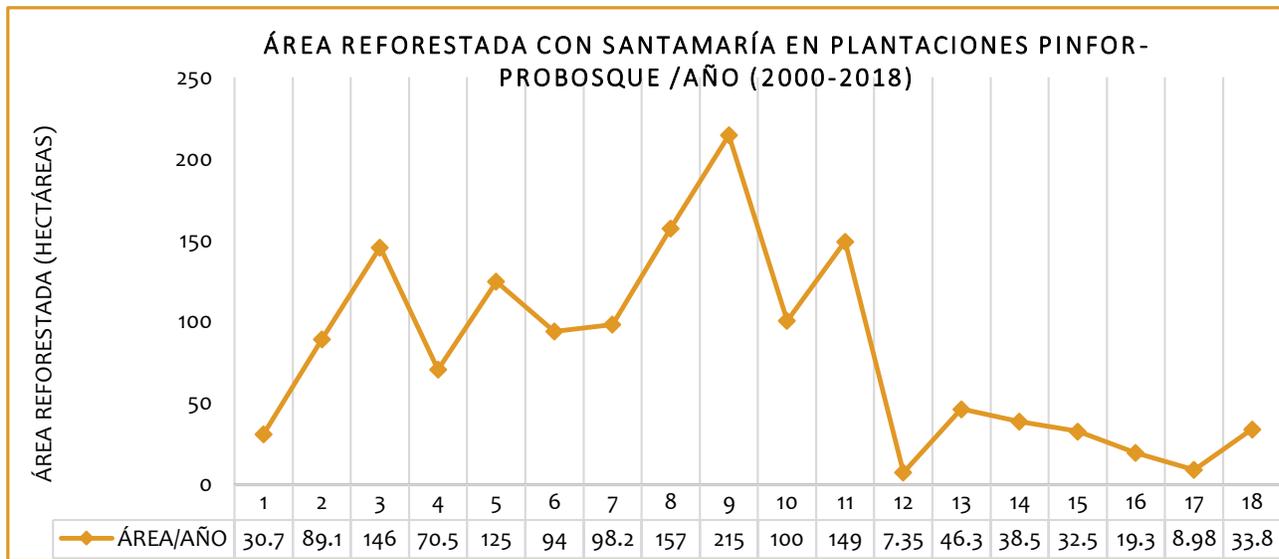


Figura 4. Tendencia del comportamiento de las reforestaciones de Santamaría en Guatemala mediante los programas de incentivos forestales PINFOR, PINPEP Y PROBOSQUE, del año 2000 al 2018.

En la gráfica anterior, la reforestación del año 2000 representa al valor de área/año No. 1 en la gráfica, el año 2016 representa el valor del área/año No. 17 en la gráfica, y los años 2017 y 2018 se representan en un mismo espacio como área/año No. 18 en la gráfica. Puede observarse que el año 2008 se reforestaron 214.5 hectáreas de Santamaría, el mayor área anual plantado de la especie en programas de incentivos forestales.

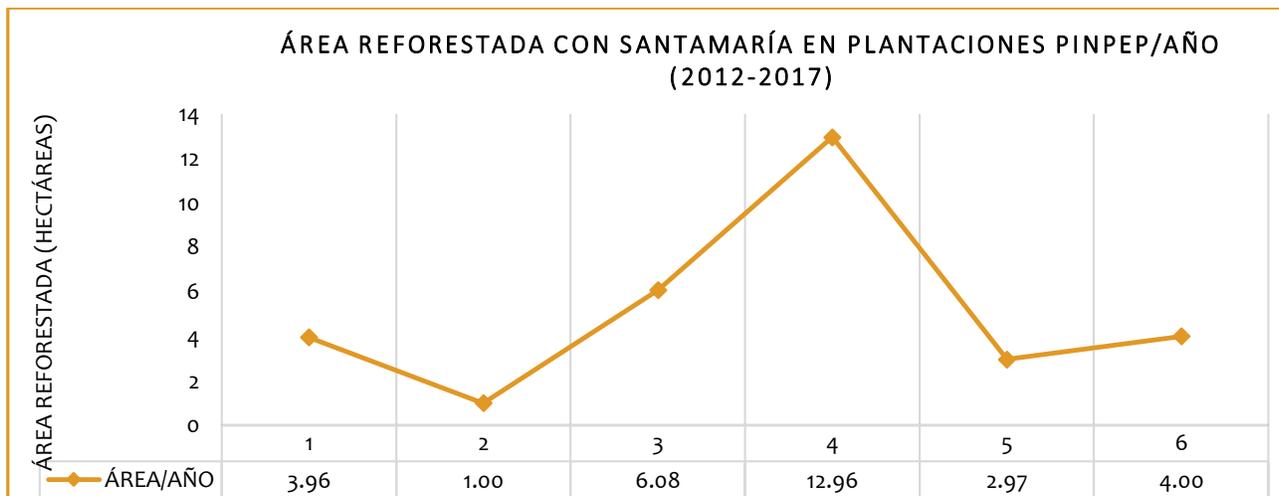


Figura 5. Tendencia del comportamiento de las reforestaciones de Santamaría reportadas a nivel nacional en la historia del programa PINPEP.

En cuanto a Sistemas Agroforestales (SAF), existen 7 proyectos reportados desde el año 2012 a 2017, ascendiendo a un área de 19.2 ha en total, siendo los SAF existentes: 4 SAF de árboles forestales con cultivos perennes (árboles de sombra), 2 sistemas silvopastoriles y 1 SAF de árboles forestales con cultivos anuales.

Aptitud forestal – agroforestal

Basado en Cordero y Boshier (2003), Longwood (1962), López (1999), Forster et al. (2002), NPV (2000), Grogan et al. (2017), Weaver (2000), Vázquez et al. (s.f.)

Cordero y Boshier (2003) reportan que la madera de *Calophyllum brasiliense* ha sido utilizada para construcción de botes desde el siglo XVII, lastimosamente sin precisar dónde (muy probablemente en una de las excolonias británicas de las Antillas). Es así como la madera es conocida y apreciada desde mucho tiempo, pero sin llegar a ser producto de exportación. Sin embargo, hace más de 50 años, Longwood (1962) escribía en su síntesis de los conocimientos sobre las especies maderables menos conocidas del Caribe, que Belice contaba con existencias exportables de Santamaría. Según López (1999), de todas las especies encontradas en los bosques de Petén hasta el año 1991, solo dos, la caoba y el Santamaría eran aprovechadas en gran escala para producción de madera rústica, mientras que el cedro *Cedrela odorata* era utilizado, aunque en menor cantidad dados los bajos volúmenes disponibles (sobrexplotación).

Forster et al. (2002) reportan que Santamaría a su línea de producción en 1998, un año después de haber iniciado sus operaciones forestales. Las actividades extractivas de cada concesión forestal dentro de la Reserva de la Biósfera Maya (RBM) en Petén, Guatemala, están reguladas por criterios de manejo sostenible (CONAP 2012, Manzanero 2005a+b, Grogan et al. 2017), buscando la certificación del FSC (Forest Stewardship Council). Esto vale para la Unidad de Manejo Río Chanchich, cuyo Plan general de manejo integrado (PGMI) para el periodo 2001-2022 (NPV 2000) muestra que el Santamaría es la especie maderable de mayor frecuencia dentro del área productiva de la Unidad, y de mayor abundancia (10.3 arb/ha con $dap \geq 25$ cm). En Río Chanchich, el Santamaría posee una estructura poblacional con buena distribución diamétrica (sigue más o menos la j-invertida), y presenta pocos problemas en su manejo bajo un sistema silvicultural poli cíclico. Por estas razones, el Santamaría ha sido puesto, según el PGMI, en el grupo de las especies maderables actualmente comerciales (ACTCOM) y su madera se aprovecha.

Si bien el Santamaría es la especie número uno en el estrato localizado en el área central entre Flores y Naranjo (frontera), con el 11% del volumen total (Inventario Forestal de Petén (UNEPET/SEGEPLAN 1992 citado por López 1999), su distribución no es similar en todo Petén, y hay áreas donde está ausente. Sin embargo, la especie pertenece al grupo de cinco que, juntas, representan el 95% del volumen maderable cosechado en el 2013 en la RBM. Una investigación reciente sobre el estado de conservación de las poblaciones de estas cinco especies maderables generó conclusiones acerca del futuro del Santamaría en 11 concesiones forestales de la RBM positivamente prudentes: "Con un grado de certeza intermedio, la mayoría de las poblaciones de *Calophyllum brasiliensis* recuperarán las densidades comerciales precosecha durante el primer ciclo de corta. El volumen de producción será menor, en promedio, durante las segundas y terceras cosechas, pero la disminución no será tan extrema como la de *Cedrela*."

Los fustales, latizales y brinzales de *Calophyllum brasiliensis* se encuentran presentes de manera consistente en los POAF (Planes Operativos de Aprovechamiento Anual), con densidades relativamente altas. Los tratamientos silviculturales deberían utilizarse para mejorar la regeneración y la supervivencia, e impulsar el crecimiento y el futuro rendimiento de madera." (Grogan et al. 2017).

Los programas de reforestación PINFOR y PINPEP promueven el uso del Santamaría, especie considerada prioritaria institucionalmente, para establecer plantaciones forestales para la producción de madera, manejo de regeneración natural o como componente de sistemas agroforestales. Sin embargo, la especie no ha logrado demostrar aptitud fuera del bosque natural, identificándose pocas plantaciones con buenos resultados.

Durante la sistematización de experiencias en febrero de 2019 se observaron muy buenos crecimientos en algunas plantaciones forestales mixtas, como "Talita Kumi" que tiene un incremento medio anual (IMA) en DAP de 1.47 cm versus 1.36 cm de DAP en especies de Caoba del Petén, así mismo un IMA de 1.0 m de altura en Santamaría al igual que 1.0 m en altura de IMA en Caoba Del Petén; en tal sentido, podemos concluir que el arreglo mixto ha permitido que Santamaría manifieste incrementos que lo categorizan en un índice de sitio "bueno", sin embargo, pocos árboles manifiestan el potencial natural de la especie, es decir, pocos árboles presentan un solo eje (un solo fuste), altos y rectos.

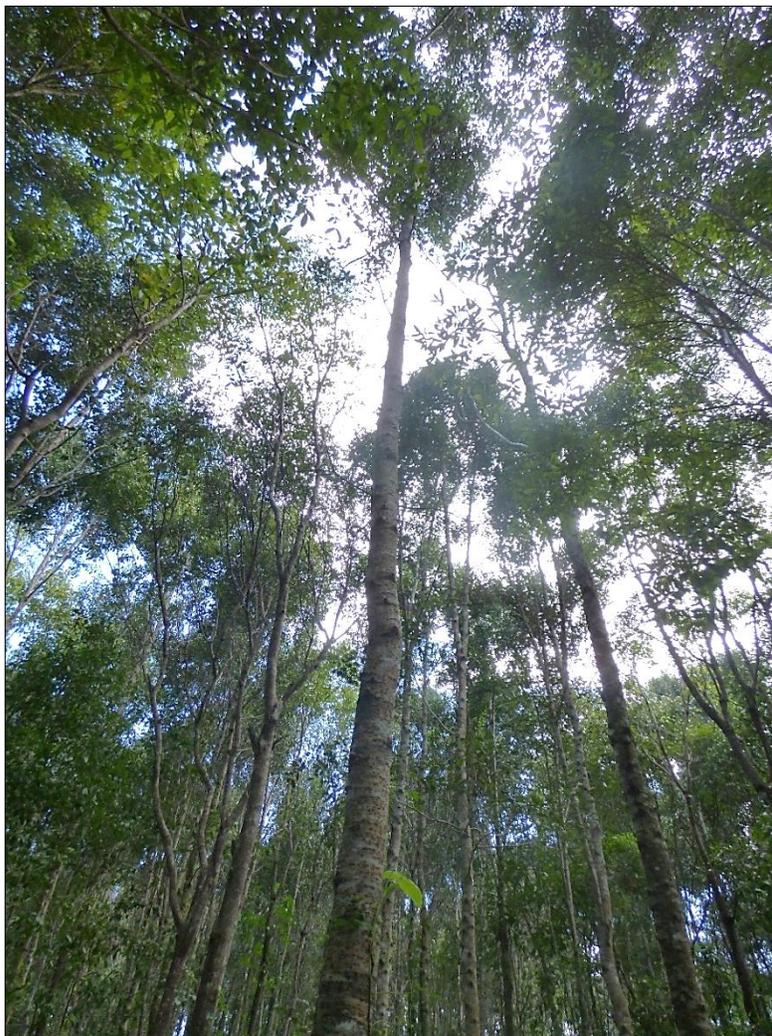


Figura 6. Plantación mixta de Santamaría y Caoba, finca Talita Kumi, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala.

Entonces, es de suma importancia considerar que Santamaría es una especie exigente y que será imprescindible que se atiendan las recomendaciones de sitio y prácticas de manejo para favorecer la aptitud de la especie a fin de alcanzar resultados competitivos, que por el momento, no ha sido el caso para las plantaciones puras, o como mezcla con otras especies, incluyendo sistemas agroforestales.

A este respecto, es interesante observar las experiencias como la de finca Río Escondido en Chisec, Alta Verapaz, Guatemala, donde el principal uso o actividad es la ganadería, al cual se destinan los suelos planos y con mejor acceso, mientras que en los suelos con pendiente media al pie de los cerros se han establecido sistemas agroforestales de Santamaría en asocio con Cardamomo y aunque el asocio ha sido favorable y se obtienen aceptables de rendimientos de cardamomo *Elettaria cardamomum*, después de 6 años, los árboles de Santamaría no han demostrado su potencial. Al respecto el propietario indicó no tener la certeza de la procedencia de la semilla y establecer algún efecto asociado a su procedencia, debido a la dificultad de disponer de semilla certificada.



Figura 7. Sistema agroforestal de Santamaría en asocio con cardamomo, en finca Río Escondido, Chisec, Alta Verapaz, Guatemala.

Otro sitio con resultados similares para la especie, se observaron en finca particular, ubicada en Aldea Cari, Ixcán, Quiché, Guatemala, donde la plantación de Santamaría presenta alta ramificación a baja altura. En esta área donde también se encuentra un rodal de San Juan *Vochysia guatemalensis* en la que se han iniciado labores de aprovechamiento para dicha especie, mientras que Santamaría después de 18 años, aun no adquiere las características deseadas para estos fines, la fenología que expresan los árboles permiten asociar el desarrollo actual con la procedencia de la semilla.



Figura 8. Plantación pura de Santamaría de 15 años, mostrando ramificación, bifurcaciones y torceduras basales, en finca particular, Aldea Cari, Ixcán, Quiché, Guatemala.

Aunque se establece con facilidad mediante la siembra directa de semillas y crece bien en casi cualquier tipo de suelo, está comprobado su lento crecimiento en los primeros años después de su establecimiento. La adaptabilidad del árbol a una variedad de sitios en Puerto Rico lo ha hecho popular para la rehabilitación de las tierras degradadas. Se ha usado para estabilizar suelos y reducir la compactación de suelos en pastos degradados.

En Costa Rica se ha utilizado en plantación pura para la recuperación de pastizales degradados, aunque bajo este sistema y debido a su lento crecimiento inicial, requiere un control de malezas intensivo durante los 3-4 primeros años. En México también consideran que la especie tiene potencial para reforestación productiva en zonas degradadas de selva.

Tiene buen potencial como árbol maderable del estrato alto, plantado a baja densidad, en sistemas de estratos múltiples. En las Antillas se ha plantado como árbol de sombra para café y cacao. Es una especie recomendada para sistemas agroforestales ya que su lento crecimiento inicial permite aprovechar el terreno para otros cultivos durante dos o tres cosechas según el cultivo, o combinándola con árboles frutales. Puede usarse también en el enriquecimiento de barbechos.

Tiene un gran potencial para ser usada en cortinas rompe vientos y es resistente a muchos herbicidas empleados en agricultura. Tiene buen uso ornamental por la belleza del follaje y se planta a menudo como sombra en parques y orillas de carreteras, o como protección contra el rocío salino en áreas cerca del mar. Con frecuencia se le poda para formar un seto denso a lo largo de los límites de las propiedades en áreas urbanas.

Usos

Basado en Flores (2010), Weaver (2000), Cordero y Boshier (2003), Forster et al. (2002), Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003), Casasola (1988), López (2008), Vázquez et al. (s.f.), García-Zebadúa et al. (2014)

La madera del Santamaría tiene excelentes características y se utiliza ampliamente en los trópicos, debido a su versatilidad. Es una madera rojiza con un peso específico parecido a *Swietenia macrophylla* (0.4 a 0.55 g/cm³), que se constituyó en un sustituto directo de la caoba de Petén en Guatemala, donde existe en volúmenes interesantes en Petén.

El duramen varía de un color rosado amarillento hasta castaño rojizo, muy parecido a la caoba, y presenta con frecuencia estrías oscuras. La albura es cremosa rosada a rosa grisáceo, con un grosor de 2.4-2.7 cm. Brillo medio, olor y sabor no son característicos (olor desagradable según Casasola (1988)). La madera es moderadamente pesada: 0.45-0.55 (Flores 2010), 0.56 (CUPROFOR citado por Forster et al. 2002), 0.51-0.57 (Weaver 2000), 0.45-0.72 g por cm³ (Cordero y Boshier 2003). Textura media-fina, bastante uniforme; grano generalmente entrelazado, a veces recto.

Sus propiedades físicas y mecánicas son buenas; es moderadamente estable en uso y puede ser comparado con la caoba o el pino oregón. Cambio dimensional mediano; la contracción volumétrica es alta, pero las contracciones radial y tangencial son normales y la razón de contracción es buena. El duramen es extremadamente difícil de impregnar con preservativos ya sea bajo presión o usando baños en tanques abiertos, la absorción es pobre, y la penetración es nula. Al inverso, la albura es fácil de impregnar. La madera es bastante resistente a las termitas. Después de un año de permanencia en el suelo, la madera muestra un daño moderado, producido por termitas y hongos. Después de 2 a 3 años de exposición al aire de la madera, hongos e insectos le producen un daño leve. La madera a nivel del suelo o enterrada recibe un daño más severo. La madera es altamente resistente a la pudrición parda y resistente a la pudrición blanca.

No tiene resistencia apreciable, ante el ataque de taladradores marinos. La madera es muy durable, cuando se usa en construcción de botes o canoas y en construcción de exteriores. Es moderadamente difícil de secar al aire y muestra un torcimiento de leve a severo; por ello, es mejor cortar las tablas radialmente. La madera es moderadamente difícil de aserrar y cortar, y es moderadamente fácil de trabajar por el grano entrecruzado y la dureza media. El cepillado en las superficies tangenciales puede ser difícil, en especial cuando el grano es entrecruzado (se astilla). Las propiedades de pulido son medianas.

Para el torneado, cepillado y taladrado tiene calidad por debajo de la media. Sostiene los clavos, tornillos y grapas con firmeza, pega bien y admite tintes. Lustre medianamente bajo, diseño agradable, su figura presenta arcos superpuestos y reflejos dorados.

En la actualidad, el Santamaría cuenta con una demanda consolidada para ebanistería, como sustituto de caoba, carpintería y construcción de interiores y exteriores. Es una buena madera de utilidad general dondequiera que se necesite una madera considerablemente fuerte y moderadamente durable. Es adecuada para la construcción de estructuras de puentes, casas rurales, pisos, cobertura de techos (tejamaniles), muebles, mangos y herramientas agrícolas. En Belice, se usó para sustituir traviesas con creosote importadas, pero fue necesario reemplazarlas después de 3 a 4 años. En México se intentó usar la madera en la industria de la chapa decorativa y los tableros en capas sin éxito considerable. La madera es muy durable, cuando se usa en construcción de botes (costillas, mástiles, quillas, armaduras y pisos de embarcaciones) o canoas y en construcción de exteriores. Las fibras pueden utilizarse para hacer papel.

En Guatemala, el Santamaría se usa para la producción de *muebles de alta calidad*, producción de puertas (para el mercado interno y externo) y producción de pisos. Las semillas proporcionan aceites, que en algunas comunidades rurales en México se ha usado para iluminación y curar enfermedades cutáneas. La corteza, hervida por 25 minutos produce un tinte de color pardo, excelente en la tinción de fibras naturales. Contiene un aceite esencial semejante al del sándalo. Las hojas pueden ser usadas en parches medicinales antiinflamatorios y en infusiones para el asma y problemas estomacales. La resina, llamada bálsamo de maría, ha sido usada medicinalmente para controlar la comezón de la piel, cicatrizar úlceras y reducir fiebres y sanar heridas. En Petén, Guatemala, se coloca en una tela, se calienta y se pone sobre el bazo para reducir su hinchazón. En El Salvador se usa para cicatrizar el ombligo de los recién nacidos. También tiene propiedades laxantes. En México se usa también como aglutinante e impermeabilizante en la elaboración de papel de corteza. Los frutos son buen alimento para cerdos y son usados con este propósito en Puerto Rico y países sudamericanos. Los frutos y brotes tiernos de esta especie son fuente de alimento para una gran cantidad de animales del bosque.

En los últimos años, el género *Calophyllum* en general, y *Calophyllum brasiliense* en particular han despertado gran interés a nivel mundial dentro del área químico-farmacológica-médica, por biosintetizar compuestos que tienen la propiedad de inhibir la replicación del virus de inmunodeficiencia humana tipo 1 (VIH-1), colocándolos como fuertes candidatos para ser incorporados al cuadro de medicamentos antirretrovirales.

Estado de protección legal de la especie en el país

Basado en CONAP (2009), Ramírez et al. (2012), Vivero et al. (2006)

Calophyllum brasiliense es una especie protegida por el CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas) mediante el listado de especies amenazadas (LEA). La institución le asignó la categoría 3, la cual incluye a las especies que, si bien en la actualidad no se encuentran en peligro de extinción, podrían llegar a estarlo si no se regula su aprovechamiento. Su aprovechamiento con fines comerciales se regula a través de planes de manejo técnicamente elaborados, los cuales serán aprobados siempre y cuando se garantice la sobrevivencia y estabilidad de las poblaciones de la especie. Su uso en áreas protegidas requerirá una evaluación ambiental inicial.

La especie no aparece en los listados de especies amenazadas del CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres), ni tampoco en la lista roja de especies amenazadas de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza).

4. Selección de sitio

Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie

Basado en Salazar et al. (2000), Flores (2010), Cordero y Boshier (2003), Raigoso y Leiva (2012), Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003), Girón (1997), Castañeda (2013), Gómez (2008), Grogan et al. (2015), Pennington y Sarukhán (1998), Vázquez et al. (s.f.), Aguilar y Aguilar (1992), Stevens et al. (2001) citado por López (2008), Román et al. (2012), Weaver (2000), NPV 2000

Clima

TEMPERATURA: En el área de distribución de *Calophyllum brasiliense*, prevalece una temperatura media anual entre 24-28°C (Salazar et al. 2000, Flores 2010). Cordero y Boshier (2003) y Raigoso y Leiva (2012) amplían este rango: 20-28°C, con temperaturas extremas de 24-31°C para la temperatura máxima media del mes más cálido y 16-25°C para la temperatura mínima media del mes más frío. Flores-Vindas y Obando-Vargas (2003) amplían aún más el rango para las condiciones de Costa Rica: 18-32°C.

En Guatemala, Girón (1997) para el área de uso múltiple adyacente al lado oeste del biotopo El Zotz, y Castañeda (2013) para Ixcán y el norte de Cobán reportan una temperatura media anual de 23°C, observándose temperaturas mínimas y máximas de 9°C y 42°C.

Gómez (2008), en su estudio de las características de sitio que determinan el crecimiento inicial de *Calophyllum brasiliense* en Guatemala, encontró la especie plantada en lugares con temperatura media anual mayor a 24°C, con un incremento medio anual en altura total mayor a 1.25 m/año, pero las mayores productividades (incremento medio anual en volumen >3.5 m³/ha/año) se observan en sitios con temperatura media anual entre 16.8-25.6°C.

PLUVIOMETRÍA: El Santamaría crece en sitios con precipitación media entre [1,350] 1,800-3,500 [4,000] mm por año, con una estación seca de 0 a 3 meses (Salazar et al. 2000, Cordero y Boshier 2003, Raigoso y Leiva 2012). Flores (2010) considera que la especie necesita más agua (precipitación anual de más de 3000 mm), pero Grogan et al. (2015) aseguran que la especie crece bien en sitios donde la precipitación anual excede los 1,500 mm. En el municipio de San Andrés, Girón (1997) reporta una época seca de 4 meses, entre febrero y mayo.

Gómez (2008) coincide en que los mejores crecimientos de la especie en plantación (incremento medio anual en altura total > 1.25 m/año) se dan en lugares de Guatemala con precipitación media entre 1757-3368 mm por año, pero que las mayores productividades (incremento medio anual en volumen >3.5 m³/ha/año) se observan en sitios con precipitación media anual entre 3368 y 4400 mm.

ZONA DE VIDA: *Calophyllum brasiliense* es un árbol de dosel típico de los bosques húmedos tropicales (húmedo, muy húmedo y pluvial, desde tierras bajas perennes hasta bosques pre montanos y montanos bajos, bosques de galería y orillas de ríos periódicamente inundadas). En el norte de su área de distribución, se encuentra principalmente como componente de selvas altas perennifolias o medianas subperennifolias y subcaducifolias.

En México, *Calophyllum brasiliense* llega a ser, en su distribución vertical, un componente del bosque de encino y del bosque de pino-encino. En Guatemala es componente del bosque húmedo y muy húmedo tropical (originalmente llamados subtropical).

Fisiografía

ALTITUD: El Santamaría crece a bajas y medianas elevaciones, y se encuentra desde el nivel del mar hasta [1400] 1500 [1700] msnm. En las Antillas, se encuentra cerca de la costa, y en México, Pennington y Sarukhán (1998) limitan la amplitud altitudinal de la especie hasta los 600 o 650 [800] msnm.

En Guatemala, Aguilar y Aguilar (1992) reportan *Calophyllum brasiliense* entre 1-1200 msnm. Sin embargo, Castañeda (2013) propone establecer plantaciones con esta especie hasta 1600 msnm en la región de Ixcán-norte de Cobán. Gómez (2008) concuerda en que la especie muestra productividad aceptable hasta elevaciones menores a 1420 msnm, pero observa que conforme aumenta la elevación sobre el nivel del mar disminuye el crecimiento, y precisa que los mejores crecimientos de la especie en plantación (incremento medio anual en altura total > 1.25 m/año) se observan en lugares del país con elevaciones entre 148 a 462 msnm.

PENDIENTE DEL TERRENO: La especie se desarrolla bien en terrenos moderada a levemente accidentados. En Guatemala, Gómez (2008) concuerda en que la especie crece mejor en sitios con pendientes menores a 22%, pero sin llegar a ser terrenos llanos: las planicies no convienen al Santamaría, que requiere de áreas por lo menos ligeramente inclinadas. En San Miguel La Palotada, Girón (1997) confirma que, en condiciones de bosque natural, el Santamaría muestra mayor presencia en sitios con pendientes entre 14-45%.

POSICIÓN EN EL PAISAJE: El Santamaría crece bien en las faldas de pequeñas colinas, en particular las colinas de áreas costeras. En su estudio de las plantaciones de *Calophyllum brasiliense* en Guatemala, Gómez (2008) estableció que los mejores crecimientos (incremento medio anual en altura total > 1.25 m/año) se observan desde las cimas hasta las laderas inferiores de las colinas. También se encuentra en cañadas y planicies cercanas a ríos, arroyos, pantanos, lagunas o ciénagas, donde incluso puede tolerar inundaciones estacionales ocasionales, pero allí su crecimiento es menor.

En Guatemala, en el área de uso múltiple adyacente al lado oeste del biotopo El Zotz, Girón (1997) determinó que el Santamaría se desarrolla mejor en las Colinas Altas de la Palotada, que en sitios menos quebrados o planos (Colinas Bajas de la Palotada, Planicie de la Laguna La Canoa). Los bosques de la unidad de manejo Río Chanchich en Melchor de Mencos, enseñan lo mismo: el Santamaría muestra una mayor presencia en los estratos A y B, cuyo relieve consta de pequeñas ondulaciones con pendiente hasta 15% y drenaje regular, que en el estrato C, con drenaje malo y alta susceptibilidad a inundaciones por periodos de tiempo cortos a regulares (NPV 2000).

ASPECTO/EXPOSICIÓN: En Guatemala, la especie crece mejor en el arco de exposiciones que van de este a oeste pasando por el sur: el desarrollo de la especie es más lento en el norte y en lo plano (Gómez 2008).

Suelo

TEXTURA: *Calophyllum brasiliense* es una especie generalista de sitio y de suelo; desarrolla sobre una variedad de suelos: aluviales, arenosos, arcillosos, ricos en sílice, derivados de material calizo o ígneo metamórfico, profundos, poco húmedos, muy húmedos hasta saturados de agua e inundables, ácidos (pH 4.5 a 6.0), de textura media a pesada.

Desarrolla bien en los suelos extremadamente laterizados o fuertemente meteorizados, ricos en hierro y aluminio pero pobres en potasio y fósforo, por lo que se utiliza la especie para la restauración de suelos degradados y ácidos (Wightman et al. 2001 citado por Raigoso y Leiva 2012).

Crece en condiciones de drenaje desde libre a impedido; y aunque crece mejor en condiciones de suelos húmedos, tolera los suelos de drenaje rápido (Devall y O'Rourke 1998 citado por Grogan et al. 2015).

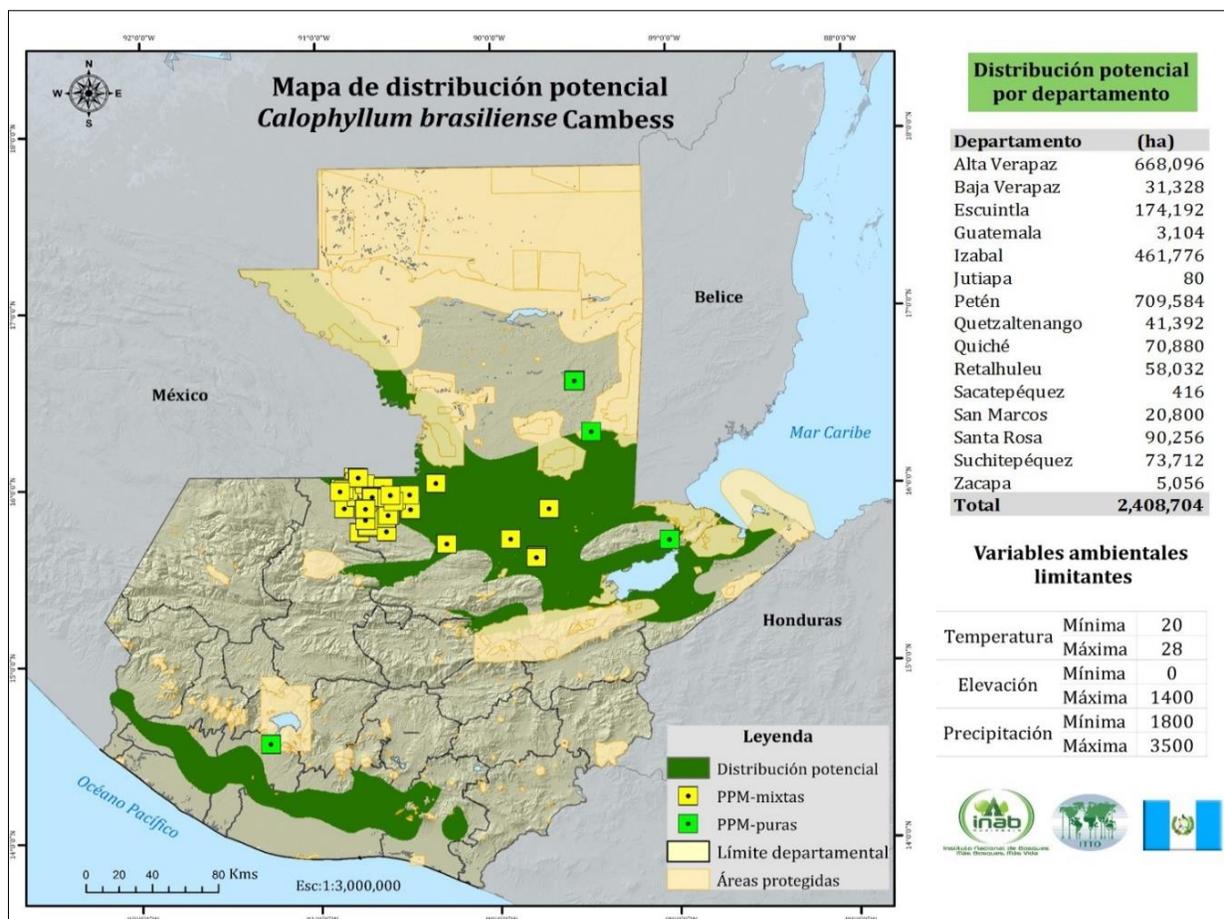
A pesar que la especie se encuentra con frecuencia en tierras inundables del Amazonas, muestra un comportamiento diferente en la parte norte de su área de distribución natural, donde prospera en suelos con buen drenaje. Esta preferencia se observa no solo en México (Pennington y Sarukhán 1998, Vázquez et al. s.f.), sino también en Petén, Guatemala, donde la especie presenta un mayor número de individuos y una estructura poblacional con mayor regeneración asegurada en los paisajes que ostentan buen drenaje que en aquellos con drenaje impedido y riesgos de inundación (Girón 1997, NPV 2000).

Como resultado de su investigación en plantaciones de *Calophyllum brasiliense* establecidas en 9 subregiones del INAB en Guatemala, Gómez (2008) precisa las siguientes características del suelo que promueven un crecimiento alto del Santamaría: ácido a neutro (pH 4.4-7.1); (P 3-6 ppm, K 25-85 ppm, Zn < 1.5 ppm, Fe < 51 ppm, [Ca < 23, CIC 5-59] cmol/100g suelo); textura franco arcilloso, franco, franco arenoso; profundidad efectiva > 49 cm. No encontró diferencias estadísticamente significativas en el crecimiento entre sitios con drenaje libre versus impedido, ni tampoco entre sitios con pedregosidad baja, media y alta (a pesar que los mayores crecimientos y productividades se encuentran en drenaje libre, y pedregosidad baja). Considera que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) no influye en mucho sobre el crecimiento de la especie, ni tampoco el nivel de magnesio. Por ende, observa que el Santamaría disminuye su productividad en suelos arcillosos, pero la aumenta en suelos limosos.

FACTORES LIMITANTES: El Santamaría no tolera la sequía. Tampoco le gustan áreas planas, y requiere de terrenos por lo menos ligeramente inclinadas para un buen desarrollo.

Distribución potencial de la especie en Guatemala

El departamento de Investigación Forestal del INAB, en coordinación con el departamento de Sistemas de Información Forestal de la misma institución, ha elaborado el siguiente mapa de la distribución potencial del Santamaría, a partir de información fisiográfica y climática obtenida mediante revisión bibliográfica (Benítez y Montesinos 1988, Vázquez et al. s.f., Cordero y Boshier 2003, Salazar et al. 2000), y disponibilidad de variables ambientales en la cartografía nacional (Cojóm 2015, y Hurtado 2016). Este mapa no toma en consideración la variable suelo, por lo que es todavía es preliminar.



Fuente: (Cojóm 2015, y Hurtado 2016⁹)

Figura 9. Mapa preliminar de distribución potencial de la especie Santamaría *Calophyllum brasiliense* Cambess en Guatemala.

El mapa muestra además la ubicación de las parcelas permanentes de medición Forestal (PPMF) establecidas en plantaciones de Santamaría, tema que será tratado más adelante en el acápite "Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala".

A pesar de una madera de excelente calidad sustituta de la caoba, el Santamaría no atrae: de los 12 departamentos con área de distribución potencial mayor a 5 mil hectáreas, solamente 4 han plantado la especie con empeño. Este grupo, conformado por los departamentos nor-orientales de Petén, Izabal, Alta Verapaz y Quiché, aprovecharon en promedio el 0.7% de su área potencial para establecer la especie. Todos los departamentos de la costa sur sin excepción ofrecen condiciones ambientales favorables para la siembra de *Calophyllum brasiliense*, pero es solamente en San Marcos y Santa Rosa que la especie fue introducida, ¡con menos de 0,1 ha en cada lugar!. Sololá constituye un caso excepcional: a pesar de no pertenecer a los departamentos con potencial, cuenta con una extensión total de más de 5 ha de plantación de Santamaría.

⁹ Hurtado Domingo L. 6-7 abr. 2016. Proceso de elaboración de los mapas de distribución potencial de las especies prioritarias (correos electrónicos). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, departamento de Investigación Forestal.

Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie

Basado en Cordero y Boshier (2003), Raigoso y Leiva (2012), Weaver 2000, Gómez (2008), Piotto et al. (2010) citado por Raigoso y Leiva (2012)

Los conocimientos acerca de las condiciones requeridas para el buen desarrollo de *Calophyllum brasiliense* están aún contradictorios. Con precaución puede afirmarse que la especie crece mejor en las faldas de pequeñas colinas, en suelos profundos, húmedos y con pH levemente ácido, hasta unos 500 msnm. Aunque se desarrolla bien en casi cualquier tipo de suelo, crece mejor en suelos franco arcilloso, franco y franco arenoso, con buen drenaje y poca pedregosidad. Tolerancia al rocío salino.

A pesar que la especie se usa para la restauración de suelos degradados y ácidos (por ejemplo praderas que se abandonan), experiencias en Sarapiquí – Costa Rica llaman a prudencia para estas condiciones: todos los individuos murieron después de 15 años de sembrados en plantaciones puras, sin todavía una explicación convincente (hongos sí, pero ¿qué características del sitio favorecieron el desarrollo de estos hongos? y por ende, ¿en cuales condiciones de suelo debe descartarse usar el Santamaría?).

5. Producción de plántulas y genética

Diversidad genética y procedencia

Basado en Ramírez et al. (2012), Percuoco (2014), García-Zebadúa et al. (2014), Weaver (2000), Pennington y Sarukhán (1998)

Aparentemente, no existen estudios acerca de la diversidad genética de las poblaciones de Santamaría en Guatemala, por lo menos Ramírez et al. (2012) no identificaron ninguno. Percuoco (2014) cita varias investigaciones realizadas en Brasil y Argentina, siempre con y entre poblaciones de la especie relativamente cercanas (unos centenares de kilómetros), que determinaron que la diversidad genética dentro de las poblaciones es mayor que entre éstas, con un nivel de divergencia considerablemente alto. Pero no existe aún un estudio global de la diversidad genética de la especie tomando en cuenta poblaciones de toda su área de distribución, ni siquiera con poblaciones bien distribuidas dentro de un país inmenso como Brasil.

Ahora bien, los conocimientos actuales sobre *Calophyllum brasiliense* permiten afirmar que existen diferencias entre poblaciones de la especie bajo por lo menos tres aspectos: botánico, ecológico y químico.

La historia "botánica" de la especie inicia hace 200 años en Brasil, donde fue descrita por primera vez. Cien años más tarde, Standley separa las poblaciones de México y Centroamérica de aquellas de Suramérica, y crea dos nuevas especies: *Calophyllum rekoii* Standl., y *C. chiapense* Standl. Diez años más tarde, vuelve a integrar estas dos especies como una variedad geográfica de *C. brasiliense* (var. *rekoii*). Pero al inicio de los años 80, otros botánicos restablecen como especie a *C. brasiliense* var., *rekoii* con el nombre original de *C. rekoii*. ¡Actualmente, Flora mesoamericana considera esta última especie nuevamente como variedad!. Estos "estira y encoje" durante 200 años demuestran la dificultad en caracterizar de manera única *Calophyllum brasiliense*: hubiera por lo menos una (sub-)población mexicana-centroamericana, otra de las Antillas y una tercera de Suramérica.

Otra diferencia, el comportamiento "ecológico" de la especie, opuesto entre norte y sur de su área de distribución. En los países del sur, incluido la Amazonía, el Santamaría es especie característica de las selvas higrófilas, ausente en otros ambientes, componente del bosque ribereño con influencia fluvial permanente, tolerante a la inundación y con preferencia por los suelos encharcados. Al inverso, en el norte, la especie prospera mejor en suelos que muestran buen drenaje que en aquellos con drenaje impedido y riesgos de inundación (ver capítulo anterior).

Por ende, estudios de *Calophyllum brasiliense* han demostrado la existencia de poblaciones con diferencias en la "composición química" de las hojas, llevando a concluir que en México existen al menos dos quimiotipos, también llamados "fenotipos químicos". Mientras uno pudiera ser fuente de fitomedicamentos antivirales, el otro presenta compuestos activos con propiedades antitumorales y contra protozoarios. A la fecha, los estudios sugieren que la existencia de los quimiotipos en *C. brasiliense* no son una respuesta al ambiente, sino que más bien pueden estar asociados a un factor genético.

Rodales semilleros

Basado en el Registro Nacional Forestal de Guatemala, Ramírez et al. (2012), Castañeda y Cabrera (2006), Hernández (2004)

Tabla 1. Fuentes semilleras del Santamaría inscritas en el Registro Nacional Forestal¹⁰ (bajo el nombre científico *Calophyllum brasiliense*).

Registro	Departamento	Municipio	Finca	Bosque	Área [ha]
FS-1104 (inactivo)	Alta Verapaz	Cobán	Parque Nacional Laguna Lachua	Natural	25
FS-1117 (inactivo)	Izabal	Puerto Barrios	Jezriel / Creek Grande	Natural	1
FS-1130 (inactivo)	Quiché	Ixcán	Cooperativa Agrícola "Zona Reyna" / Santa María Tzeja	Natural	14

Fuente: Registro Nacional Forestal del INAB

Según Ramírez et al. (2012), Bansefor tiene registrada además una fuente semillera de Santamaría en Chisec, Alta Verapaz, Guatemala.

En Lachuá, Castañeda y Cabrera (2006) caracterizaron la composición florística arbórea del bosque natural fuente, seleccionaron, marcaron y georeferenciaron 57 árboles de Santamaría como árboles semilleros, que midieron y observaron para describir el calendario fenológico de la especie.

En Guatemala, Hernández (2004) reporta fuentes semilleras de *Calophyllum brasiliense* en los departamentos de Izabal (Cerro San Gil, Sierra Santa Cruz, Sierra Caral, Sierra de las Minas), Alta Verapaz (Franja Transversal del Norte, Chisec), Quiché (Playa Grande), Petén, Escuintla y Santa Rosa, sin ofrecer mayores precisiones.

¹⁰ consultado el 21 de enero de 2019

Como fue señalado anteriormente, la respuesta de Santamaría fuera de condiciones del bosque natural no ha sido la mejor, mostrándose físicamente muy diferente, con fustes torcidos y varios ejes o alta ramificación a baja altura; en contraste con los árboles en condiciones naturales ubicados inclusive en los mismos sitios, como el caso de la Finca Chajmaic, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala, donde se obtuvo la experiencia de observar el desarrollo de Santamaría en plantación forestal y compararlo con árboles existentes en condiciones de bosques naturales.



Figura 10. Expresión fenotípica de Santamaría en bosque natural (izquierda) versus expresión fenotípica en plantación mixta (derecha), Finca Chajmaic, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala.

Ante esta situación el propietario indicó que la semilla utilizada para el proyecto de reforestación fue adquirida de otro sitio en condiciones muy diferentes y aunque no dio seguridad, la procedencia es probablemente de árboles semilleros de Izabal. El caso sugiere alguna consecuencia ambiental asociado que pudiera estar representando efectos significativos.

Otro caso, en el mismo contexto, se observó en la finca San José Buena Vista, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, donde se ubica un rodal plantado de Santamaría, el cual, aunque su procedencia permite una trazabilidad por tratarse de semilla de fuentes seleccionadas, esta corresponde a la franja transversal del norte, muy posiblemente algunas de las localidades del cuadro 1. Su expresión en el campo manifiesta muy baja altura, con fustes que se multiplica a muy baja altura o ramas gruesas que forman una copa (alrededor de 1.5 metros); estos efectos sugieren y evidencian un efecto del sitio debido al cambio de sus condiciones de procedencia, esto aunado que la plantación fue establecida en una ladera con topografía cerca del 50% de pendiente, probando estrés en los árboles que demuestran la susceptibilidad de la especie ante dicha situación.

Con las experiencias documentadas de campo, surge la observación importante para procurar la utilización de semilla local y con ello la importancia de promover la identificación y selección de fuentes semilleras con padres que presenten las mejores características fenotípicas para favorecer la probabilidad de producir plantaciones competitivas.

Semilla

Descripción

Basado en Salazar et al. (2000), Flores (2010), Cabrera (2006), Hernández (2004), Girón (1997), Cordero y Boshier (2003), Román et al. (2012), Vázquez et al. (s.f.)

Semilla ovoide o globosa, de 10-15 (18-23) mm de largo (Salazar et al. 2000 / Flores 2010), de testa gruesa, dura, leñosa e irregular, color pardo cremoso. Cada fruto contiene una sola semilla.

Existe una relación aproximada de (366) 400-500 (700) semillas por kilogramo, con porcentaje de germinación del 60 a 96%, y porcentaje de pureza superior al 99%.

Recolecta

Basado en Cabrera (2006), Castañeda y Cabrera (2006), Herrera et al. (2006), Román et al. (2012), Utrera (2010), Hernández (2004), Cannon et al. (2007) citado por Fung (2011), Girón (1997), Salazar et al. (2000), Vázquez et al. (s.f.), Flores (2010), Stevens et al. (2001) citado por López (2008), Rivera (2000), Cordero y Boshier (2003).

CALENDARIO DE RECOLECCIÓN (EN GUATEMALA): El patrón fenológico de *Calophyllum brasiliense* presenta variaciones importantes a lo largo de su área de distribución, y de Centroamérica en particular. Es esencial tomar en cuenta esta advertencia cuando se revisa literatura.

En el Parque Nacional Laguna Lachuá, Alta Verapaz, Guatemala, el Santamaría se defolia en los primeros días del mes de mayo, a finales de la época seca, y emite hojas nuevas a principios de junio. Florece cada año, con la mayor floración entre finales de junio y finales de julio, al inicio de la época lluviosa. Fructifica desde principios de agosto, para alcanzar la maduración de sus frutos en los meses de noviembre a febrero (la madurez fisiológica de los frutos se alcanza 92 días después de la floración). La dispersión total de los frutos se realiza de marzo a abril, por animales silvestres, especialmente murciélagos, mapaches, roedores, loros y guacamayas, que cortan los frutos, transportan y se alimentan de la cáscara la cual tiene un sabor ácido.

Calophyllum brasiliense muestra un comportamiento muy variable en su floración y fructificación entre los árboles del bosque de una misma zona, que puede variar de un año a otro. Esta variabilidad, confirmada por Utrera (2010) en Lachuá, había sido observada por Hernández (2004), que menciona por otro lado que el calendario fenológico de Santamaría muestra también diferencias entre regiones. Cannon et al. (2007 citado por Fung 2011) precisan que la especie fructifica masivamente en periodos supra-anales.

En Guatemala, el período de colecta ideal de frutos es del 25 de noviembre al 15 de diciembre (Hernández 2004), diciembre a febrero (Castañeda y Cabrera 2006) y/o enero a marzo (Cabrera 2006, Girón 1997). Este periodo ideal guatemalteco NO coincide con el período óptimo para la recolección de los frutos de Santamaría indicado por Salazar et al. (2000) para la mayor parte del ámbito geográfico de la especie, información retomada desafortunadamente por Teni (2007) en su ficha sobre la especie.

En México, el Santamaría florece de junio a julio, y los frutos maduran de octubre a diciembre. El ritmo fenológico anual mostrado por la especie en Guatemala es diferente más al sur: en Panamá florece y fructifica dos veces al año, igual que en Costa Rica y Nicaragua.

En plantaciones, el Santamaría puede florecer y comenzar a producir semilla a los 5 años de edad. En el bosque natural, la floración inicia en individuos con 20 cm dap.

EVALUACIÓN PREVIA A COLECTAR FRUTOS: Ubicada la fuente semillera se seleccionan y marcan los mejores árboles tomando en cuenta los siguientes aspectos: árboles dominantes con fuste recto de buena altura comercial, que no tenga hilos en espiral, libres de plagas y enfermedades, maduros. Además de estas características ecológicas, Rivera (2000) y Flores (2010) recomiendan considerar como criterio la clase diamétrica del futuro semillero, el cual debería tener un dap entre 40 y 70 cm. Árboles más pequeños no producen semillas de calidad, y árboles más gruesos muestran una producción muy pobre de frutos (pueden por lo tanto aprovecharse sin atender contra la regeneración). Número de árboles recomendables para la colecta: 30.

La madurez de las drupas se da cuando los frutos se tornan verde amarillento, alcanzan buen tamaño y buena forma, y la cáscara verde amarillenta se desprende fácilmente con la mano. La testa de la semilla de color crema, el embrión de color crema amarillo, los cotiledones de color rosado libres de la testa, son otros indicadores de la madurez óptima de frutos y semillas. Otro signo es la caída de los frutos al suelo, cuando las aves y roedores están alimentándose de ellos.

La cantidad de semillas producida varía considerablemente de un árbol a otro y de año con año. Por ejemplo, Rivera (2000) reporta que solamente 10 de los 25 árboles seleccionados como semilleros (con $40 \leq \text{dap} < 70$ cm) florecieron durante un año de monitoreo (apenas un 40%). Castañeda y Cabrera (2006) también indican que encontraron fruto solamente en el 36% de los árboles semilleros seleccionados, y que solamente lograron cosechar aproximadamente el 50% de la cantidad de frutos que pudiera producir un árbol de Santamaría. Este comportamiento es a tomar en cuenta en el número de semilleros a seleccionar.

Aparentemente, *Calophyllum brasiliense* bota muchos de sus frutos inmaduros y pequeños, lo que repercute al momento de la recolección: es poca la cantidad de frutos maduros que se logra obtener. Algunos primates, como el mono cara blanca *Cebus capucinus*, mono araña *Ateles geoffroyi* y roedores como ardillas *Microsciurus alfarri*, *Sciurus granatensis* consumen los frutos. Se debe por lo tanto controlar que los frutos no estén dañados por mordeduras de animales.

A los pocos días de haber caído cerca del árbol padre, la semilla es atacada y dañada por un perforador no identificado, que la deja sin opciones de germinar.

PRÁCTICA DE RECOLECCIÓN. La recolección se realiza directamente del árbol o del suelo, cuando los frutos están maduros y muestran un color amarillento.

Desde el árbol: el técnico escala el fuste haciendo uso de equipo apropiado como espolones, cinturón con arnés, casco y lazo de seguridad con un largo de 40 m. Herramientas: una vara de extensión de 5 metros de largo con un gancho tipo "S" en el extremo y un machete.

Para la cosecha de las drupas se utiliza la vara de extensión, ya que los frutos se desprenden fácilmente del pedúnculo con movimientos de halar, empujar o sacudir las ramas, logrando que desprendan la mayoría de los frutos. Para facilitar juntar los frutos que caen, es de ayuda colocar sarán plástico debajo del semillero.

Desde el suelo: las drupas de Santamaría se recogen debajo de los árboles, dentro del diámetro de la copa y hasta 50 metros del árbol semillero. Cuidado en recolectar frutos solamente de los árboles semilleros escogidos, y controlar que los frutos no sufran daños. Los frutos se guardan y transportan en sacos de yute (brin) o pita. Debido al carácter recalcitrante de la semilla, es esencial que el tiempo entre recolecta y procesamiento de los frutos sea lo más corto posible.

RENDIMIENTO: Según Hernández (2004), un escalador experimentado puede cosechar medio saco de frutos por día (unos 36 kg) con el apoyo de otra persona.

Castañeda y Cabrera (2006) determinaron en Lachuá que la producción por árbol de frutos varía de 0.6 kg a 1 kg, con un rendimiento en semilla de 0.22 a 0.6 kg (con base en una cosecha en su totalidad del suelo).

¡Es obvio que hay discrepancia entre ambas informaciones, ya que es imposible que un escalador experimentado trepe entre 36 y 64 árboles diariamente! Quizás limitarse a recoger frutos del suelo incide muy negativamente sobre la cantidad de drupas sanas disponibles, y se gana en recolectar desde el árbol, aún si es un proceso más costoso.

Acondicionamiento

Basado en Hernández (2004), Cabrera (2006), Salazar et al. (2000), Cordero y Boshier (2003), Flores (2010)

POSTMADURACIÓN DE LA FRUTA: La limpieza se hace en un sitio sombreado (bajo techo) y bien ventilado, eliminando hojas, ramas y basura. En este lugar, los frutos se colocan en cajas de madera malla metálica o plástica de fondo, o bien sobre lonas. No es conveniente asolear los frutos.

SECADO DE LA FRUTA: Se mantienen las cajas o lonas bajo sombra y con buena ventilación durante 1-2 días, para dejar secar los frutos.

EXTRACCIÓN DE LA SEMILLA: Se quita la cáscara (pericarpio) en forma manual, o frotando los frutos entre dos tablas, para dejar únicamente la semilla con su testa de color crema amarillenta. Si se cuidó en el bosque de no recoger frutos con mordiscos o huecos, se pierden pocas semillas.

SECADO DE LA SEMILLA: Por ser recalcitrante, la semilla del Santamaría no debe someterse a secado. Por la misma razón, se recomienda sembrarla lo más pronto posible.

RENDIMIENTO: Hay 140-150 frutos por kg. La relación de fruto y semilla es de 2.6 kg de fruto por 1 kg de semilla dependiendo del tamaño del fruto y contenido de humedad. Así, un saco con frutos rendirá casi 14 kg de semillas.

Conservación y viabilidad

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

La semilla fresca de *Calophyllum brasiliense* es recalcitrante, carácter corroborado por Herrera et al. (2006). Después de colectada, la semilla no tolera la desecación ni variaciones drásticas de temperatura.

Puede ser almacenada por poco tiempo (2-3 meses) bajo condiciones ambientales altas de humedad y temperatura, pero aun así se deshidrata rápidamente y pierde viabilidad drásticamente después del primer mes de almacenamiento. Para la conservación en estas condiciones, Hernández (2004) recomienda disponer la semilla en forma dispersa sobre una manta o lona, en un lugar fresco y húmedo, poco aireado y aplicando pequeñas cantidades de agua de vez en cuando. Según Román et al. (2012), las semillas almacenadas a 20°C pierden viabilidad en pocas semanas.

En refrigeración, es posible mantenerlas por unos 40 días, conservando porcentajes de germinación de hasta 66%.

Regla: para lograr altos porcentajes de germinación, sembrar la semilla lo más pronto posible.

Tratamientos pre-germinativos

Basado en Flores (2010), Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000), Cabrera (2006), Girón (1997).

Aunque las semillas no necesitan tratamientos pre-germinativos, es conveniente remojarlas por 24 horas para suavizar el tegumento. Este remojo contribuye a una germinación uniforme y disminuye el porcentaje de plántulas con desarrollo de plúmula anómalo.

Para acelerar el inicio de la germinación, Salazar et al. (2000) recomiendan friccionar los frutos entre dos tablas planas (escarificación), pero esta práctica no está compartida por Cordero y Boshier (2003) ni tampoco por Flores (2010). Cabrera (2006) la aplicó con éxito, pero la prueba de germinación con semilla escarificada realizada por Girón (1997) fue un fracaso.

Producción de plantas

Basado en Cordero y Boshier (2003), Salazar et al. (2000), Vázquez et al. (s.f.), Weaver (2000), Teni (2007), Flores (2010), Román et al. (2012), Cabrera (2006), Carballo (2008), Maldonado-Magaña et al. (2015), Silveira et al. (2016).

El Santamaría se reproduce básicamente por semilla, comúnmente en vivero. Además, la siembra directa en campo de la semilla es una práctica que se utiliza exitosamente en Puerto Rico y México. Existen experimentos para reproducir la especie vegetativamente, pero que no condujeron aun a protocolos validados para producción masiva.

Métodos de propagación sexual

La semilla puede sembrarse en germinadores o directamente en bolsas. La germinación es hipogea (los cotiledones permanecen enterrados; únicamente la plúmula atraviesa el suelo). Se inicia de (12) 18-20 (37) días después de la siembra y finaliza de (10) 27-30 (35) días después. Según Weaver (2000), la germinación ocurre en un espacio de 6 semanas, siempre que las semillas se siembren sin el endocarpio (hueso); las frutas sin tratar dan el mismo resultado después de 16 semanas.

Cuando emerge la radícula se realiza el repique (a bolsas). Después del repique la especie necesita sombra durante 15 días. Todas las plántulas jóvenes con desarrollo anómalo (epicótilos torcidos, vástagos que se originan de yemas en las axilas cotiledonarias) o de crecimiento lento se eliminan. Las primeras hojas son producidas cuando las plántulas tienen aproximadamente 10 cm de altura. Cuando la plántula alcanza alrededor de 15 cm, a menudo cesa de crecer en altura, mientras el sistema radical se establece.

Sea con siembra directa o con trasplante, se debe proveer sombra durante el desarrollo inicial de las plántulas, y removerla en días nublados, brindando riegos adecuados, ya que la especie sufre a pleno sol si se expone bruscamente.

Las raíces deben ser podadas dos veces utilizando una pala o cuchillo: la primera poda se ejecuta cuando las plantas alcanzan una altura de 20 cm, la segunda, un mes antes de que las plantas sean trasladadas al campo.

Las plantas alcanzan alturas apropiadas (25-30 cm) para su traslado al campo en 5-6 meses. En Panamá, las plántulas pueden alcanzar 30-40 cm de altura en 3 meses. En la ecoregión Lachuá, Teni (2007) recomienda poner las semillas a germinar a partir del mes de mayo para un trasplanta a campo definitivo en setiembre.

PLANTAS A RAÍZ DESNUDA: Weaver (2000) desaconseja producir plantas a raíz desnuda de *Calophyllum brasiliense*, ya que plantaciones realizadas con este tipo de material fracasaron en casi un 100 por ciento debido a la desecación.

PLANTAS EN BOLSAS: Es posible producir plantas en bolsas sembrando directamente la semilla en la bolsa, o repicando plántulas desde un germinador. Sin embargo, 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 el Santamaría.

Métodos de propagación asexual

ESTACAS: El Santamaría no rebrota al ser cortado, excepto cuando muy joven, como tampoco produce vástagos radicales. De manera similar, ni las estacas provenientes de las raíces ni de los vástagos han tenido éxito como un método para la propagación de la especie.

Carballo (2008) estudió el enraizamiento de mini estacas juveniles de *Calophyllum brasiliense* en un propagador de sub-irrigación (Mesén 1998), instalado bajo sombra de sarán con un 40 % de ingreso de radiación solar. Las mini estacas usadas fueron sacadas de las yemas laterales de las ramas más bajas de árboles seleccionados¹¹ en San Andrés, Petén. La estaca, con un tamaño de 4-6 cm de largo y 3-6 mm de diámetro central, con o sin nudo basal, con una hoja adherida en buen estado recortada para fines experimentales a varios tamaños de área foliar, fue tratada con una auxina. Sustrato de enraizamiento: arena desinfectada.

¹¹ 4 individuos con DAP entre 25 y 47 cm

La investigación demostró que fue posible enraizar el Santamaría, siendo el mejor resultado en cuanto a presencia, número y longitud de raíces la mini estaca con área foliar de 15 cm² y aplicación de ácido indolacético en dosis de 1500 ppm, después de una estancia de 90 días dentro del propagador de sub-irrigación. Sin embargo, el porcentaje de estacas enraizadas se limitó a 9%, con longitudes de raíz no mayores a 5 cm. Se requiere todavía validar el protocolo antes de pensar en aplicarlo a gran escala.

PROPAGACIÓN IN VITRO: Un grupo de investigadores mexicanos (Maldonado-Magaña et al. 2015) y otro de brasileñas (Silveira et al. 2016) estudiaron el establecimiento y germinación *in vitro* de semillas de *Calophyllum brasiliense*, y desarrollaron un protocolo de micro propagación *in vitro* mediante segmentos nodales de plántulas germinadas.

La germinación de las semillas del Santamaría *in vitro* es posible, aunque lenta y costosa. Las tasas de multiplicación de los brotes extirpados de las plántulas fueron similares a las obtenidas para otras especies del género *Calophyllum*, y más de tres cuartas partes de las plantas aclimatadas crecieron exitosamente en macetas.

Sustratos en vivero

Basado en Salazar et al. (2000), Wightman et al. (2001), Teni (2007), Raigoso y Leiva (2012)

CAJAS GERMINADORAS: Arena de río húmeda, desinfectada.

BOLSAS Y CAMAS DE VIVERO: No existen en la literatura guatemalteca recomendaciones específicas acerca de la composición del mejor sustrato para el desarrollo de las plántulas de Santamaría en eras o bolsas de vivero. Wightman et al. (2001) observaron que la especie desarrolla mejor en un sustrato de simple suelo, en comparación con compost.

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

Las plántulas de *Calophyllum brasiliense* no muestran una respuesta inicial importante a la incorporación de fertilizante al sustrato de las bolsas o de las camas de vivero, sea NPK 10-30-10, P o Ca. Esta poca respuesta a la fertilización en vivero puede relacionarse a la estrategia regenerativa de la especie, el tamaño de su semilla (probablemente para reservar nutrimentos para el establecimiento inicial), un crecimiento lento luego de germinar, la capacidad de establecerse bajo sombra y probablemente una sensibilidad baja a cambios favorables en los contenidos de nutrimentos del suelo.

6. Establecimiento de plantaciones

Comportamiento ecológico de la especie

Basado en Finegan citado por Díaz (1995), Weaver (2000), Raigoso y Leiva (2012), Díaz (1995), Fung (2011), Segura (2012), NPV (1999), Cordero y Boshier (2003), Martínez-Garza y Howe (2010)

NATURALEZA DE LA ESPECIE. Pertenece al gremio ecológico “especies intermedias” (considerada intermedio en su tolerancia a la sombra [esciófita parcial]). Sin embargo, con base en el estudio de las historias de vida de los individuos de la especie en bosque natural, Díaz (1995) reclasificó el Santamaría en el gremio “heliófita B”: los brinzales (>30 cm alto, <1 cm dap) se encuentran en todas las fases de desarrollo del bosque (claros, reconstrucción y madura), y no exclusivamente en las 2 primeras como las “heliófitas A”, pero luego, los individuos requieren mayor luz para crecer hasta alcanzar el dosel donde permanecen para mucho tiempo. Concretamente, los individuos necesitan, a partir de 5 cm dap, de alguna luz directa vertical para desarrollarse exitosamente.

Weaver (2000) coincide, ya que opina “El Santamaría es intolerante a la sombra densa durante la etapa de plántula. Las semillas bajo la densa cobertura del árbol materno pueden germinar, pero a menudo se ven incrustadas con musgo y líquenes. En contraste, las plántulas bajo pleno sol pueden sufrir quemaduras durante la temporada seca. La sombra ligera durante los primeros dos años parece rendir el mejor crecimiento. Sin embargo, después del establecimiento exitoso, se necesita de un sol pleno para el desarrollo más rápido.”

El comportamiento heliófita de la especie lo confirma Fung (2011) en su estudio en el Atlántico Norte de Nicaragua: el Santamaría parece aprovechar los eventos climáticos extremos (huracanes) que mejoran la disponibilidad de luz para regenerar en gran número y alcanzar el dosel. En la Reserva de la Biósfera Maya, en Guatemala, es interesante tomar nota que la especie es particularmente abundante en la parte oriental de la reserva, a lo largo de la frontera con Belice, que es la parte del territorio que mayor sufre de los embistes de huracanes. Aunque puede haber otra explicación.

La unidad de manejo forestal Chosquitán fue la única concesión en esta zona en clasificar sus bosques para la producción según el grado de intervención maderera anterior (NPV 1999). El Santamaría presenta una marcada mayor abundancia en el estrato más intervenido en términos madereros –ya sea por empresas madereras antes de 1990 o por tala ilegal en las inmediaciones de Belice–: otra causa de disturbio y mayor iluminación.

La especie es de lento crecimiento inicial, por lo que creer –erróneamente– que “el Santamaría tolera bien la sombra” conllevará al probable fracaso de plantaciones mixtas, por su mal manejo.

Martínez-Garza y Howe (2010) consideran que el Santamaría pertenece al grupo de las especies sucesionales tardías.

COMPORTAMIENTO RADICULAR: Desarrolla raíces profundas, por lo menos cuando joven. La plántula produce una raíz pivotante bien definida, con un número de raíces laterales cortas a intervalos regulares. En sitios con piedra caliza expuesta, en donde el suelo es muy superficial, las raíces del Santamaría, una vez establecidas, penetran a una profundidad considerable.

Instalación

Basado en Cordero y Boshier (2003), Raigoso y Leiva (2012), Weaver (2000), Flores (2010), Vázquez et al. (s.f.), Sandí (1998), Redondo-Brenes y Montagnini (2006)

Las plántulas son tolerantes a la sombra ligera, pero crecen bien a plena luz, por lo cual son aptas tanto para sistemas de enriquecimiento, en particular en bosques secundarios o charrales, como para plantaciones a campo abierto.

Por otro lado, tiene buen potencial como árbol maderable del estrato alto en sistemas de estratos múltiples, plantado a baja densidad, por ejemplo, como sombra de café y cacao, o en el enriquecimiento de barbechos.

PREPARACIÓN DEL TERRENO: El Santamaría no tolera la competencia de gramíneas y arbustos en las etapas iniciales de crecimiento en repastos abandonados y plantados en las tierras bajas del Atlántico costarricense (Holl 1998 citado por Raigoso y Leiva 2012). Por esto es recomendable mecanizar el terreno a plantar y establecer un buen control de malezas durante los primeros años de crecimiento.

Para el enriquecimiento de bosque, es necesario bien abrir las fajas a plantar, ya que la instalación de las plántulas bajo una sombra densa conlleva a su muerte en casi un 100 por ciento.

MÉTODOS DE SIEMBRA: El material vegetativo que se utiliza en la plantación es básicamente semilla (siembra directa) o planta en bolsa (trasplante).

Trasplante: Las plantas se trasladan a campo con pan de tierra, y las hojas extendidas se cortan. Esta técnica permite trasplantar las plantas de diferentes edades, incluyendo 9 meses, con una mortalidad muy baja. Trasladar las plantas del invernadero genera plantaciones homogéneas y árboles con mejores fustes.

Bajo condiciones expuestas, el trasplante del Santamaría ha sido exitoso sólo cuando las plantas fueron movidas con el terrón.

Plantaciones establecidas mediante plántulas con raíces desnudas, cortadas a un largo de aproximadamente 10 cm, fracasan casi totalmente debido a la desecación.

Siembra directa: El uso de semillas frescas es lo ideal para el establecimiento de las plantaciones. Las semillas por lo usual se siembran directamente en el suelo y muestran una capacidad favorable para la germinación, excepto si se encuentran vacías.

La siembra de las semillas al vuelo, bajo condiciones adecuadas resulta en la germinación. Sin embargo, las plantaciones se establecen por lo usual mediante la siembra de las semillas en el suelo a una profundidad de 2.5 cm, usando un plantador, y colocando preferiblemente 1 o 2 semillas por hoyo.

La siembra directa de las frutas del Santamaría se ha efectuado con gran éxito bajo la sombra ligera de *Casuarina equisetifolia*, o también entre hileras de plantas de frijol, las cuales proveen de sombra y protegen a las plántulas contra la desecación.

DISTANCIAMIENTO DE SIEMBRA: Se instala el Santamaría en plantaciones puras en una malla preferentemente de 3x3 m. Pero se han utilizado espaciamientos desde [1.5x1.5 m] 2x2 m en plantaciones puras o mixtas hasta 10x10 m o más en sistemas agroforestales o plantaciones de enriquecimiento.

Por lo usual, se utilizan unos espaciamientos de 1.8 x 1.8 m o menos para acelerar el cierre de las copas y evitar la ramificación lateral. Los espaciamientos más amplios producen un incremento más rápido en el diámetro, pero resultan en una forma arbórea pobre.

En plantaciones en pastizales degradados en Costa Rica, se utilizó un espaciamiento de 4x5 m con buenos resultados, ya que se elimina la necesidad de un primer raleo demasiado pronto, cuando los árboles aún no proporcionan productos comerciales. Sin embargo, estos espaciamientos tan amplios exigen que se tenga un buen programa de podas si el objetivo de la producción es madera limpia de nudos, ya que el árbol produce muchas ramas al estar sin competencia.

MEZCLA CON OTRAS ESPECIES: A pesar que la gran mayoría de las plantaciones de Santamaría se establecieron como mixtas en Guatemala, no existe curiosamente información documentada sobre el comportamiento de *Calophyllum brasiliense* asociado con otras especies en plantación.

En un estudio que compara el comportamiento de especies nativas en plantaciones mixtas y puras instaladas sobre pastizales abandonados en la zona norte de Costa Rica, el Santamaría sorprendió. *Calophyllum brasiliense* fue la única especie con un crecimiento significativamente mejor en cultivos puros que en cultivos mixtos, asociada con *Vochysia guatemalensis*, *Jacaranda copaia* y *Stryphnodendron microstachyum*. En plantaciones mixtas, el Santamaría fue suprimido por las especies de rápido crecimiento sanjuán y jacaranda.

Este resultado confirma el carácter heliófita de la especie: después de una primera etapa de vida donde tolera una sombra ligera, *Calophyllum brasiliense* necesita imperativamente iluminación vertical; copas que lo enciman frenan drásticamente su crecimiento. Esta característica explica el porqué de una densidad de siembra alta en plantaciones puras (2500-3000 individuos/ha), ya que por otro lado, el Santamaría necesita competencia lateral para desarrollar un fuste comercial sin defectos.

FERTILIZACIÓN INICIAL: La aplicación de [40] 50 [60] g de fertilizante de fórmula completa NPK (10-30-10) al fondo del hoyo antes del establecimiento de las plantas, tiene un efecto positivo, favoreciendo el crecimiento longitudinal y vigor. Esta práctica se recomienda particularmente en pastizales degradados por el ganado, y puede repetirse unos seis meses después.

Por otro lado, el Santamaría es una especie adaptada a las condiciones de acidez del suelo comunes en el trópico húmedo, y no requiere medidas de corrección para un buen desarrollo; la adición de cal no tiene ningún efecto sobre el crecimiento en altura y diámetro de los arbolitos.

EFFECTO DE LA ÉPOCA DE ESTABLECIMIENTO: La mejor sobrevivencia se obtiene cuando los trasplantes se efectúan al inicio de la estación lluviosa.

Introducción en sistemas agroforestales

Basado en Cordero y Boshier (2003), Somarriba et al. (2012), Salgado (2012), Ibrahim y Zapata (2012), Martínez-Garza y Howe (2010), Piotta et al. (2010), Piotta et al. (2002)

El Santamaría se encuentra asociado con cultivos agrícolas perennes o anuales, o en cortinas rompevientos. Su lento crecimiento inicial convierte la especie en recomendada para sistemas agroforestales ya que permite aprovechar el terreno para otros cultivos durante dos o tres cosechas según el cultivo, o combinándola con árboles frutales o especies nodriza de rápido crecimiento, como las guabas, que crean un ambiente favorable para el crecimiento del Santamaría. La especie es resistente a muchos herbicidas usados en agricultura.

En Guatemala, el INAB incentiva el establecimiento de Santamaría en sistemas agroforestales, caracterizados por árboles en asocio con cultivos anuales, árboles en asocio con cultivos perennes y sistemas silvopastoriles. Lastimosamente, los aspectos técnicos de estos sistemas no están documentados.

Calophyllum brasiliense es un componente del dosel de sombra para cacao, sea que se sembró junto con el cacao (por semilla), o reclutado por regeneración natural. Sánchez et al. (2002 citados por Somarriba et al. 2012) reportan la presencia de la especie en los cacaotales del departamento de Atlántida, Honduras, con una densidad de 123 árboles/ha a los 11 años.

Somarriba et al. (2012) recomiendan plantar, o seleccionar de la regeneración natural, los árboles entre las filas de cacao para reducir el daño futuro provocado por el aprovechamiento de las maderables.

En Guatemala, el INAB no identificó ninguna finca modelo que produzca cacao en asocio con maderables, pero el proyecto UICN/MAGA "Desarrollo de la cadena de producción de cacao para la mejora de los medios de vida y la conservación de los corredores biológicos en la eco-región Lachuá" pretende, entre otros objetivos, recuperar áreas deforestadas mediante la implantación de sistemas agroforestales de cacao-maderables: ¿quizás esté interesado en incorporar el Santamaría entre las maderables de interés?

El uso de *Calophyllum brasiliense* como árbol de sombra en cafetales es reportado por Salgado (2012) en el Atlántico costarricense y en Honduras, con la observación que la especie posee una copa muy densa. En los cafetales tradicionales de Honduras, con variedades de porte alto y bajo manejo, Ordóñez y Sosa (2006 citados por Salgado 2012) comentan que, por lo general, no existen arreglos especiales bien definidos sino que la especie se da en forma natural.

Para evitar efectos negativos en la interacción con el café, como sombra temporal se recomienda plantar una hilera de sombra cada dos hileras de café o cada 4 m, y como sombra permanente se recomienda un distanciamiento mínimo de 6x6 m. En Costa Rica se usan densidades que varían de 50 a 128 árboles/ha.

En Honduras, recientemente se están plantando especies maderables dentro de cafetales a distancias muy cortas (4x4, 5x5 o 6x6 m) para incorporar materia orgánica en el momento de las podas anuales de formación y/o aprovechamiento de postes como producto de los raleos. La meta es lograr un espaciamiento definitivo de 8x8, 10x10 o 12x12 m y, con raleos sistemáticos del 50%, finalizar con plantaciones de entre 70 y 156 árboles/ha.

Para la instalación de especies maderables en asocio con café, Salgado (2012) recomienda que:

- Deben establecerse en el campo definitivo cuando tengan por lo menos 30 cm de altura.
- El hoyo de plantación debe tener el doble del tamaño de la bolsa.
- Las malezas alrededor del árbol recién plantado se eliminan en forma manual para permitir un crecimiento adecuado.

Cordero y Boshier (2003) indican que la especie se ha usado como sustitución de cafetales viejos o improductivos.

En la cuenca del río Polochic, se emplea como sombra del cultivo de cardamomo *Elettaria cardamomum*, en combinación con *Inga spp.*, *Swietenia macrophylla* y *Dialium guianense*. No existe mayor información sobre los aspectos técnicos de este sistema.

Calophyllum brasiliense no es componente del sistema silvopastoril en Centroamérica, Ibrahim y Zapata (2012) no identifican al Santamaría como una especie de interés maderable en potreros de la región, aunque Cordero y Boshier (2003) afirman que la especie se hubiera recomendado también para sistemas silvopastoriles.

El Santamaría se ha usado para reducir la compactación de suelos y *recuperación de pastos degradados*. Cordero y Boshier (2003) hacen la salvedad que, en estas condiciones, y debido a su lento crecimiento inicial, la especie requiere un control de malezas intensivo durante los 3-4 primeros años. Sin embargo, Martínez-Garza y Howe (2010) determinaron que *Calophyllum brasiliense* muestra una supervivencia baja en pastizales, y no es una especie indicada para acelerar la sucesión vegetal y restaurar la vegetación en áreas degradadas (por ejemplo pastizales abandonados). Sugieren para este uso sembrarla eventualmente en grandes cantidades o hasta después que un dosel de pioneras se haya formado. Piotto et al. (2010) también llaman a la prudencia para un uso de *Calophyllum brasiliense* en la recuperación de pasturas degradadas. En un estudio en la zona norte de Costa Rica, el Santamaría, considerado inicialmente como una especie promisor, experimentó mortalidad completa después de 15 años en plantaciones puras, sin explicaciones convincentes.

Entre los años 1990-95, *Calophyllum brasiliense* fue una de las especies más preferidas de los pequeños finqueros de las llanuras de la vertiente atlántica norte de Costa Rica. Allí, el pequeño productor, que trabaja solo con sus hijos, practica principalmente la agricultura, y prefiere utilizar especies nativas en la reforestación, que establece en terrenos abandonados por los cultivos o charrales (barbechos). Su plantación forestal consiste en un mosaico de especies en bloques puros, cada uno de unos 1.2 ha en promedio (con un total de 3.7 ha por propiedad). En estas condiciones, el Santamaría fue sembrado en tres espaciamientos distintos, 3x3, 3.5x3.5 y 4x 4 m.

Entre 6 y 11 años después, *Calophyllum brasiliense* fue la especie con mayor sobrevivencia (de 22 especies utilizadas), con un 87% de los árboles inicialmente sembrados. Además, presentó un fuste de buena forma y bajos porcentajes de bifurcación. Sin embargo, los pequeños finqueros perdieron su interés por él, debido a su lento crecimiento que calificaron de malo (el peor de las diez mejores especies) (Piotto et al. 2002).

7. Silvicultura de plantaciones

En Guatemala, la investigación realizada por Gómez (2008) en las plantaciones puras (por lo menos 60%) de Santamaría establecidas en los años 1997-2006 a nivel nacional¹², puso en evidencia que en la mayoría de los sitios evaluados no se realiza ninguna práctica silvicultural (ni poda ni raleo), y que solamente el 50% de las plantaciones visitadas había recibido al menos dos limpiezas en los primeros dos años del establecimiento.

Las prácticas silviculturales tampoco se llevan a cabo en los sistemas agroforestales. A manera de ejemplo, la producción de madera de calidad proveniente de la sombra en cafetales no ha sido considerada como un objetivo importante tradicionalmente, y en consecuencia, los árboles maderables están deformados, bifurcados, con nudos y otros defectos que disminuyen su valor económico (Muschler 1999 citado por Salgado 2012).

El presente capítulo trata de presentar las prácticas mínimas que deberían ejecutarse para producir madera de valor, y con ello, beneficiar a la inversión realizada con la plantación.

Control de malezas

Basado en Raigoso y Leiva (2012), Cordero y Boshier (2003), Weaver (2000), Flores (2010), INAB (sistematización de experiencias de campo 2018)

Calophyllum brasiliense no tolera la competencia de gramíneas y arbustos en las etapas iniciales de crecimiento en plantaciones bajo clima húmedo. Por esto y debido al lento crecimiento inicial de la especie, es recomendable establecer un buen control de malezas durante los primeros años de crecimiento (un control intensivo durante los 3-4 primeros años según Cordero y Boshier (2003)).

En tales áreas, el desyerbado circular (plateo) en un radio de 1 m alrededor de las plántulas deberá efectuarse por lo menos una vez al año durante 3 años (Weaver 2000). En una zona de bosque húmedo en Costa Rica, en un sitio con vegetación de gramíneas, Cordero y Boshier (2003) reportan una intensidad de limpiezas mucho mayor: fue necesario realizar chapeas cada tres meses. En las áreas sujetas a las sequías, puede ser que el desyerbado no sea necesario.

El asocio de árboles forestales con cultivos anuales, beneficia la eliminación de la competencia no deseada, en otro escenario, las plantaciones muy poco intervenidas mediante cuidados culturales de mantenimientos, tienden a verse afectadas por las plantas enredaderas, que por su peso, provocan torceduras basales en los árboles durante sus primeros años.

¹² Izabal (Livingston), Alta Verapaz (Senahú, Santa María Cahabón, Fray Bartolomé de las Casas, Cobán [Ecoregión Lachuá Salacuim]), Quiché (Ixacán), Petén (Sayaxché, Dolores) y Sololá (Santiago Atitlán)



Figura 11. Plantación de Santamaría con daños (torcedura basal) ocasionados por bejuco, Finca Chajmaic, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala.

En la Finca Chajmaic, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, se obtuvo una experiencia importante relacionada con la falta de control de maleza, que, aunque no es positiva para el propietario, ha permitido orientarlo a mejorar posteriores decisiones respecto a la silvicultura.

La figura 11, representa una plantación que no recibió limpiezas constantes, este aspecto permitió el crecimiento de malezas trepadoras (bejuco) el cual, aunque no permaneció más de un año, si permaneció en la temporada de mayor crecimiento del árbol, provocando torceduras en los primeros metros de altura de los árboles, en otras palabras, ocasionó torceduras basales en la (futura) primera troza, con consecuencias negativas para los objetivos de la plantación. Actualmente, en la misma finca, se realizan al menos dos limpiezas al año, enfatizando con especial atención en la eliminación de bejuco alrededor de la planta, además en plantaciones más recientes, se realizan al menos 2 desyerbes circulares (plateos) en los primeros tres años.

Poda

Basado en Cordero y Boshier (2003), Sandi (1998), Flores (2010), Camposeco (2013), Salgado (2012)

Ante el comportamiento de la especie en plantaciones forestales es imprescindible adoptar actividades de poda, que favorezcan los objetivos comerciales, que es la obtención de trozas de calidad, principalmente en los primeros segmentos del fuste (primeras 2 o 3 trozas). El árbol de Santamaría produce muchas ramas al estar sin competencia. Por tal razón, plantar con un espaciamiento amplio (por ejemplo 4x5 m) puede ser interesante económicamente, ya que son menos plántulas, y se elimina la necesidad de un primer raleo demasiado pronto, cuando los árboles aún no proporcionan productos comerciales. Sin embargo, espaciamientos amplios exigen que se tenga un buen programa de podas si el objetivo de la producción es madera limpia de nudos.

Por otro lado, en una plantación de café, el efecto de la sombra sobre el cultivo es un factor clave para favorecer la productividad del café; por ello, el manejo de los árboles busca alcanzar la mayor productividad del cultivo (café), y no la producción de madera de calidad. Por esta razón, las técnicas silviculturales más practicadas en los cafetales de Centroamérica se limitan a poda de ramas bajas (descombre), eventualmente poda de formación y raleos.

Mediante podas de manejo de sombra o descombre se eliminan todas las ramas del estrato inferior de la copa para que no afecten la calidad de madera en el tronco principal. Para la ejecución del descombre, Somarriba (1999 citado por Salgado 2012) recomienda aplicar la primera poda de ramas bajas cuando los árboles son jóvenes, y repetir la práctica cada 2 a 3 años, según el crecimiento del árbol. El tratamiento debe aplicarse en el periodo de inactividad del cafetal, justo después de la cosecha principal.

Sandi (1998) y Cordero y Boshier (2003) recomiendan realizar podas al año y a los tres años para eliminar ramas bajas y ejes dobles, que son comunes en esta especie. Luego, seguir podando según necesidades para asegurar una primera troza de 5 m limpia de nudos. Camposeco (2013) confirma el defecto del eje doble: en una plantación de Santamaría de 10 años de edad instalada en Izabal, Guatemala, casi el 20% de los árboles presentan fustes bifurcados. ¡Qué pérdida económica por no haber ejecutado una poda oportuna!



Figura 12. Árboles de Santamaría altamente ramificados, finca Río Seco, Chisec, Alta Verapaz (izquierda) y finca Talita Kumi, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala (derecha).

Como se sustenta con todas las plantaciones presentadas en las figuras anteriores, es importante realizar podas de formación con el objetivo de dejar un solo eje, el más recto, vertical y vigoroso, retirando las ramas adicionales, con el objetivo inclusive de favorecer el desarrollo de un solo fuste o eje para obtener la mayor cantidad de trozas al final del turno. Es importante reiterar la importancia de esta práctica durante los primeros años de la plantación, cuando las ramas son delgadas y su eliminación no dejara cicatrices significativas, donde toma vital importancia la recomendación de Sandí (1998) y, Cordero y Boshier (2003) que recomiendan iniciar la poda el primer año y nuevamente aplicarla al tercero. No está de más agregar que la aplicación de podas frecuentes estimulara a los árboles a que alcancen su potencial en altura en un menor tiempo.

En los casos observados durante la sistematización de experiencias, fue común ubicar árboles con ejes múltiples o ramas a baja altura, esta característica fue común en las cinco fincas visitadas: Finca San Juan Buena Vista, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla; Finca Río Escondido, Chisec, Alta Verapaz; Finca Chajmaic y Finca Talita Kumi, ambas de Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz y en Finca particular de Aldea Cari, Playa Grande Ixcán, Quiché.

Raleo

Basado en Cordero y Boshier (2003), Weaver (2000), Gómez (2008), Cojóm (2015), Fuentes (2014), Salgado (2012)

Cordero y Boshier (2003) recomiendan realizar raleos oportunos en plantaciones densas, y muestran el mejor crecimiento obtenido a los 10 años de edad gracias a una intervención temprana. Al inverso, un raleo tardío puede no surtir efecto alguno: una eliminación de un tercio (1/3) a el 50% (1/2) del área basal de una plantación densa de 18 años de edad, no provocó ninguna reacción. Tres años después de la intervención, no fue evidente una aceleración detectable en el crecimiento en el diámetro, las copas permanecieron estrechas y se formaron pocas ramas nuevas (Weaver 2000).

Enseñanza: "es esencial hacer cada raleo en el momento oportuno, para no dejar que se estanque el desarrollo de las copas, lo que se traducirá en menores rendimientos". Esta recomendación toma toda su importancia en el contexto guatemalteco: Gómez (2008) y Cojóm (2015) coinciden en diagnosticar que las plantaciones que evaluaron no habían sido sujetas a raleos periódicos, sino que en su mayoría, la reducción de la densidad había sido producto de la mortalidad natural. Esperar 14 años o más antes de intervenir no tiene sentido, para entonces la plantación se estancó y se manifestara el efecto deseado con el raleo.

Aunque no se ha generado información novedosa sobre el raleo en esta especie, es importante considerar criterios comunes u orientadores para tal proceso, como el método de caja o cajón para la selección de los árboles a ralear, para el cual deben seguirse los siguientes 3 pasos.

1. Como primer paso, hay que ubicarse en una esquina de la plantación, entre las dos primeras hileras de árboles, regresando en entre las filas 3 y 4, continuando en zigzag como se muestra en la figura 13.
2. La persona encargada del marcado se coloca entre el primer cuadro de árboles, conocida como caja de cuatro árboles, eligiendo los dos peores individuos para ser marcados (si en caso fuera el 50% de intensidad).

En el caso de requerir un 25 % de intensidad de raleo, se selecciona únicamente un árbol, por el contrario, en el caso de requerir un 30% de intensidad, la caja debe ser de 6 árboles (3 de cada surco) de los cuales se seleccionan dos árboles. En cualquiera de los casos pueden utilizarse cajas más grandes, de 8, 10 y 12 árboles para aumentar las posibilidades de selección, siendo muy efectivas y manejables cajas de 10 árboles.

3. Después de marcar los dos árboles a extraer del primer cuadro, avanzar al siguiente y efectuar el mismo proceso del cuadro anterior.

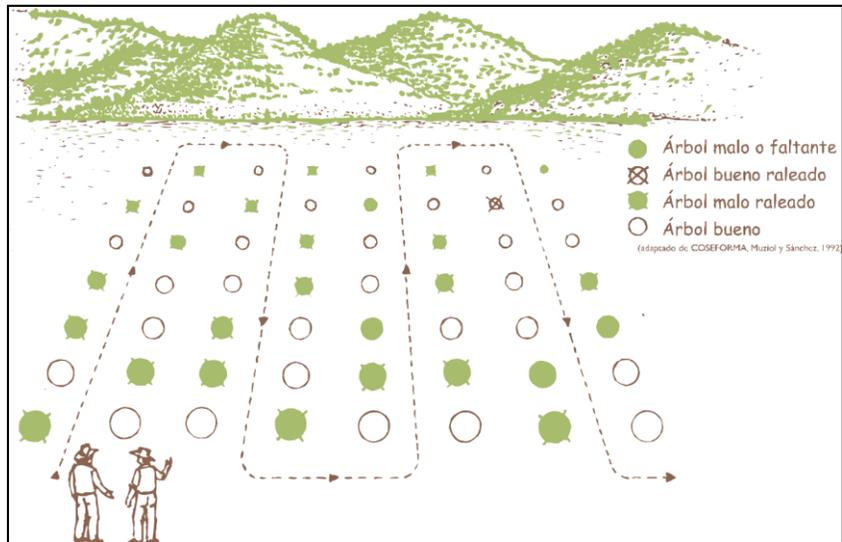


Figura 13. Esquema general de la forma de marcar el raleo en una plantación forestal.

Los criterios de selección de los árboles a ralear son los siguientes:

- a. Estado fitosanitario: se eliminan aquellos árboles que tengan problemas de plagas, enfermedades, cola de zorro, corona de reina, descopado por el viento o descortezado por roedores. Esto debido a que es uno de los problemas más graves de una plantación y puede ser el inicio de la pérdida total de esta.
- b. Rectitud del tronco: si no tuviéramos árboles enfermos o plagados a elegir, dentro de los cuatro o más árboles, tendríamos que definir, como siguiente criterio, los árboles torcidos o bifurcados, o que presenten cualquier otra deformación que disminuya la calidad general de la plantación.
- c. Diámetro: si no tuviéramos árboles enfermos o mal conformados dentro de los cuatro o más árboles, la decisión va dirigida a favorecer los árboles de mayor diámetro, marcando los más pequeños.
- d. Altura: habiendo agotado las características anteriores, si los árboles fueran de igual condición, se seleccionan para el raleo los árboles más bajos, debido a su desventaja competitiva en comparación con los árboles dominantes o más altos.

- e. Nota: Es importante hacer la aclaración de que los árboles muertos o faltantes se consideran raleados, por ejemplo: al aplicar una intensidad de raleo de 25%, si ya hubiera un árbol muerto en la caja (cuatro árboles elegidos), ya no es necesario eliminar otro.

Hay que reconocer que el mercado para los productos de las primeras intervenciones no alienta a ejecutar raleos. En su estudio de los productos de raleos en plantaciones de 7-9 años de *Calophyllum brasiliense* en Alta Verapaz, Fuentes (2014) constató que, a pesar de dimensiones que califican la mayor parte de los productos como trocillas (diámetros entre 10 y 25 cm), todos los raleos tuvieron que ser vendidos como leña por ausencia de un mejor mercado.

En los cafetales, el raleo de los árboles maderables regula básicamente la sombra que recibe el café (asegura la cantidad de sombra adecuada para el cultivo), empezando por eliminar los árboles mal formados y/o ramas gruesas.

Aprovechamiento final

Basado en Cordero y Boshier (2003), Salgado (2012), Somarriba et al. (2012)

En plantaciones de América central, los turnos de rotación fueron estimados en 30-40 años. En bosques naturales se estima un turno de cosecha de 50 años (Cordero y Boshier 2003). En cafetales, la etapa final para el manejo de especies maderables en asocio con café culmina a los 20 años (Salgado 2012).

Somarriba et al. (2012) dan las siguientes recomendaciones prácticas para reducir el daño causado por la explotación de árboles maderables sobre el cacao (y por analogía sobre el café):

- El aprovechamiento de los maderables se debe concentrar durante periodos de bajos precios y/o baja producción de cacao.
- Para reducir el peso y tamaño de la copa, hay que desramar el árbol antes de voltear; esto reduce considerablemente el daño.
- Los maderables se deben cortar antes de la poda fuerte del cacao; así se facilita la "reparación" de las plantas dañadas.
- El daño a las plantaciones de cacao se puede reducir si los encargados de las labores de aprovechamiento forestal reciben capacitación sobre tala dirigida.
- En terrenos inclinados, conviene voltear los árboles hacia arriba de la pendiente para que estos caigan con menos fuerza sobre el cacao; así el daño es menor.

Esquema silvicultural y rendimientos

No se encontró en la literatura un esquema silvicultural, ni siquiera preliminar, para el manejo del Santamaría. El perfil de manejo adoptado por Cojóm (2015) requiere mayor información experimental y validación antes de poder aplicarse, por la inmensa diferencia entre la edad de la plantación al momento de la última observación en campo (12 años), y la posible duración del turno (30-40 años).

¡Sin embargo, esta falta de conocimientos no justifica no hacer nada! El monitoreo de cada plantación de Santamaría debe conducir a realizar podas y raleos oportunos, que influirán positivamente en el crecimiento y desarrollo de la especie.

8. Manejo de plagas y enfermedades

En Guatemala, no se han reportado enfermedades ni problemas serios con plagas de insectos en el Santamaría; en particular, la especie no aparece en ninguno de los informes anuales de plagas 2006-2016 del SIFGUA¹³. Sin embargo, esto no significa que la especie no tenga enemigos naturales. En el cuadro siguiente se detallan los agentes dañinos que afectan a *Calophyllum brasiliense* en el país.

Tabla 2. Agentes dañinos del Santamaría (*Calophyllum brasiliense*) reportados en Guatemala

Nombre común del agente	Nombre científico del agente dañino	Tipo de agente dañino	Estructura atacada	Ataques / peligrosidad	Más información en...
Antracnosis	<i>Colletotrichum</i> sp.	Hongo fito patógeno	Follaje y ramas	Quemas (necrosis) de formas varias, con incidencia y severidad bajas	Soto (2002), Arguedas (1997)
Mancha foliar	<i>Sphaeropsis</i> sp.	Hongo fito patógeno	Follaje	Mancha foliar caracterizada por una decoloración rodeada en su totalidad de un anillo de color oscuro, con incidencia y severidad bajas.	Soto (2002)
s/n	<i>Rhizoctonia solani</i>	Hongo fito patógeno	Raíz	Puede provocar la muerte del tallo, se reproduce continuamente en periodos prolongados de humedad.	INAB, 2018
s/n	<i>Botryodiplodia</i> sp	Hongo fito patógeno	Raíz y tallo	A pesar de ser un hongo oportunista, llega a causar la mortalidad de los árboles.	INAB, 2018
s/n	<i>Pestalotiopsis</i> sp	Hongo fito patógeno	Tallo	Comúnmente afecta árboles en condiciones de estrés, asociando al patógeno con muerte de ramillas manchas foliares.	INAB, 2018
s/n	<i>Fusarium</i> sp	Hongo fito patógeno	Tallo	Es un patógeno oportunista, se desarrolla en árboles con algún grado de estrés.	INAB, 2018
s/n	<i>Pityophthorus</i> sp	Insecto Coleóptero Curculionidae	Tallo (tejidos de conducción)	Se comporta como insecto descortezador del floema y cambium, puede causar la muerte de árboles jóvenes dañados por incendios o debilitados por el clima.	INAB, 2018

* Elaborado con base en Soto (2002) e información complementaria de Arguedas (1997) y de INAB, 2018

¹³ Sistema de Información Forestal de Guatemala (SIFGUA). 26 feb. 2018 <<http://www.sifgua.org.gt/Plaga.aspx>>

El bajo número de agentes dañinos reportados en Guatemala no debe engañar: existen enemigos naturales del Santamaría. Hace 70 años, una enfermedad epidémica de marchitez vascular (un tipo de muerte descendente) diezmo las poblaciones naturales de Santamaría en El Salvador, afectando a árboles de todas las edades y produciendo síntomas comparables en aproximadamente el mismo período de tiempo, independientemente del tamaño del árbol. Crandall (1949) determinó que el agente causante fue un hongo del género *Cephalosporium*, y que había pocas posibilidades de combatir la enfermedad.

En Costa Rica, Arguedas (2007) reporta un coleóptero que ataca la semilla de *Calophyllum brasiliense* (según Sandi [1998], este insecto ataca frutos en el bosque) y 3 hongos patógenos (2 atacan el follaje [*Ascochyta* sp., *Colletotrichum* sp.] y 2 el fuste [*Colletotrichum* sp., *Verticillium* sp.]). En Puerto Rico, Weaver (2000) informa de un barrenador de las semillas (sin identificar) observado en el bosque natural, pero considera más común encontrar manchas en las hojas y una defoliación prematura cuando existe una infestación severa por insectos tisanópteros.

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. Si se recolecta semillas del bosque natural, cuidado en controlar la posible presencia del coleóptero.

Es recomendado prestarle atención el hongo *Colletotrichum* sp., identificado por Soto (2002) en hojas y ramas de plantaciones de Livingston. Este hongo puede atacar frutos, semillas y por ende plántulas, tal como lo hace con el sanjuán. Cuidado durante el proceso de secado de los frutos: una humedad relativa del ambiente muy alta favorece el ataque del hongo.

Plagas y enfermedades en plantaciones

Soto, 2002 e INAB, 2018

Los dos patógenos identificados por Soto (2002) presentan incidencia y severidad bajas, y recién atacan cuando los árboles están sometidos a condiciones de estrés (patógenos de debilidad). No se toman medidas de control para estas enfermedades.

En plantaciones de *Calophyllum brasiliense* de Costa Rica se han producido plagas de descortezadores, provocadas por un insecto no identificado (Arguedas 2006). Tampoco está identificado el hongo que provocó la muerte de todos los individuos después de 15 años de establecidos en plantaciones puras en Sarapiquí. En Guatemala, se reporta un fenómeno similar, el cual se describe a continuación.

Durante el año 2018, en plantaciones forestales de Santamaría ubicadas en el municipio de Ixcán, Quiché y en el municipio de Cobán, Alta Verapaz, ambos de Guatemala, se desarrolló la identificación y análisis de patógenos que afectan al hospedero *Calophyllum brasiliense*, incluyendo hongos fitopatógenos e insectos.

Rony Albanés¹⁴, mediante informe técnico No. PEF-009/2018 expresa los resultados que se recabaron en la boleta de reporte de plagas y enfermedades forestales que utiliza el INAB, y con el respectivo análisis de laboratorio, se determinó el complejo de hongos que actualmente causan la muerte descendente en plantaciones comprendidas en edades de 14 a 16 años, ubicadas en las regiones donde existe el reporte, los patógenos se describen a continuación:

Rhizoctonia solani

Este patógeno del suelo puede afectar la raíz y el follaje de muchas plantas, causa la muerte del tallo, este hongo es más frecuente en los sustratos que se utilizan para plantas en vivero, sino se realiza el control (desinfección adecuada del sustrato), este hongo puede ser transportado desde vivero hasta la plantación establecida en campo definitivo, causando la muerte de plantas recién establecidas. En el periodo de máxima humedad, el hongo se reproduce continuamente.

Botryodiplodia sp.

A pesar de ser un hongo oportunista, es un patógeno importante que contribuye en la muerte de los árboles. Este hongo puede causar mortalidad, casi siempre en forma de muerte descendente, con el follaje que muere rápidamente, cambiando de color amarillo a café claro.

En la madera infectada, se aprecia una coloración oscura de los rayos, la corteza infectada se colapsa y presenta coloración oscura. Los árboles que tienen estructuras reproductoras casi siempre están muertos, con follaje de color café o ya casi sin hojas; el hongo se desarrolla en su hospedante cuando el árbol se encuentra bajo condiciones de estrés.

Fusarium sp.

Se le considera un patógeno oportunista, que logrará desarrollar infecciones exitosas en árboles (hospederos) que manifiestan algún grado de estrés.

Pestalotiopsis sp.

Es un hongo comúnmente hospedando árboles afectados por estrés, en los cuales se asocia con la muerte de ramilla y mancha foliar. Este hongo se reconoce como secundario, es decir, infecta hojas o tejidos previamente dañados por otras causas.

Recomendaciones para el manejo

- El manejo de los patógenos anteriormente descritos, en los árboles que presentan síntomas evidentes de infección generalizada, se aplica la técnica de remoción de árboles afectados, para reducir la fuente de inóculo en el aire a través del derribo direccional hacia el centro de la infección.
- La eliminación se realiza mediante la quema del follaje y ramas
- A la roza se realiza el control con aplicaciones de fungicidas penetrantes

¹⁴ Rony Alexander Albanes Barahona. 13 jun 2018. (Informe técnico No. PEF-009/2018). Identificación y análisis de patógenos que están afectando plantaciones de especies latifoliadas que se ubican en el municipio de Playa Grande Ixcán, Quiché y en el municipio de Cobán, Alta Verapaz. Encargado de plagas forestales, Departamento de Protección Forestal, Dirección de Manejo y Conservación de Bosques, Instituto Nacional de Bosques INAB.

- El hongo entra al árbol sano por heridas recientes en troncos y ramas (por inadecuadas prácticas silviculturales), por ello se sugiere tratar heridas de poda con un fungicida protector o un sellador (pintura de aceite).
- Asegurar mejor vigor en la plantación a través de la implementación de actividades silviculturales oportunas.
- La pronta detección de infestaciones mediante la inspección continua (monitoreo) permite identificar y tratar árboles infestados (antes de que el daño sea más severo y en mayor proporción en la plantación).
- El buen manejo forestal es sumamente importante para asegurar plantaciones sanas y productivas.



Figura 14. Plantaciones forestales de Santamaría con características de muerte descendente, ubicadas en plantaciones forestales de Guatemala. (Fotografía por Rony Albanes, del INAB)



Figura 15. Coloración oscura en el área del cambium en un tocón de la especie *Calophyllum brasiliense* Cambess, en Guatemala. (Fotografía por: Rony Albanes del INAB).



Figura 16. Síntomas del follaje muerto de Santamaría, cambiando de una coloración a amarillo, luego a rojizo y por último a café claro, en plantaciones forestales de Guatemala. (Fotografía por: Rony Albanes del INAB).

Pityophthorus sp. (Coleóptera, Curculionidae)

Es un insecto, cuyo tamaño varía de 0.8 a 3.2 mm de longitud, otras especies del mismo género se comportan como descortezadores de floema y cambium, pueden causar la muerte de árboles jóvenes que hayan sufrido daños por incendios, o que estén debilitados por sequías o por competencia con otros árboles (Cibrián, et., al; citado por Albanes, 2018).

Recomendaciones para el manejo

- Para el manejo de la plaga se recomienda el derribo del arbolado infestado y la quema de ramas y puntas infestadas fuera de la plantación.
- Si se desea utilizar la madera se recomienda aplicación de insecticidas de contacto disueltos en un aceite mineral que permita la penetración en la corteza luego de derribado el árbol.
- Se recomienda la regulación de la densidad a través de la aplicación de raleos que permitan vigorizar el rodal.
- La pronta detección de infestaciones mediante la inspección continua permite identificar y tratar a los árboles plagados.
- El buen manejo forestal es sumamente importante para asegurar bosques sanos y productivos.



Figura 17. Presencia de grumos de resina en la corteza del árbol Santamaría causado por *Pityophthorus* sp en Guatemala (izquierda); insecto adulto de *Pityophthorus* sp identificado en plantaciones de Santamaría en Guatemala (derecha). (Fotografía por: Rony Albanes del INAB).

9. Manejo de bosques naturales

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

- Grogan et al. (2017) reseñan de manera sencilla y comprensible los requisitos claves del manejo forestal sostenible, y describen los parámetros de manejo más importantes como son el ciclo de corta, el diámetro mínimo de corta y la intensidad de corta. Estos autores estudian luego el estado de conservación de las poblaciones de cinco especies bajo manejo forestal en la Reserva de la Biósfera Maya, 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 subvencionaba, a finales del 2015, el manejo de regeneración natural de 54 ha de Santamaría (ver cuadro en capítulo *Existencias* para mayores detalles). Este hecho justifica el desarrollo en este capítulo de elementos técnicos para apoyar esta actividad.

Manejo de regeneración natural

Basado en Díaz (1995), Girón (1997), Weaver (2000), Cordero y Boshier (2003), Redondo-Brenes y Montagnini (2006), Fung (2011), Rivera (2000)

El manejo de la regeneración natural del Santamaría no está documentada en Guatemala. Sin embargo, características de *Calophyllum brasiliense* expuestas en el presente documento dan fundamentos para concebir que hacer.

Contrariamente a lo asumido durante mucho tiempo, *Calophyllum brasiliense* es una heliófita, que si bien tolera una sombra ligera en etapas juveniles (es intolerante a la sombra densa durante la etapa de plántula), necesita, a partir de 5 cm dap, de alguna luz directa vertical para desarrollarse exitosamente.

Otra característica del Santamaría de importancia para idear el manejo de su regeneración natural es la siguiente: es de lento crecimiento inicial, con un crecimiento significativamente mejor en cultivos puros que en plantaciones mixtas, ya que copas que lo enciman frenan drásticamente su desarrollo. El manejo de la regeneración natural de *Calophyllum brasiliense* se orientará por lo tanto en asegurar que latizales desde unos 5 cm dap, debidamente seleccionados, reciban oportunamente iluminación vertical para su desarrollo exitoso. En términos prácticos, puede darse así:

- Elegir, cuando la regeneración alcanza un tamaño de latizal bajo (>150 cm de alto a <5 cm de diámetro), los individuos de futuro inmediato, y marcarlos (más árboles mejor, para tener la oportunidad de escoger los mejores en algunos años, pero que estén en sitios favorables)
- Ejecutar una corta de puesta en luz, dirigida a eliminar cualquiera copa que impide la entrada de luz vertical sobre los individuos de futuro inmediato (puede ser talando los árboles a eliminar, o anillándolos)
- Repetir esta corta periódicamente hasta que los individuos del futuro de Santamaría hayan alcanzado un tamaño donde no pueden estar encimados por otras copas.

En la fase de instalación de la regeneración del Santamaría, puede ser oportuno favorecer la germinación de la especie en sitios donde no llega naturalmente la semilla, por ejemplo, en claros abiertos por la tala de maderables o en bacadillas abandonadas. En este caso, proceda de la manera siguiente:

- Eliminar la vegetación existente en los claros y/o bacadillas a enriquecer (preferiblemente con quema)
- Recoger semilla sana de árboles que cumplen todos los criterios de semillero (ver acápite Recolecta: evaluación previa a coleccionar frutos)
- Sembrar los frutos en el suelo a una profundidad de 2.5 cm, usando un plantador (ver acápite Instalación: métodos de siembra), a una distancia de 1.8x1.8 m.

“El uso de los claros más pequeños está condicionado por la necesidad permanente de mantenerlos abiertos: es posible, pero requiere labores de mantenimiento que generalmente no se dan”.

10. Crecimiento y productividad de plantaciones

Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala

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

En la implementación de su programa de monitoreo, el Departamento de Investigación Forestal, en colaboración con personal de las sub-regiones del INAB, instaló paulatinamente desde el año 2003 un total de 74 Parcelas Permanentes de Medición Forestal (PPMF) en plantaciones PINFOR de Santamaría, distribuidas en casi todas las regiones donde se siembra la especie (ver mapa con la ubicación de las PPM en el acápite “Distribución potencial de la especie en Guatemala”).

Tabla 3. Número de PPMF de Santamaría bajo monitoreo de INAB clasificada por la edad de las plantaciones y el número de mediciones.

Edad de las plantaciones Y número de mediciones	Número de parcelas	Número inicial de árboles	Número de árboles a diciembre 2015
Edad de 0-5.0 años	3	274	274
una sola medición	3	274	274
Edad de 5.1-10.0 años	30	1,544	1,516
una sola medición	24	1,379	1,379
2-5 mediciones	1	21	20
6 mediciones y más	5	144	117
Edad de 10.1-15.0 años	36	1,239	1,154
una sola medición	19	750	750
2-5 mediciones	8	239	224
6 mediciones y más	9	250	180
Edad de 15.1 y más años	5	130	115
una sola medición	1	14	14
2-5 mediciones	2	28	24
6 mediciones y más	2	88	77
Total	74	3,187	3,059

Tabla 4. Número de PPMF monitoreadas por INAB clasificadas por su grado de mezcla inicial, con especies asociadas a plantaciones.

Grado de mezcla inicial del Santamaría	No. de parcelas	Especies asociadas [con n>5 en la parcela] (número de parcelas de ocurrencia)
$G_{mezcla} < 50\%$	32	<i>Astronium graveolens</i> (3); <i>Blepharidium mexicanum</i> (1); <i>Brosimum alicastrum</i> (1); <i>Cedrela odorata</i> (2); <i>Cojoba arborea</i> (1); <i>Cordia alliodora</i> (2); <i>Dalbergia stevensonii</i> (4); <i>Guarea glabra</i> (1); <i>Pachira aquatica</i> (1); <i>Pithecellobium arboreum</i> (4); <i>Schizolobium parahybum</i> (1); <i>Swietenia macrophylla</i> (10); <i>Tabebuia donnell-smithii</i> (2); <i>Tabebuia rosea</i> (3); <i>Tectona grandis</i> (3); <i>Terminalia amazonia</i> (6); <i>Vatairea lundellii</i> (5); <i>Virola koschnyi</i> (2); <i>Vochysia guatemalensis</i> (18); <i>Zanthoxylum belizense</i> (1).
$50 \leq G_{mezcla} < 85\%$	22	<i>Cedrela odorata</i> (2); <i>Pachira aquatica</i> (2); <i>Pithecellobium arboreum</i> (2); <i>Pithecellobium saman</i> (1); <i>Swietenia macrophylla</i> (11); <i>Tabebuia donnell-smithii</i> (1); <i>Tabebuia rosea</i> (3); <i>Vatairea lundellii</i> (1); <i>Virola koschnyi</i> (2); <i>Vochysia guatemalensis</i> (7); <i>Zanthoxylum belizense</i> (1).
$G_{mezcla} \geq 85\%$	20	<i>Gmelina arborea</i> (1); <i>Swietenia macrophylla</i> (1); <i>Vochysia guatemalensis</i> (1).
Total	74	

Fuente: Departamento de Investigación Forestal

En Guatemala, la primera parcela permanente de medición forestal para la especie se instaló en Santiago Atitlán, Sololá, en octubre del 2003, en una plantación pura. Recién 3 años más tarde (en setiembre del 2006) se instaló una segunda, en Ixcán, Quiché (mixta). Las quince siguientes se instalaron en Cobán, Alta Verapaz, al año siguiente, en plantaciones mixtas. La primera PPMF instalada en una plantación pura dentro del área de distribución natural de la especie fue en Livingston, Izabal, en noviembre del 2009. Hasta el año 2015, el crecimiento del Santamaría estaba monitoreado en 10 municipios ubicados en 5 departamentos del país. De las 74 PPM bajo monitoreo, 47 son de instalación reciente y cuentan solamente con la medición de instalación de la parcela.

La gran mayoría de las PPM ha sido instalada en plantaciones mixtas (3 de 4). 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 los Santamaría? Esta pregunta no es por nada académica, y poder responderle es básico-práctico para el silvicultor del Santamaría, sabiendo que la especie fue suprimida por las especies de rápido crecimiento, tales como sanjuán y jacaranda cuando fueron mezcladas. ¿Cuál mezcla es viable, cuál no?

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, disturbios que hayan modificado el desarrollo del rodal, ya sean naturales (huracanes...) o provocados por el hombre (incendios...)). Las interrogantes planteadas en el siguiente acápite sólo encontrarán respuestas sólidamente fundadas mediante trabajos científicos que requieren de tal información completa. Es esencial incorporar cuando antes la generación de esta información en el proceso de monitoreo.

Crecimiento e incrementos

El análisis de la base de datos dasométricos (PPMF de Santamaría en plantaciones forestales puras y mixtas, estado al 31 de diciembre 2015) condujo a diferenciar 5 categorías de productividad, llamadas categorías de sitio, con base en la altura alcanzada por el rodal y su edad:

Tabla 5. Clasificación de las categorías de sitio para Santamaría *Calophyllum brasiliense* Cambess en Guatemala.

Categoría de sitio	Rangos de índice de sitio* por categoría [m]
Pésimo	<5.0
Malo	5.0-8.9
Medio	9.0-12.4
Bueno	12.5-15.9
Excelente	≥16.0

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016 (índice de sitio determinado a una edad base de 10 años).

Tabla 6. Comportamiento del crecimiento de *Calophyllum brasiliense* en plantaciones puras o plantaciones con un grado de mezcla (Santamaría >85%) con base a PPMF bajo monitoreo en Guatemala.

Depto.	Municipio	Finca	Índice de sitio* [m]	Categoría de sitio	Especies asociadas
Izabal	Livingston	El Florido	10.7	Medio	n/a
Petén	Dolores	Raulito	10.5	Medio	n/a
	Poptún	Parcelamiento El Pañuelo	3.8	Pésimo	n/a
Alta Verapaz	Cobán	José María Seb Xo	16.6	Excelente	<i>Swietenia macrophylla</i>
		Rocja Pontila	11.9	Medio	n/a
		Saholom	9.5	Medio	n/a
	Cahabón	Chinajuc	11.8	medio	<i>Gmelina arborea</i>
	San Pedro Carchá	Adolfo Pacay Cajbom	10.1	medio	n/a
Quiché	Playa Grande-Ixcán	José Chooj	14.4	Bueno	<i>Vochysia guatemalensis</i>
		Lucia Cano Argueta	11.5	Medio	n/a
		Punto Chico: Juan Co	9.8	Medio	n/a
Sololá	Santiago Atitlán	El Brote	12.3	Medio	n/a

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016 (índice de sitio a una edad base de 10 años)

- El cuadro anterior representa las distintas categorías de índice de sitio que manifiesta cada parcela permanente instalada en las fincas descritas, solamente la finca de José María Seb Xo, ubicada en Cobán, Alta Verapaz manifiesta una categoría de índice de sitio "Excelente".
- En el cuadro anterior únicamente se describen las categorías de índices de sitio de las plantaciones puras y otras plantaciones que, si bien están asociadas a otras especies, sin embargo, Santamaría tiene un grado de mezcla > de 85% de la densidad.
- De las 12 fincas bajo monitoreo con base a parcelas permanentes de medición forestal, el 75% se encuentran categorizadas en un índice de sitio medio.

Considerando que el 85% del área bajo monitoreo de Parcelas Permanentes de Medición Forestal para la especie Santamaría se encuentra en distintos arreglos mixtos, con una diversidad de grados de mezcla (porcentaje de árboles de Santamaría versus otras especies en el arreglo mixto) y una gran variedad de especies acompañantes, que suman 17 en total, lo que implica la importancia de describir los distintos arreglos los cuadros 7 y 8.

Se podrá observar en los cuadros siguientes (7 y 8) que existen índices de sitio bajos, alrededor de 5.1 y 5.3 metros de altura dominante, observar alturas tan bajas no debe de extrañar, debido a que en la práctica, la mala elección de especies acompañantes conlleva a que se registre la medición de árboles totalmente suprimidos, por la falta de luz vertical que demanda Santamaría y por su asocio con especies con mayores tasas de incremento, además, la falta de manejo (raleo por alto) en beneficio del desarrollo de Santamaría es casi nulo.

Tabla 7. Comportamiento del crecimiento de *Calophyllum brasiliense* en plantaciones mixtas con base a PPMF en plantaciones con un grado de mezcla [$50 \leq G_{mezcla} < 85\%$] en Guatemala.

Departamento	Municipio	Finca	Índice de sitio* [m]	Categoría de sitio	Especies asociadas
Alta Verapaz	Fray Bartolomé de las Casas	Talita Kumi	13.5	Bueno	<i>Swietenia macrophylla</i>
	Cobán	Secundino Cuc Pa	15.2	Bueno	<i>Swietenia macrophylla</i> y <i>Tabebuia donnell-smithii</i>
		Jaime Hazard	15.2	Bueno	<i>Tabebuia donnell-smithii</i> y <i>Pachira aquatica</i>
		Emilio Caal	14.9	Bueno	<i>Swietenia macrophylla</i>
		Alberto Ichic	14.1	Bueno	<i>Swietenia macrophylla</i>
		San José Icbolay	14.1	Bueno	<i>Swietenia macrophylla</i>
		Pie del Cerro	12.6	Bueno	<i>Tabebuia rosea</i>
		Ixloc Salacuín	11.5	Medio	<i>Virola koschnyi</i>
		Patate Icbolay	9.3	Medio	<i>Vatairea lundellii</i> y <i>Swiema macrophylla</i>
		Santa Cruz El Nacimiento	7.9	Malo	<i>Pachira aquatica</i>
	Cahabón	Bentzul	8.4	Malo	<i>Cedrela odorata</i> ; <i>Pithecellobium arboreum</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> y <i>Tabebuia donnell-smithii</i>
Quiché	Ixcán	Santos Martín	17.5	Excelente	<i>Swietenia macrophylla</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		El Cari: Mauricio Mejía	13.5	Bueno	<i>Vochysia guatemalensis</i> y <i>Vatairea lundellii</i>
		Daniel Caal	12.1	Medio	<i>Vochysia guatemalensis</i>
		Florentino Macz	10.9	Medio	<i>Pithecellobium arboreum</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		Tereza Tum Pirir	10.4	Medio	<i>Pithecellobium arboreum</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		Punto Chico: Juan Co	9.0	Medio	<i>Vochysia guatemalensis</i>
		El Peñón	8.4	Malo	<i>Cedrela odorata</i> , <i>Astronium graveolens</i> , <i>Cojoba arborea</i> y <i>Swietenia macrophylla</i> ;

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016 (índice de sitio calculado a una edad base de 10 años)

- Existe la tendencia de que Santamaría reporta un índice de sitio medio cuando se encuentra en asocio con *Vochysia guatemalensis*, probablemente debido a la ecología de la especie Santamaría, la cual requiere luz vertical plena desde que sobrepasa los 5 cm de DAP.
- Existe la tendencia de que Santamaría reporta un índice de sitio bueno cuando se encuentra en asocio con Caoba del Petén *Swietenia macrophylla*, esta característica es común en todas las PPMF con asocio Santamaría y Caoba de Petén.

Tabla 8. Comportamiento del crecimiento de *Calophyllum brasiliense* en plantaciones mixtas con base a parcelas permanentes en plantaciones con un grado de mezcla < 50%.

Depto....	Municipio	Finca	Índice de sitio* [m]	Categoría de sitio	Especies asociadas
Alta Verapaz	Chisec	Pedro Maquin	11.8	Medio	<i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Tabebuia rosea</i> , <i>Tabebuia donnell-smithii</i> y <i>Tectona grandis</i>
	Cobán	Rolando Ovidio Guillén Enríquez	15.1	Bueno	<i>Virola koschnyi</i> , <i>Astronium graveolens</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		Fabio Jesús Ical Xo	14.8	Bueno	<i>Virola koschnyi</i> , <i>Astronium graveolens</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		Rosalio Botzoc	13.9	Bueno	<i>Swietenia macrophylla</i> y <i>Terminalia amazonia</i>
		Ixloc Salacuin	13.7	Bueno	<i>Swietenia macrophylla</i> y <i>Terminalia amazonia</i>
		Rocja Purribal	11.1	Medio	<i>Virola koschnyi</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Vochysia guatemalensis</i> y <i>Schizolobium parahybum</i>
		René Xol	10.8	Medio	<i>Terminalia amazonia</i> , <i>Vochysia guatemalensis</i> y <i>Dalbergia stevensonii</i>
		San Benito	10.5	Medio	<i>Vatairea lundellii</i> y <i>Swietenia macrophylla</i>
		Las Tortugas	10.4	Medio	<i>Vatairea lundellii</i>
		Joselino Hernández	10.1	Medio	<i>Vatairea lundellii</i> y <i>Zanthoxylum belizense</i>
		Río Tzetoc	9.7	Medio	<i>Tabebuia rosea</i>
		Rocja Pontila	6.4	Malo	<i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Tectona grandis</i> , <i>Terminalia amazonia</i> , <i>Vatairea lundellii</i> y <i>Tabebuia donnell-smithii</i>
	Saholom	5.5	Malo		
Cahabón	Las Coquechas	9.9	Medio	<i>Cedrela odorata</i>	
Quiché	Ixcán	Abel Arnoldo Ríos	13.2	Bueno	<i>Vochysia guatemalensis</i>
		Santa Rita	13.1	Bueno	<i>Cordia alliodora</i> , <i>Pithecellobium arboreum</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		Emilio Mejía Gonzales	12.9	Bueno	<i>Astronium graveolens</i> , <i>Pithecellobium arboreum</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Terminalia amazonia</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		Cesario Cruz Gabriel	11.4	Medio	<i>Dalbergia stevensonii</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		El Cari: Romualdo López	10.5	Medio	<i>Vochysia guatemalensis</i>
		Tereza Tum Pirir	9.3	Medio	<i>Pithecellobium arboreum</i> , <i>Swietenia macrophylla</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
		Parcela no. 7 - Roberto Quej	9.1	Medio	<i>Vochysia guatemalensis</i>
		Domingo Luis Jiménez	8.3	Malo	<i>Dalbergia stevensonii</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>

	Parcela no. 49 - Héctor Alfonso Beb	8.2	Malo	<i>Vochysia guatemalensis</i>
	María Gauche Lajuj	6.4	Malo	<i>Cordia alliodora</i> ; <i>Dalbergia stevensonii</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
	Manuel de Jesús Jiménez López	5.8	Malo	<i>Vochysia guatemalensis</i>
	Abel Hernández Lucero	5.5	Malo	<i>Pithecellobium arboreum</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>
	Otro propietario	5.1	Malo	<i>Guarea glabra</i> y <i>Vochysia guatemalensis</i>

Fuente: Departamento de Investigación Forestal (Índice de sitio calculado a una edad base de 10 años)

Redondo-Brenes y Montagnini (2006) mostraron que, en plantaciones mixtas de la zona norte de Costa Rica, el Santamaría fue suprimido por las especies de rápido crecimiento sanjuán y jacaranda. En Guatemala, la información del Departamento de Investigación Forestal del INAB no corrobora de manera tan tajante el resultado de Costa Rica: hay excelentes o muy buenos crecimientos del Santamaría asociado con el Sanjuán, sin embargo, existen muy malos con la misma especie.

De manera general, hay mucho más casos de asociación exitosa del Santamaría con la caoba que con el sanjuán, y, en el otro extremo, hay una mayoría de casos de crecimiento malísimo del Santamaría asociado con el sanjuán. Por otro lado, pareciera que existe una relación inversa entre crecimiento del Santamaría y el número de especies asociadas: a mayor número de especies asociadas, peor crecimiento, probablemente porque es muy difícil evitar en estas condiciones que las copas de las otras especies enciman al Santamaría.

Interesante notar que, en condiciones similares de plantaciones, todos los municipios presentan a la vez sitios con condiciones excelentes y malas. En este contexto, las diferencias de crecimiento bien pueden deberse también a prácticas silviculturales deficientes (insuficiente control de las malezas durante los primeros años de la plantación, y luego mal mantenimiento de la iluminación superior – liberación de las copas del Santamaría). En particular, es esencial recordar que *Calophyllum brasiliense* no tolera la competencia de gramíneas y arbustos en sus etapas iniciales de crecimiento, y requiere de un buen control de malezas en las fases iniciales de las plantaciones. Y luego, copas que lo enciman frenaran su desarrollo. Lastimosamente, la falta de información sobre el historial de cada rodal monitoreado no ayuda.

Por ende, ningún departamento o zona con plantaciones establecidas muestra aptitudes particularmente favorables para el crecimiento del Santamaría. Sin embargo, debe señalarse que el dispositivo de monitoreo de *Calophyllum brasiliense* está sesgado en cuanto a las superficies plantadas por departamento: un número grande de PPMF en Alta Verapaz (40 dentro del 40% de las plantaciones establecidas a nivel nacional) y Quiché (26 dentro del 22% del área plantada), un número ínfimo en Petén e Izabal (5 y 1, dentro del 21, respectivamente 17% del área plantada), pero 2 en Sololá, dentro del 0.4% del área plantada! En la medida que vaya equilibrándose el dispositivo, es posible que puedan aparecer tendencias geográficas hoy en día indetectables.

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

Tabla 9. Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para *Calophyllum brasiliense* 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	0.43	0.23	0.06	0.15
Malo	0.63	0.50	0.13	0.51
Medio	0.92	0.78	0.31	1.78
Bueno	1.29	1.02	0.66	5.30
Excelente	1.81	1.26	1.39	15.82

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016 (estimaciones del IMA para el IS medio de cada categoría de 3, 7, 11, 14 y 18 m respectivamente)

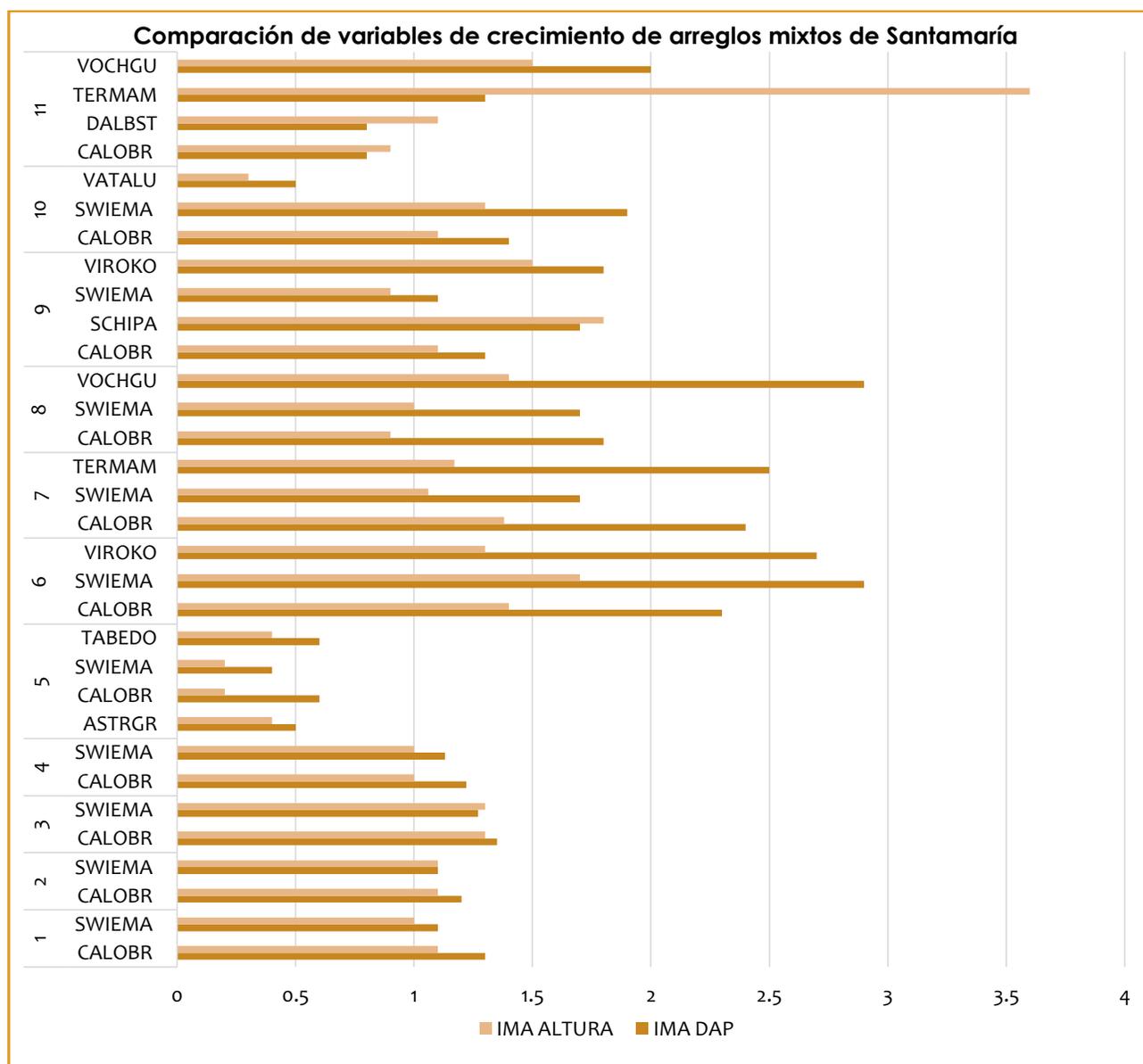


Figura 18. Comportamiento de los incrementos de DAP y altura de especies asociadas a Santamaría en plantaciones mixtas en 11 Parcelas Permanentes de Medición Forestal.

Los códigos de las especies descritas en la figura 18 y 19 corresponden a la siguiente descripción: (VOCHGU: *Vochysia guatemalensis*; TERMAM: *Terminalia amazonia*; DALBEST: *Dalbergia stevensonii*; CALOBR: *Calophyllum brasiliense*; VATALU: *Vatairea lundellii*, SWIEMA: *Swietenia macrophylla*; VIROKO: *Virola koschnyi*; SCHIPA: *Schizolobium parahybum*; ASTRGR: *Astronium graveolens*).

De forma específica, analizando la parcela 11 (descrita en la figura 18), la especie Sanjuán, Canxan, Rosul y Santamaría tenían las siguientes densidades 320 arb/ha, 280 arb/ha, 180 arb/ha y 290 arb/ha respectivamente, (aproximadamente una proporción de 25%/especie), esto implica que la diferencia de crecimientos de la especie Sanjuán y Canxan versus Santamaría no es debido a una excesiva diferencia de densidades entre especies, sino todas tuvieron una probabilidad similar de interactuar y competir; en conclusión, la especie Sanjuán y Canxan son especies con mayor tasa de incremento que Santamaría, por ende se refleja una diferencia de 0.6 m de IMA en altura (Sanjuán vs Santamaría) y una diferencia de 2.7 m de IMA en altura (Canxan vs Santamaría). Por lo tanto los arreglos mixtos entre dichas especies no son recomendables, ya que ambas demuestran su dominancia ante Santamaría, provocando el retardo de su crecimiento en altura por su poca capacidad de respuesta ante la competencia por el ingreso de luz vertical para la especie.

Un análisis más general, si observamos el comportamiento del incremento de la altura (IMA altura) en la figura 18, podemos concluir que las especies como Cola de coche *Schizolobium parahybum*, Canxan *Terminalia amazonia* y Sanjuán *Vochysia guatemalensis* demuestran una mejor capacidad de respuesta de crecimiento en condiciones de competencia en distintos grados de mezcla (incluyendo al Santamaría). Por tal motivo, la selección de la especie acompañante para Santamaría debe realizarse con base a su comportamiento ecológico (heliófitas) y a la tasa de crecimiento de las especies (tasa de IMA), de lo contrario, la productividad esperada para dicha especie nativa se verá comprometida.

Es importante observar el comportamiento similar en el crecimiento de Altura de Caoba y Santamaría, que se ven reflejadas en las parcelas del 1 al 10 (descritas en la figura 18); aunque las PPMF que mejor manifiestan el comportamiento homogéneo entre ambas especies son la No. 1 a la 5 (descritas en la figura 18) y resumidas en la figura 19.

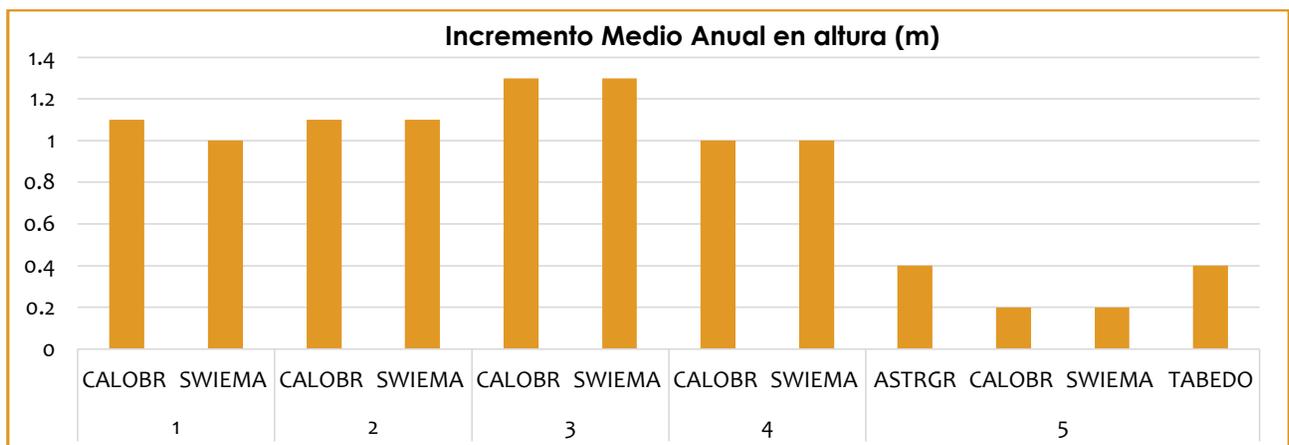


Figura 19. Comportamiento observado del incremento medio anual de altura (m) en plantaciones mixtas de Caoba y Santamaría distribuidas en la franja transversal del norte, Guatemala.

En la figura 19, las parcelas No. 1 a la 4 tienen en común que la proporción de la densidad es de 69% de Santamaría y 31% de Caoba de Petén, bajo ese arreglo mixto, solamente la PPMF No. 1 registra una leve diferencia de 0.1 m de IMA entre ambas especies, mientras que las PPMF 2, 3 y 4 registran el mismo incremento en altura. Al parecer, una proporción 3:1 en arreglos mixtos de Santamaría y Caoba de Petén, ambas especies se han visto favorecidas y se han complementado conjuntamente, ya que la diferencia en incrementos en altura para ambas especies en dicho arreglo es casi nula, sin embargo, al analizar todos los datos de alturas y DAP promedio del registro de los árboles individuales de 4 PPMF instaladas en finca Talita Kumi, Fray Bartolomé De Las Casas, Alta Verapaz, Guatemala, resultó que mediante la prueba de “t” comparando medias independientes a un nivel de confianza del 95%, el DAP de ambas especies es estadísticamente igual (no hay diferencias significativas entre los valores de diámetros de ambas especies) y el comportamiento de la altura si resulta ser estadísticamente distinta (si hay diferencias significativas entre los valores de alturas de ambas especies). Las PPMF instaladas indican que la plantación se encuentra en un sitio “bueno”, aunque durante la visita de campo se determinó que a sus 12.5 años aún no han realizado el primer raleo de la plantación, un raleo oportuno pudo haber mejorado los índices de sitio y reflejado mayor éxito en el asocio.

El análisis de la base de datos dasométricos (PPMF de Santamaría en plantaciones forestales mixtas y puras, estado al 31 de diciembre 2015) ha permitido definir las siguientes funciones de crecimiento, que transcriben la dinámica de crecimiento de la especie en cada sitio. En la medida que la base de datos dasométricos cuente con información completa, coherente y con PPMF de más edad, será pertinente construir funciones para condiciones similares de plantaciones, de manera a poder hacer ejercicios sólidos de simulación de aplicación de distintos esquemas silviculturales sobre el desarrollo del rodal. Cordero y Boshier (2003) estiman los turnos de rotación en 30-40 años en plantaciones, y un turno de cosecha de 50 años en bosques naturales.

Tabla 10. Descripción de las familias de modelos de crecimiento para *Calophyllum brasiliense* en Guatemala.

Variable	Modelo de crecimiento	r ²
Índice de sitio	$=\exp(\ln(H_d)+4.650022*(1/T-0.1))$	0.64
Altura total [m]	$=\exp(\ln(S)-4.650022*(1/T-0.1))$	0.64
Diámetro [cm]	$=\exp(2.139195-7.187504/T+0.100533*S-0.000205*N)$	0.88
Área basal [m ² /ha]	$=\exp(-0.415634-13.546511/T+0.223345*S+0.00147*N)$	0.86
Volumen total [m ³ /ha]	$=\exp(0.604071-19.04308/T+0.325148*S+0.001262*N)$	0.91

Fuente: Departamento de Investigación Forestal, INAB, 2016

Dónde:

T = edad en años;

N = árboles/ha

H_d = altura dominante [m]

S = índice de sitio

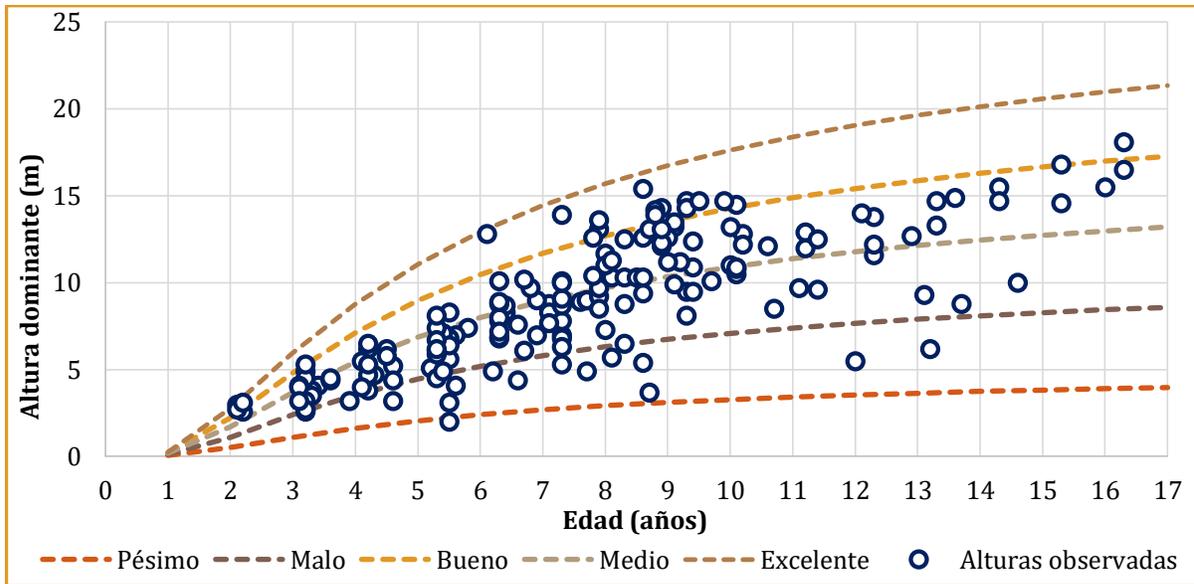


Figura 20. Familia de curvas de crecimiento en altura dominante [m] para plantaciones de *Calophyllum brasiliense* en Guatemala.

La figura 20 ilustra el desarrollo de la altura total de rodales de Santamaría, con base en la función definida correspondiente. No se presentan las figuras respectivas a dap, área basal ni volumen, porque las funciones fueron desarrolladas usando toda la base de datos (plantaciones puras y mixtas, donde el Santamaría muestra una presencia con grandes variaciones). Una simulación basada en un perfil teórico de manejo del rodal resultaría en un mero ejercicio académico-teórico sobre variables dependientes de la densidad de la especie, sin valor práctico alguno.

La curva de altura-edad permite reflexionar acerca de los ejemplos de buena y mala elección del sitio y/o de especies acompañantes para la especie Santamaría, ya que, en un índice de sitio “pésimo” existen plantaciones que a los 10 años de edad estarían alcanzando una altura dominante de 4 metros de altura (probablemente registros de árboles suprimidos en arreglos mixtos mal diseñados, desde su grado de mezcla hasta la elección de especies acompañantes), mientras que en sitios “excelentes” a los mismos 10 años de edad, las plantaciones estarían alcanzado alrededor de 17 metros de altura.

Los crecimientos “medios” observados en Guatemala (IMA dap de 0.92 cm y altura total de 0.78 m) presentan valores bajos en comparación con los datos referenciales citados por Cordero y Boshier (2003), muy probablemente resultado de un manejo silvicultural deficiente. Sin embargo, los crecimientos “excelentes” mostrados en dos municipios son de los más altos comparados a los mismos datos referenciales.

Las distintas categorías de índices de sitio y la descripción de sus respectivas variables de crecimiento (IMA DAP, IMA altura, IMA vol., e IMA AB) pueden ser una referencia para evaluar el estado actual de las plantaciones forestales, para reflexionar oportunamente a llevar a cabo actividades de intervenciones silvícolas que propicien el crecimiento de la especie, con ánimo de lograr reducir un turno de corta que aún no se registra para los distintos crecimientos reportados en Guatemala.

11. Existencias

Herramientas

A pesar de existir en Guatemala ecuaciones volumétricas desarrolladas específicamente para *Calophyllum brasiliense*, 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 el Santamaría las siguientes ecuaciones generales para especies latifoliadas, elaboradas en Quintana Roo por la Dirección General de Inventario Nacional Forestal de México y citada en el Manual técnico forestal del INAB (1999):

- a) para árboles hasta 90 cm DAP

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

Dónde:

V = volumen bruto sin corteza desde la altura del tocón o encima de las gambas., en m³

d = diámetro a la altura del pecho (DAP) o diámetro por encima de las gambas, en cm

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 (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 del Santamaría 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 2016¹⁵):

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

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

¹⁵ Hurtado Domingo L. 5-14 set. 2016. Cálculo del volumen en MIRA-SILV (correos electrónicos). Guatemala, Instituto Nacional de Bosques, departamento de Investigación Forestal.

El Manual técnico forestal del INAB (1999) propone una fórmula específica para estimar el volumen bruto comercial de *Calophyllum brasiliense*, basada en un estudio mexicano realizado en Quintana Roo:

$$V = 0.0000643242 * (d^2 * h_c)^{0.968922585}$$

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 el Santamaría, en particular en las concesiones forestales (por ejemplo, para elaborar el Plan Operativo Anual Forestal), es la llamada "fórmula de la FAO" (Monroy 2001), desarrollada en los años 1968-1970 para árboles sin gambas. Se usa también para los árboles con gambas, ya que su diámetro se estima 30 cm arriba de ellas y su altura del fuste se mide a partir de ahí:

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

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

Dónde: V = volumen aserrable en m³; d = diámetro a la altura del pecho (DAP), en m; 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.

La unidad de manejo Las Ventanas (Árbol Verde) propició la construcción de una función específica para el Santamaría en sus bosques, con base en la cubicación de 58 árboles uniformemente distribuidos entre 25 y 78 cm DAP (Alvarado 2003):

$$V = -0.394593 * d^2 + 0.133939 * d * h_c + 0.206301 * d^2 * h_c$$

Dónde: V = volumen comercial (sin corteza ni daños) en m³; d = diámetro a la altura del pecho (DAP), en m y h_c = longitud comercial del fuste, en m.

Por ende, con base en la cubicación de 30 árboles distribuidos uniformemente entre 21 y 94 cm dap, Padilla (2003) desarrolló la siguiente ecuación para estimar el volumen comercial o total de *Calophyllum brasiliense* bajo las condiciones del municipio de Ixcán, Quiché, Guatemala:

Ecuación volumétrica para *Calophyllum brasiliense* bajo las condiciones del municipio de Ixcán (Padilla 2003)

$$V = -0.1641 + 0.000064101 * d * h_c^2 + 0.000382 * d^2$$

Dónde: V = volumen (comercial o total con corteza), en m³; d = diámetro a la altura del pecho (DAP), en cm; y h_c = altura (comercial o total) del árbol en pie, en m (si es total incluye ramas).

Superficies de plantaciones e inventario de producción actual de Santamaría

El área plantada con la especie Santamaría mediante incentivos forestales hasta finales del año 2018 sumaba 1,491 ha. La tendencia de las reforestaciones ha disminuido desde el año 2008 (mayor reforestación reportada, equivalente a 215 hectáreas en ese año, después del año 2008 el promedio de hectáreas reforestadas con Santamaría es de 48.41 ha/anuales por medio de incentivos. En el presente apartado, se pretende exponer las existencias de plantaciones en área (ha), en volumen (m³/ha) y las cantidades inherentes a la oferta maderable derivada de los aprovechamientos mediante raleos con un perfil de manejo uniforme para todas las áreas reforestadas con Santamaría.

Tabla 11. Áreas plantadas con *Calophyllum brasiliense* en Guatemala, incentivadas por PINFOR (Programa de incentivos forestales), PINPEP (Programa de incentivos forestales para poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal) y PROBOSQUE (Ley de fomento al establecimiento, recuperación, restauración, manejo, producción y protección de bosques en Guatemala).

Departamento/Municipio	Área de proyectos PINFOR-PROBOSQUE		Área de proyectos PINPEP		Área Total	
	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje
Alta Verapaz	687.17	46.07%	0	0%	687.17	46.07%
Chahal	19.21	1.29%	0	0%	19.21	1.29%
Chisec	45.39	3.04%	0	0%	45.39	3.04%
Cobán	284.54	19.08%	0	0%	284.54	19.08%
Fray Bartolomé	82.27	5.52%	0	0%	82.27	5.52%
Panzós	7.05	0.47%	0	0%	7.05	0.47%
Raxruhá	4.66	0.31%	0	0%	4.66	0.31%
San Pedro Carchá	22.86	1.53%	0	0%	22.86	1.53%
Santa María Cahabón	208.20	13.96%	0	0%	208.20	13.96%
Senahú	13.00	0.87%	0	0%	13.00	0.87%
Izabal	181.28	12.15%	26.97	1.81%	208.25	13.96%
El Estor	1.32	0.09%	0	0%	1.32	0.09%
Livingston	123.15	8.26%	17.98	1.21%	141.13	9.46%
Los Amates	25.59	1.72%	0	0%	25.59	1.72%
Morales	31.22	2.09%	6.02	0.40%	37.24	2.50%
Puerto Barrios	0	0%	2.97	0.20%	2.97	0.20%
Petén	282.08	18.91%	4	0.27%	286.08	19.18%
Dolores	35.56	2.38%	0	0%	35.56	2.38%
El Chal	2.00	0.13%	0	0%	2.00	0.13%
Flores	19.00	1.27%	0	0%	19.00	1.27%
La Libertad	56.70	3.80%	0	0%	56.70	3.80%

Poptún	30.75	2.06%	0	0%	30.75	2.06%
San Luis	6.87	0.46%	4	0.27%	10.87	0.73%
Sayaxché	131.21	8.80%	0	0%	131.21	8.80%
Quiché	310.00	20.78%	0	0%	310.00	20.78%
Ixcán	310.00	20.78%	0	0%	310.00	20.78%
Total	1,460.53	97.92%	30.97	2.08%	1,491.50	100.00%

Fuentes: INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2016. Base de datos PINFOR (Programa de Incentivos forestales) 1998-2015. Guatemala, departamento de Incentivos forestales del INAB. / INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 2016. Base de datos PINPEP (Programa de Incentivos forestales para Poseedores de pequeñas extensiones de tierra de vocación forestal o agroforestal) 2007-2015. Guatemala, departamento de Incentivos forestales del INAB.

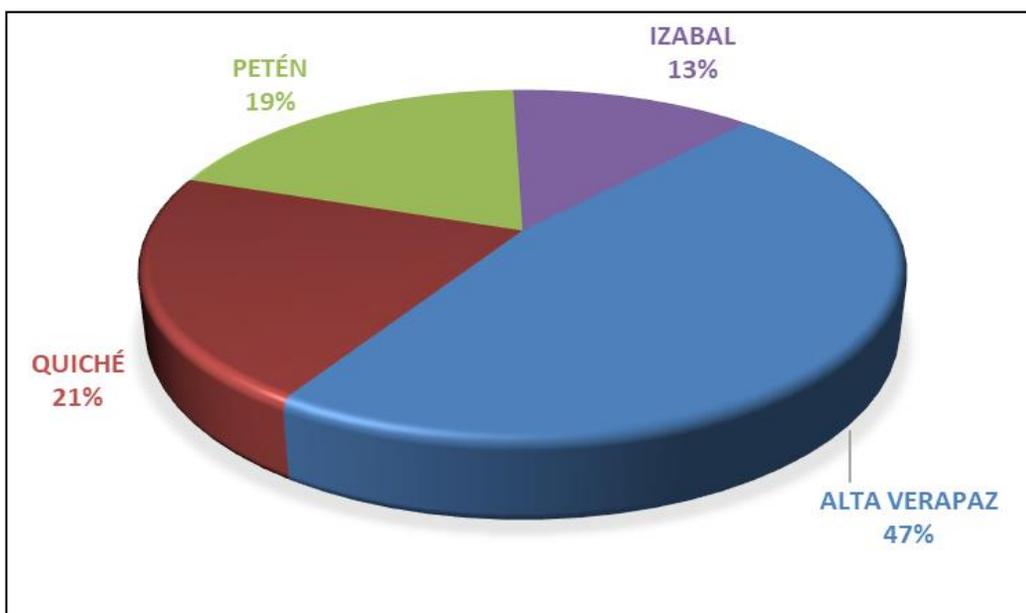


Figura 21. Distribución de área de proyectos de incentivos forestales por departamento, para la especie *Calophyllum brasiliense* en Guatemala.

Las plantaciones de Santamaría se concentran en 4 departamentos que son: Alta Verapaz (47%), Quiché (21%), Petén (19%) e Izabal (13%), en una zona continua que se extiende desde el municipio de Morales (Izabal) hasta el municipio de Ixcán (Quiché). Los Amates en Izabal es el municipio más al Sur de esta zona continua y Flores en Petén el municipio más al Norte, aunque la mayor parte de las plantaciones se concentra en la Franja Transversal del Norte.

Los cinco municipios con mayor extensión de plantación de Santamaría son: i) Ixcán (Quiché), con 310 hectáreas, seguido por ii) Cobán (Alta Verapaz) con 284.15 hectáreas, iii) Santa María Cahabón (Alta Verapaz) con 208.2 hectáreas, iv) Livingston (Izabal) con 141.13 hectáreas y v) Sayaxché (Petén) con 131 hectáreas. Aportes adicionales que permite la base de datos indican que de la superficie indicada para cada uno, Livingston es el municipio con mayor superficie de Santamaría en sistemas agroforestales (17 ha), mientras que Cobán alberga la mayor extensión de manejo de regeneración natural (unas 36 ha).

El Santamaría ha sido plantado mayormente en plantaciones mixtas (85% del área total). Existen plantaciones puras únicamente en Livingston (el proyecto más grande de reforestación, con 27 ha, y otro proyecto de unas 10 ha), en Cobán (un proyecto de 17 ha, de tipo individual), en Santa María Cahabón (un proyecto de 11 ha, también de tipo individual) e Ixcán (un proyecto de 10 ha, de tipo individual), además de 13 proyectos con superficies entre 7 y 1 ha. Ninguna plantación pura de Santamaría ha sido establecida en Petén. Por otro lado, la Compañía Agropecuaria La Danta SA estableció en 2008 en Livingston el mayor proyecto de plantación pura de Santamaría, con una superficie de 39 ha, de las cuales solo quedaban 4.5 ha en el 2015, sin explicaciones documentadas.

Pero *Calophyllum brasiliense* es una de las dos especies latifoliadas priorizadas, junto con la caoba, que aparece en las cuatro modalidades de plantación subvencionadas (plantaciones puras, plantaciones mixtas, sistemas agro-forestales y manejo de regeneración natural). Destacan dos proyectos grandes de manejo de regeneración natural, en las fincas Saquichaj y Tzetoc, Cobán, Alta Verapaz (30 y 6 ha); los demás proyectos de regeneración natural están todos en Playa Grande Ixcán, Quiché, y promedian poco menos de 1 ha de superficie cada uno.

El proyecto de mayor extensión en sistemas agroforestales (con cultivos anuales) se encuentra en la aldea "Cooperativa San Felipe de Lara", Livingston y cubre un área de 14 ha. Los demás proyectos SAF son más pequeños, ya que promedian 1 ha, y fueron establecidos como sistemas silvopastoriles (en la misma aldea "Cooperativa San Felipe de Lara" anterior) o árboles en asocio con cultivos perennes (Agua Viva, San Miguel Tucurú, Alta Verapaz).

Tabla 12. Áreas plantadas con *Calophyllum brasiliense* beneficiarias con los programas de incentivos forestales, por año de plantación y edad en Guatemala.

Año de plantación	Edad (años)	Área de proyectos PINFOR-PROBOSQUE (ha)	Área de proyectos PINPEP (ha)	Áreas Total	
				Hectáreas	Porcentaje
2000	19	30.66		30.66	2.06%
2001	18	89.06		89.06	5.97%
2002	17	145.60		145.60	9.76%
2003	16	70.48		70.48	4.73%
2004	15	124.54		124.54	8.35%
2005	14	94.00		94.00	6.30%
2006	13	98.19		98.19	6.58%
2007	12	157.19		157.19	10.54%
2008	11	214.54		214.54	14.38%
2009	10	100.40		100.40	6.73%
2010	9	149.20		149.20	10.00%
2011	8	7.35		7.35	0.49%
2012	7	46.28	3.96	50.24	3.37%
2013	6	38.49	1.00	39.49	2.65%
2014	5	32.52	6.08	38.60	2.59%
2015	4	19.29	12.96	32.25	2.16%
2016	3	8.98	2.97	11.95	0.80%
2017	2		4.00	4.00	0.27%
2018	1	33.76		33.76	2.26%
Total		1460.5292	30.97	1491.5	100.00%

Con relación a la edad de las plantaciones, el interés por la especie tuvo un auge durante el periodo 2001-2010, establecida a razón de unas 110 ha anual promedio. Durante los últimos 4 años, la extensión ha disminuido, tiempo durante el cual se observa una baja paulatina de la subvención PINFOR, compensada por un aumento del aporte PINPEP. En el año 2015, ambos fondos apoyaron el establecimiento de 20 ha cada uno, principalmente en los municipios de Izabal (ver figura 22).

La diversidad en la modalidad de establecimiento de Santamaría y el poco conocimiento existente sobre la silvicultura a aplicar a cada tipo de plantación, conlleva a recomendar el establecimiento de PPMF también en parcelas con manejo de la regeneración natural y en sistemas agroforestales, y a uniformizar la metodología de monitoreo a aplicar (seguimiento tipo PPMF puras actual aplicado a todas las PPMF, mixtas, regeneración natural y sistemas agroforestales).

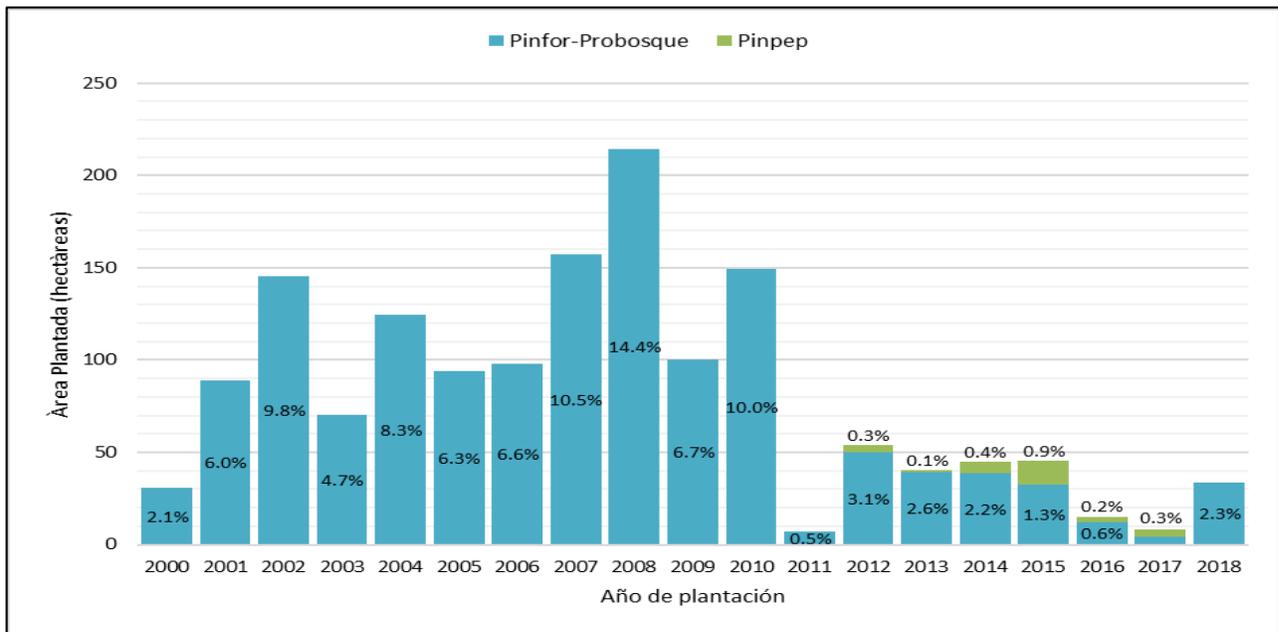


Figura 22. Distribución del área de proyectos de incentivos forestales por departamento, para la especie de *Calophyllum brasiliense* en Guatemala.

Tabla 13. Detalle de productividad actual (inventario de la producción actual) de proyectos de Santamaría incentivados en Guatemala.

Departamento	No. proyectos	Área Total (ha)	Promedio de DAP (cm)	Promedio de Altura (m)	Promedios de Área basal (m ² /ha)	Promedios de Volumen Total (m ³ /ha)	Volumen Total (m ³)
Alta Verapaz	51	687.17	13.03	11.83	12.18	68.04	45,106.74
Izabal	36	208.25	8.49	7.66	6.67	34.57	12,867.92
Petén	26	286.08	13.53	12.36	13.39	79.11	25,407.28
Quiché	14	310.00	13.57	12.35	12.85	73.44	24,991.68
Total	127	1491.50	11.91	10.81	10.94	61.41	108,373.62

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

El volumen actual de los 127 proyectos de reforestación suma un total del 108,373.63 m³ distribuidos en 1491.50 hectáreas a nivel nacional, distribución que corresponde con la abundancia de proyectos por Departamento, sin embargo, aunque Alta Verapaz le corresponde el 42% del volumen, Peten y Quiché comparten un 23%, quedando en cuarto lugar el departamento de Izabal. Esta dinámica es el resultado de las distintas variables y condiciones, tales como el sitio y la edad de la plantación (entre 1 y 19 años respectivamente).

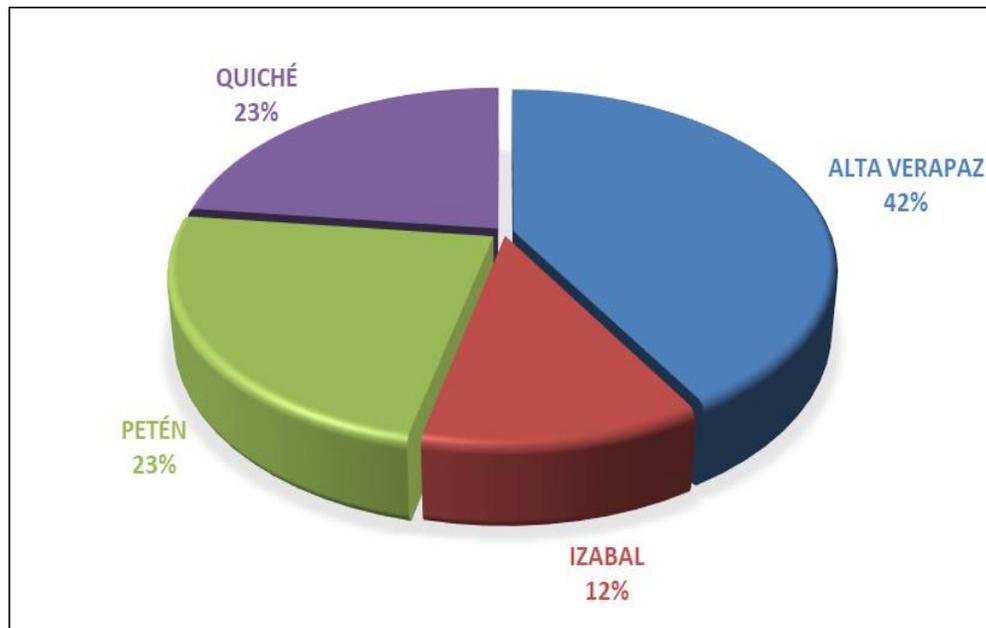


Figura 23. Distribución del volumen total de producción actual de proyectos de incentivos forestales (%) por departamento, para la especie de *Calophyllum brasiliense* en Guatemala.

A los 19 años algunas plantaciones pueden presentar características deseables para el mercado, sin embargo, según experiencias observadas, indican que la edad promedio del turno aun supera los 20 años, por lo cual, corresponde principalmente el aprovechamiento de algunos volúmenes que deriven de la aplicación de la silvicultura, es decir, de la aplicación de raleos, principalmente los que se realicen en plantaciones con edad avanzada.

Las estimaciones del inventario de producción a partir de los modelos de crecimiento, permiten estimar un volumen proveniente de los raleos, en función de un perfil teórico que a la vez es estimado con las unidades de muestreo evaluadas en campo. Dicho perfil de manejo considera una densidad inicial de 1,111 árboles/hectárea que, aunque se ve afectado por efecto de la mortalidad en los primeros años, es hasta el en quinto año (5) cuando que se aplica el primer raleo de aproximadamente el 30 %, que genera volúmenes muy bajos por las dimensiones de los árboles, además que es orientado a extraer los árboles enfermos y con los mayores defectos físicos. El perfil continúa con la aplicación de otro 30% en el décimo año (10) y un tercero en el año quince (15), nuevamente del 30%, quedando como resultado alrededor de 450 árboles por hectárea, ese segundo y tercer raleo y un potencial cuarto raleo pueden considerarse como deseables para el mercado, principalmente en sitios excelentes donde además se hubieran cumplido las principales recomendaciones de manejo y mantenimiento.

Como se mencionó anteriormente respecto al perfil de raleo descrito, se basa en el promedio de manejo aplicado en las plantaciones observadas, el cual no ha sido el mejor, por lo que debe considerarse como el mínimo en lo que la investigación y documentación de experiencias proporcionen mayores aportes, por ello, aunque la densidad lo sugiere, el perfil no se concreta el cuarto raleo que seguramente será incluido en posteriores actualizaciones del presente documento.

Tabla 14. Detalle de productividad actual de volumen del primer, segundo y tercer raleo en plantaciones de Santamaría incentivados en Guatemala para el año 2019 (incluyen únicamente aquellas plantaciones que estén llegando a los 5, 10 y 15 años respectivamente).

Perfil de raleo	No. Proyectos	Área total (ha)	Promedio de Volumen de raleo (m ³ /ha)	Volumen Total de raleo (m ³ /ha)
Primer raleo (5 años)	7	38.60	0.89	34.26
Segundo raleo (10 años)	6	100.40	11.27	1,131.74
Tercer raleo (15 años)	9	124.54	24.89	3,099.49
Total	22	263.54	13.54	4,265.49

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

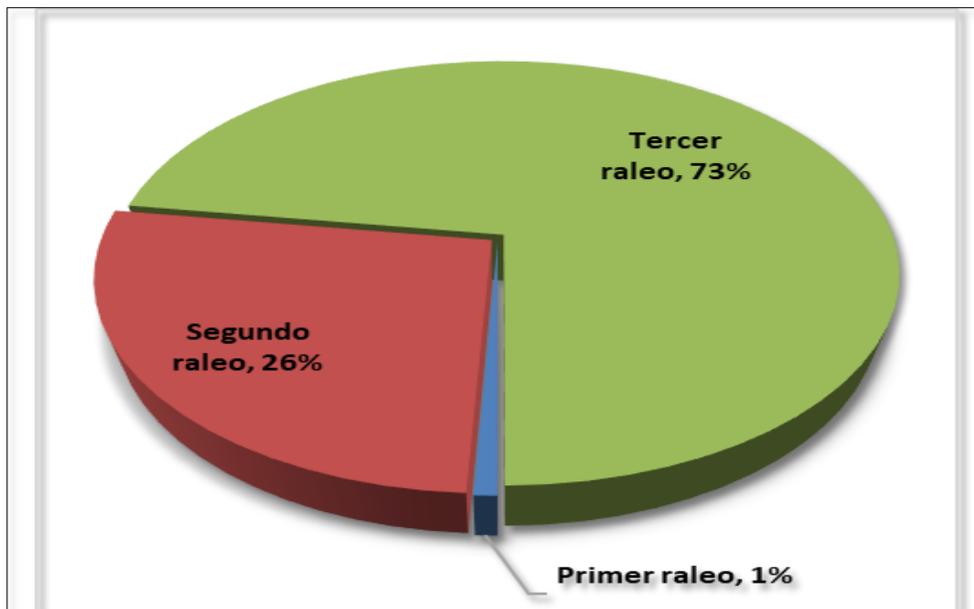


Figura 24. Distribución del volumen total de producción actual de raleo en proyectos de incentivos forestales, para la especie de *Calophyllum brasiliense* en Guatemala.

Los resultados del Cuadro 14, presentan una estimación total de volumen de raleos de 4,266.49 m³ de los cuales es importante destacar que la mayoría del volumen disponible corresponde al tercer raleo con 3215.25 equivalentes al 73% del volumen disponible para el año 2019, importante porcentaje si su destino logra ser comercial, nicamente 1131.74 m³ equivalentes al 26% corresponde a un segundo raleo y el 1% del volumen del raleo se obtendrá de un primer raleo, el cual aunque no es comercial, el potencial productivo del rodal se verá afectado significativamente si no se realiza y es aplicado adecuadamente.

Análisis y proyección del inventario de producción de Santamaría

VOLUMEN DE EXISTENCIAS FUTURAS: Al utilizar edades futuras y la estimación de densidades finales de las plantaciones de Santamaría, se obtienen proyecciones de las principales variables y con ello, estimar las existencias futuras. Para el presente documento, los supuestos teóricos de turno o corta final de la plantación se estableció en 25 años, mientras que la densidad final utilizada fue de 250 árboles/ha; nuevamente se aclara que estos valores reflejan el promedio, mientras que pueden variar según la calidad de sitio y el manejo proporcionado, pudiéndose reducir entre otros, el turno o edad para la corta final. Para el presente ejercicio se utilizó un único Índice de Sitio “Medio”, y al coincidir exactamente los mismos valores de Edad, Índice de Sitio y Densidad final, los valores promedios en todos los años evaluados no varía sino hasta el resultado final correspondiente al volumen total. En el Cuadro 15 se presentan los resultados de la proyección de cada proyecto de Santamaría beneficiado por los programas de incentivos del PINFOR-PROBOSQUE y PINPEP, presentado para el periodo 2025 al 2043.

Tabla 15. Proyección de principales variables y volumen de corta final para las plantaciones de Santamaría, periodo 2025-2043.

Año	No. Proyectos	Área (ha)	DAP promedio (cm)	Altura promedio (m)	Área Basal promedio (m ² /ha)	Volumen Total promedio (m ³ /ha)	Volumen Total (m ³)
2025	8	30.66	37.26	18.55	31.86	275.65	8,451.31
2026	8	89.06	37.26	18.55	31.86	275.65	24,549.50
2027	7	145.60	37.26	18.55	31.86	275.65	40,134.09
2028	5	70.48	37.26	18.55	31.86	275.65	19,427.54
2029	9	124.54	37.26	18.55	31.86	275.65	34,328.98
2030	8	94.00	37.26	18.55	31.86	275.65	25,910.14
2031	6	98.19	37.26	18.55	31.86	275.65	27,066.93
2032	8	157.19	37.26	18.55	31.86	275.65	43,328.97
2033	7	214.54	37.26	18.55	31.86	275.65	59,137.14
2034	6	100.40	37.26	18.55	31.86	275.65	27,674.88
2035	12	149.20	37.26	18.55	31.86	275.65	41,126.41
2036	1	7.35	37.26	18.55	31.86	275.65	2,025.08
2037	8	50.24	37.26	18.55	31.86	275.65	13,848.47
2038	5	39.49	37.26	18.55	31.86	275.65	10,885.27
2039	7	38.60	37.26	18.55	31.86	275.65	10,639.94
2040	5	32.25	37.26	18.55	31.86	275.65	8,889.59
2041	8	11.95	37.26	18.55	31.86	275.65	3,293.97
2042	1	4.00	37.26	18.55	31.86	275.65	1,102.58
2043	8	33.76	37.26	18.55	31.86	275.65	9,305.31
Total	127	1,491.50	37.26	18.55	31.86	275.65	411,126.10

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

En el cuadro 15, se observa el número de plantaciones que van llegando a su turno (25 años) a partir del año 2025, hasta que se completan los 127 proyectos de reforestación de Santamaría en el año 2043, con un total de 411 123 m³ producidos, estimación que se constituye en la oferta futura para la especie.

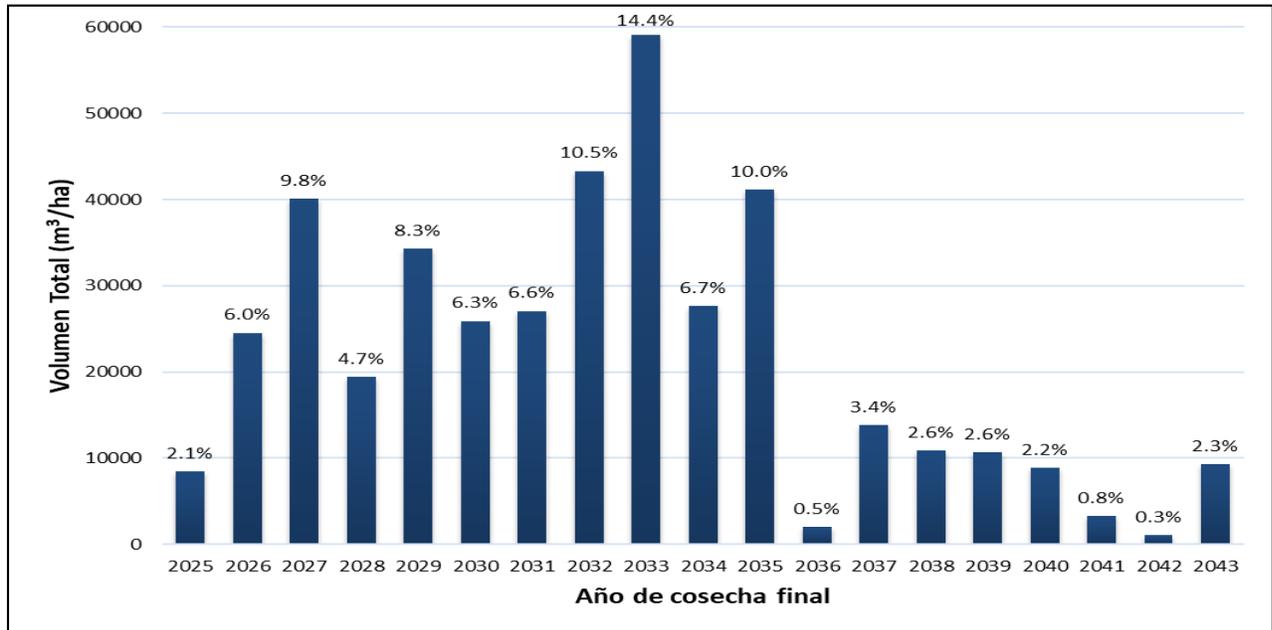


Figura 25. Distribución del volumen total proyectado en proyectos de incentivos forestales, para la especie de *Calophyllum brasiliense* en Guatemala.

Se observa en la Figura 25 que el mayor volumen del aprovechamiento final de las plantaciones de Santamaría se realizará en año 2033, con un valor de 59,137, correspondientes al 14%, al contrario, la menos disponibilidad será en el año 2036.

PROYECCIÓN DEL VOLUMEN DE RALEO: 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, aunque más adelante es posible la aplicación de un cuarto raleo, esto se incorporara al análisis según se genere dicha información de respaldo.

Tabla 16. Proyección del volumen de raleo para Santamaría, periodo 2019-2025.

Perfil de raleo	Periodo de proyección del raleo 2019-2025 (m ³)						
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Primer raleo (5 años)	34.26	28.63	10.61	3.55	29.97	0.00	0.00
Segundo raleo (10 años)	1131.74	1681.82	82.81	566.32	445.14	435.11	363.53
Tercer raleo (15 años)	3099.49	2339.37	2443.81	3912.07	5339.36	2498.70	3713.21
Total (m³)	4,265.49	4,049.82	2,537.23	4,481.95	5,814.47	2,933.81	4,076.74

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

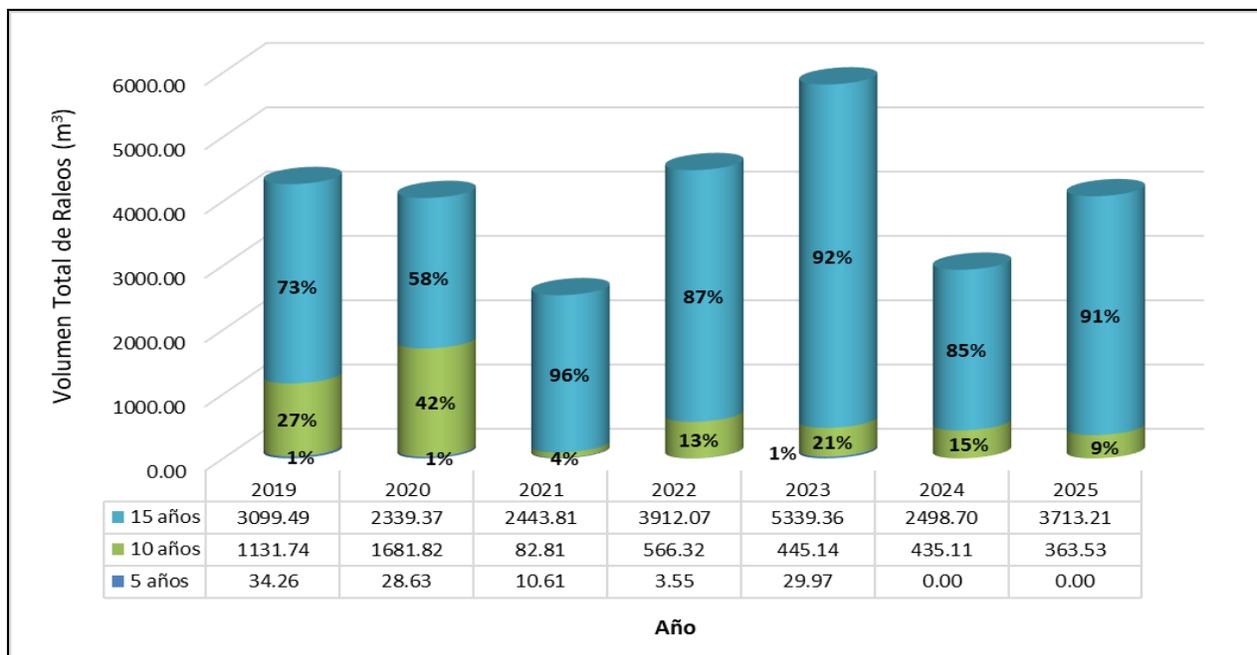


Figura 26. Distribución del volumen total de raleos, proveniente de proyectos de incentivos forestales, para la especie de *Calophyllum brasiliense* en Guatemala.

El volumen total obtenido durante el periodo del 2019 al 2025 asciende a un total de 28,159.51 m³ entre el primer segundo o tercer raleo que se realice en los 127 proyectos durante el periodo. En el Cuadro 16 y Figura 26 se observa que el volumen del primer raleo no es significativo (no llega ni al 1% del total general), ya que en promedio a esta edad (5 años) los árboles de Santamaría son muy pequeños, aun cuando la intensidad de muestreo es cercana al 30%, extrayendo aproximadamente 300 árboles; aunque la cifra podría ser mejor, no suele ser de la preferencia para el mercado y por ello suele no hacerse y comprometerse la calidad y por ende beneficios futuros. Esta conducta debe mejorarse, empezando desde una adecuada planificación dentro plan de reforestación, así como la asignación de fondos para financiar dicha actividad de forma oportuna.

El segundo raleo con un total de volumen total estimado de 4706.48 m³ representa el 17% del volumen total de raleo en el periodo, que puede proporcionársele algún uso, pero si el raleo es aplicado dando prioridad a los mejores árboles para la corta final, el beneficio no es significativo.

Finalmente es interesante observar que la mayor cantidad de volumen total de raleo corresponde al tercer raleo, cuando los árboles tienen 15 años y alcanzan un promedio de 15 centímetros de diámetro (DAP), dimensiones con las que suele ser comercializado, este raleo suma un total de 23,346.02 m³ correspondientes al 83 % del total general del periodo; aunque la dinámica es constante en el periodo evaluado, se observa una mayor proporción en el año 2023.

Con la generación de nueva información de campo se espera realizar actualizaciones del presente documento, principalmente sobre los modelos de crecimientos y estadísticas como por ejemplo la incorporación de un cuarto raleo u otros ajustes, siempre y cuando se obtenga las experiencias de las observaciones en campo.

12. Conclusiones

1. Las principales características climáticas a considerar para la selección de Santamaría como especie a reforestar son: sitios en rangos de temperatura de 20 a 28 °C como temperatura media anual (según su distribución natural); bajo condiciones de cultivo, los mejores sitios en Guatemala se reportan con temperatura media anual entre 16.8 a 25.6 °C. En su rango de distribución natural la precipitación oscila entre 1350 a 4000 mm anuales; bajo cultivo, los mejores sitios registran precipitaciones entre 3368 y 4500 mm por año. Tolerancia periodos de tres a cuatro meses secos.
2. Las principales características fisiográficas a considerar para la selección de Santamaría como especie a reforestar son: sitios con altitudes desde 1 a 1600 msnm (según su distribución natural); bajo cultivo, los mejores crecimientos se reportan en altitudes de 148 a 462 msnm; la especie se desarrolla mejor en terrenos ondulados (terrenos moderada a levemente accidentados) (< a 22% de pendiente) y de acuerdo a su posición del paisaje, la especie desarrolla mejor en partes altas del paisaje (cimas, lomas y colinas), también crece bien en planicies cercanas a ríos.
3. Las principales características edáficas a considerar para la selección de Santamaría como especie a reforestar es que se adapta a una gran variedad de suelos (aluviales, arenosos, arcillosos, ricos en sílice, derivados de material calizo o ígneo metamórfico, profundos, poco húmedos, muy húmedos hasta saturados de agua e inundables), aunque mejora su rendimiento en condiciones de buen drenaje. Los mejores crecimientos en plantaciones se obtienen en rangos de pH de ácidos a neutros, con valores de 4.4 a 7.1 (especie con potencial para la restauración de suelos ácidos y degradados); prefiere texturas franco arcilloso, franco y franco arenoso; de preferencia, con profundidad efectiva > a 50 cm.
4. De acuerdo a su comportamiento ecológico, el Santamaría se considera una especie del gremio de las "heliófitas B", por lo cual, la sombra ligera durante los primeros dos años favorece el crecimiento (las plántulas bajo pleno sol pueden sufrir quemaduras durante la temporada seca), sin embargo, después del establecimiento exitoso, necesita de un sol pleno para el desarrollo más rápido. Este aspecto se constituye importante para la planificación de la instalación de reforestaciones y selección de especies acompañantes en arreglos mixtos, considerando también que la especie es de crecimiento lento inicial.
5. Es importante aplicar las cortas intermedias o prácticas silviculturales como podas y raleos de forma oportuna, ya que, el buen manejo de las plantaciones es sumamente importante para asegurar plantaciones sanas y productivas; al descuidar dichas actividades, se generan condiciones de estrés en las plantaciones; lo anterior, repercute en un efecto negativo fitosanitario, actualmente reportado en plantaciones forestales de 14 a 16 años de la Franja Transversal del Norte de Guatemala, donde un complejo de hongos como *Rhizoctonia solani*, *Botryodiplodia sp*, *Fusarium sp*, y *Pestalotiopsis sp* causan la muerte descendente de los árboles, los patógenos son beneficiados por las condiciones de estrés por falta de manejo del arbolado, siendo su único tratamiento la remoción de árboles.

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 9). De forma complementaria, los modelos de crecimiento (cuadro 10) 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.

13. Recomendaciones

1. Establecer plantaciones forestales de Santamaría sin dejar de considerar tres factores importantes que contribuyen a alcanzar el éxito de la plantación, estos son: la procedencia genética de la semilla, el comportamiento ecológico de la especie (heliófila tipo "B") y la correcta selección del sitio para la especie en sus componentes climáticos, fisiográficos y edáficos.
2. Considerar que aun cuando los sitios posean características climáticas y fisiográficas favorables para reforestar con Santamaría, también existen factores limitantes que comprometen la productividad de los rodales, tales como: la intolerancia de la especie a los sitios con periodos secos prolongados (> a 5 meses secos) y su limitado desarrollo en terrenos totalmente planos.
3. Se recomienda ejecutar un adecuado plan de limpiezas, en especial durante los primeros cuatro años, esta actividad permite conocer la verdadera aptitud de crecimiento de la especie, al no realizarla, repercutiría en el daño morfológico de los árboles (competencia, torceduras basales y árboles suprimidos). En ese sentido, se recomiendan por lo menos tres limpiezas anuales (primeros 3-4 años) y por lo menos un plateo anual; una práctica que beneficia las prácticas culturales es la combinación de los árboles con cultivos anuales, ya que estos requieren limpiezas en periodos más cortos, y el crecimiento inicial lento de la especie permite tener mayor número de ciclos de cultivos anuales asociados a las plantaciones.
4. Realizar de forma oportuna las podas, iniciando en los primeros años de la plantación, y así garantizar la calidad de la madera en la troza principal (hasta 5 m de altura), árboles con un solo eje recto, vertical y vigoroso; además, se reitera la importancia de esta práctica durante los primeros años de la plantación, cuando las ramas son delgadas y su eliminación no dejará cicatrices significativas que comprometan la oferta maderable de las plantaciones.
5. Realizar los raleos de forma oportuna, especialmente en plantaciones densas, las intervenciones tempranas (antes de los 10 años) producen una respuesta favorable para el crecimiento de los árboles, en contraste, realizar raleos tardíos en árboles que van alcanzando la madurez tiende a no provocar ninguna reacción de incremento significativo en los rodales. Para la selección de árboles para el raleo, pueden seguirse los siguientes criterios, en orden de prioridad: por su estado fitosanitario, por la rectitud del tronco, por el diámetro de los individuos, y por la altura. Además, tal práctica silvicultural evita que el arbolado se encuentre en condiciones de estrés, reduciendo el riesgo de ser severamente atacados por el complejo de hongos causantes de la muerte descendente de Santamaría.

6. La familia de modelos de crecimiento 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.

14. Bibliografía

- Aguilar Cumes, JM; Aguilar Cumes, MA. 1992. Árboles de la Biósfera Maya, Petén: Guía para las especies del Parque Nacional Tikal. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala - Centro de Estudios Conservacionistas. 272 p.
- Alvarado Chay, GE. 2003. Tablas de volumen local para santa maría (*Calophyllum brasiliense* Camb.) y malerio colorado (*Aspidosperma megalocarpon* Muell.) en la unidad de manejo Las Ventanas, zona de usos múltiples de la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 41 p. + anexos.
- Albanes Barahona, R. 2018. Identificación y análisis de patógenos que están afectando plantaciones de especies latifoliadas que se ubican en el municipio de Ixcán y Cobán, jurisdicción de la subregión II-6 de INAB. Ciudad de Guatemala. 3 p. (Informe técnico No. PEF-009/2018). Departamento de Protección Forestal del Instituto Nacional de Bosques.
- Albanes Barahona, R. 2018. Identificación y análisis de patógenos que están afectando plantaciones de especies latifoliadas que se ubican en el municipio de Ixcán y Cobán, jurisdicción de la subregión II-6 de INAB. Ciudad de Guatemala. 2 p. (Informe técnico No. PEF-010/2018). Departamento de Protección Forestal del Instituto Nacional de Bosques.
- Arguedas, M. 1997. Plagas de semillas forestales en América Central y el Caribe. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 113 p. + anexos. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 25).
- Arguedas, M. 2006. Diagnóstico de plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. In: Congreso Latinoamericano IUFRO (2., 2006, La Serena, Chile). Bosques - La creciente importancia de sus funciones ambientales, sociales y económicas. La Serena, CONAF/IUFRO.
- Arguedas, M. 2007. Plagas y enfermedades forestales en Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (Costa Rica) 4(11 y 12 especial): 1-69.
- Benítez Ramos, RF; Montesinos Lagos, JL. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos. Siguatepeque, HN, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 216 p.
- 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.
- Camposeco Domingo, MC. 2013. Análisis de calidad en plantaciones forestales con especies de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), pino del Petén (*Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis*), santa maría (*Calophyllum brasiliense* Camb.), caoba (*Swietenia macrophylla* King), matiliguete (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.), teca (*Tectona grandis* L.f.) y san juan (*Vochysia*

- guatemalensis* Donn. Smith), en la subregión III-1 Izabal del INAB (Instituto Nacional de Bosques). Informe de práctica forestal supervisada. Jacaltenango, GT, Escuela Técnica de Formación Forestal. 112 p.
- Carballo Lemus, ML. 2008. Enraizamiento de miniestacas juveniles de santa maría (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) en propagadores de subirrigación. Tesis Lic. Ing. for. Huehuetenango, GT, Centro Universitario del Nor-Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala. 69 p. + anexos.
- Casasola Díaz, CR. 1988. Anatomía y propiedades físicas de la madera de *Calophyllum brasiliense* Cambess., *Vochysia hondurensis* Sprague y *Symphonia globulifera* L.f. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala. 45 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).
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 2001. Plan general de manejo forestal diversificado de la concesión comunitaria de San Miguel La Palotada. Turrialba, CR, CATIE / CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 98 p. (Serie técnica, Informe técnico (CATIE) 320).
- Cojóm Pac, JI. 2015. Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies en plantaciones forestales de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. 212 p. [Serie técnica DT-006(2015)].
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2009. Lista de especies amenazadas de Guatemala (LEA) y listado de especies de flora y fauna silvestres CITES de Guatemala. Guatemala. 122 p. [Documento técnico 67 (02-2009)].
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2012. Manual para la administración forestal en Áreas Protegidas. Nueva Guatemala de la Asunción. 337 p. [Manual CONAP 03 (01-2012)]. Cordero, J; Boshier, DH (eds.). 2003. *Calophyllum brasiliense* Camb. In: Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute, Oxford RU / Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, CR. p. 427-430.

- Cordero, J; Boshier, DH (eds.). 2003. *Calophyllum brasiliense* Camb. In: Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute UK –Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CR. Pp. 427-430.
- Crandall, BS. 1949. An epidemic vascular wilt disease of barillo, *Calophyllum brasiliense* var. *reko*, in El Salvador. *Plant Disease Reporter* 33(12): 463-465.
- Díaz Gonzáles, JC. 1995. Caracterización de la iluminación de micrositios de regeneración de 14 especies arbóreas en un bosque húmedo intervenido en Costa Rica, y el efecto de la intervención sobre la abundancia de la regeneración natural. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 91 p + anexos.
- 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)
- Flores, EM. 2010. *Calophyllum brasiliense* Cambess. In: Vozzo, JA (ed.). Manual de semillas de árboles tropicales. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). p. 347-350.
- Flores-Vindas, E; Obando-Vargas, G. 2003. *Calophyllum brasiliense* Cambess. In: Árboles del trópico húmedo: Importancia socioeconómica. Cartago, CR, Editorial Tecnológica de Costa Rica. p. 207-213.
- Forster, R; Albrecht, H; Belisle, M; Caballero, A; Galletti, H; Lacayo, O; Ortiz, S; Robinson, D. 2002. Comunidades forestales y el mercadeo de maderas tropicales poco comerciales de Mesoamérica (en línea). México, Universidad de Quintana Roo / Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. 158 p. Consultado 11 may. 2006. Disponible en http://pdf.dec.org/pdf_docs/PNACY402.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.
- Fung McLeod, E. 2011. Dispersión de semillas por mamíferos terrestres en bosques latifoliados del Atlántico Norte de Nicaragua después del huracán Félix. *Recursos Naturales y Ambiente (Costa Rica)* 62:37-46.
- García-Zebadúa, JC; Reyes-Chilpa, R; Huerta-Reyes, M; Castillo-Arellano, JI; Santillán-Hernández, S; Vázquez-Astudillo, B; Mendoza-Espinoza, JA. 2014. El árbol tropical *Calophyllum brasiliense*: una revisión botánica, química y farmacológica. *Vitae (Colombia)* 21(2): 126-145.

- Girón de León, ER. 1997. Caracterización ecológica de las poblaciones de santa maría (*Calophyllum brasiliense* var. *reko* Standley, Clusiaceae) en las comunidades boscosas de San Miguel la Palotada, San Andrés Petén. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala. 168 p.
- Gómez Martínez, MW. 2008. Características de sitio que determinan el crecimiento inicial y la productividad de santa maría (*Calophyllum brasiliense* Cambess.), en plantaciones forestales de diferentes regiones de Guatemala. Tesis Lic. Ing. for. Guatemala, GT, Centro Universitario del Nor-Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala. 125 p.
- Gómez Martínez, MW. 2009. Diagnóstico general de la especie santa maría (*Calophyllum brasiliense* Cambess.) a nivel nacional. Informe final del ejercicio profesional supervisado (EPS). Huehuetenango, GT, Centro Universitario del Nor-Occidente, Universidad de San Carlos de Guatemala. 64 p.
- 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.
- Herrera, J; Lines, K; Vásquez, W. 2006. Estudio de la germinación y la conservación de semillas de cedro maría (*Calophyllum brasiliense*). Tecnología en Marcha (Costa Rica) 19(1): 61-72.
- Ibrahim, M; Zapata, P. 2012. Producción de madera en sistemas silvopastoriles. In: Detlefsen, G; Somarriba, E (eds.). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 112-132. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 109).
- INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1999. Manual técnico forestal. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques (INAB). 110 p.
- Longwood, FR. 1962. Present and potential commercial timbers of The Caribbean; with special reference to The West Indies, The Guianas and British Honduras. Washington, US, U.S. Department of Agriculture: Forest Service. 167 p. (Agriculture Handbook 207).

- 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.
- Maldonado-Magaña, A; Bernabé-Antonio, A; Salcedo-Pérez, E; Cruz-Sosa, F. 2015. *In vitro* regeneration of *Calophyllum brasiliense* Cambess: A valuable medicinal tree. African Journal of Biotechnology 14(40): 2831-2835.
- 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-Garza, C; Howe, HF. 2010. Características foliares y tasas vitales de árboles sucesionales tardíos de un bosque tropical perennifolio. Boletín de la Sociedad Botánica de México (México) 86: 1-10.
- Mesén, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 36 p. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 30).
- Monroy Sagastume, H. 2001. Manual de planificación y ejecución de aprovechamientos forestales en las concesiones comunitarias de Petén. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza / Consejo Nacional de Áreas Protegidas de Guatemala. 84 p. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 47).
- NPV (Fundación Naturaleza para la Vida, GT). 1999. Plan general de manejo forestal integrado, unidad de manejo Chosquitan. Melchor de Mencos, GT, Sociedad Civil "Laborantes del bosque". 93 p + anexos.
- NPV (Fundación Naturaleza para la Vida, GT). 2000. Plan general de manejo integrado de la unidad de manejo Río Chanchich, Melchor de Mencos, Petén: primera revisión. Melchor de Mencos, GT, Sociedad Civil "Impulsores Suchitecos". 131 p.
- Padilla Pantaleón, HR. 2003. Elaboración de tablas de volumen local para las especies: santa maría (*Calophyllum brasiliense* var. *reko* Standl.), san juan (*Vochysia hondurensis* Sprague), canxan (*Terminalia amazonia* (Ruiz & Pav.) Steud.) y palo sangre (*Pterocarpus officinalis* Jacq.), bajo condiciones del municipio de Ixcán, El Quiché. Tesis Lic. Ing. agr. Cobán, GT, Centro Universitario del Norte, Universidad de San Carlos de Guatemala. 56 p. + anexos.

- Pennington, TD; Sarukhán, J. 1998. *Calophyllum brasiliense* Cambess. In: Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. México D.F., MX, Universidad Nacional Autónoma de México. p 390-391.
- Percuoco, CB. 2014. Caracterización de la estructura genética y análisis filogeográfico de poblaciones de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae) (en línea). Tesis doctoral. La Plata, AR, Universidad Nacional de La Plata. 181 p + anexos. Consultado 30 oct. 2017. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34253/Documento_completo.pdf?sequence=2
- 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).
- Piotto, D; Craven, D; Montagnini, F. 2010. Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native tree species plantations on degraded pasturelands in humid Costa Rica. *New Forests* 39(3): 369–385.
- Piotto, D; Montagnini, F; Kanninen, M; Ugalde, L; Viquez, E. 2002. Comportamiento de las especies y preferencias de los productores: Plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua. *Revista Forestal Centroamericana (Costa Rica)* 38: 59-66.
- Raigoso, J; Leiva, JA. 2012. Nutrición y fertilización de *Calophyllum brasiliense*. In: Alvarado, A; Raigosa, J (eds.). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales. San José, CR, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. p. 207-211.
- 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.
- Redondo-Brenes, A; Montagnini, F. 2006. Growth, productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 232(1–3): 168-178.
- Rivera Enamorado, CI. 2000. Elaboración de criterios ecológicos para la retención de árboles semilleros en el bosque comunal Toncontín, La Ceiba, Honduras. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 61 p + anexos.
- Román, F.; De Liones, R.; Sautu, A.; Deago, J.; Hall, JS. 2012. Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá y el Neotrópico. New Haven, US, Yale School of Forestry & Environmental Studies. 162 p.

- Salazar, R; Soihet, C; Méndez, JM (comps). 2000. *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Nota técnica no. 58). In: Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 115-116. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 41).
- Salgado, J. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales con café. In: Detlefsen, G; Somarriba, E (eds.). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 133-144. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 109).
- Sandi Chinchilla, CL. 1998. Cedro María, *Calophyllum brasiliense* Cambess. Revista Forestal Centroamericana (CR) 7(24): afiche 56x42 cm.
- Segura Clavijo, GA. 2012. Identificación y caracterización de tipos de bosques en la Zona de Usos Múltiples de la Reserva de Biosfera Maya, impactos del manejo forestal y propuesta de una red de parcelas permanentes de muestreo para su monitoreo. Tesis M.Sc. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 142 p.
- Silveira, SS; Degenhardt-Goldbach, J; Quoirin, M. 2016. *In vitro* seed germination and multiplication of *Calophyllum brasiliense*. Pesquisa Florestal Brasileira (Brasil) 36(87): 185-193.
- Somarriba, E; Orozco, L; López, A. 2012. Producción de madera en sistemas agroforestales con cacao. In: Detlefsen, G; Somarriba, E (eds.). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. p. 133-144. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 109).
- Soto Alvarado, AE. 2002. Determinación de enfermedades foliares provocadas por hongos en diez especies forestales en plantaciones ubicadas en los departamentos de Alta Verapaz, Baja Verapaz, El Petén e Izabal, durante la época lluviosa. Tesis Lic. Ing. agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 67 p.+ anexos.
- Teni Choc, MF. 2007. Plan de manejo para la producción de plantas (vivero forestal) de la eco-región de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Informe de práctica agroforestal supervisada. San Juan Chamelco, GT, Instituto Técnico Experimental en Recursos Naturales. 39 p.
- Utrera Granados, LP. 2010. Trabajo de graduación realizado en la ecoregión 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.
- Vázquez Yanes, C; Batis Muñoz, AI; Alcocer Silva, MI; Gual Díaz, M; Sánchez Dirzo, C. s.f. *Calophyllum brasiliense* (en línea). In: Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. México, Universidad Nacional Autónoma de México. p. 100-102. (Proyecto J-084 – CONABIO). Consultado 25 jun. 2017. Disponible en http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/24-gutti1m.pdf

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

Weaver, PL. 2000. *Calophyllum calaba* L. María, santa maría. In: Francis, JK; Lowe, CA; Trabanino, S. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Río Piedras, PR, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio Forestal, Instituto Internacional de Dasonomía Tropical. p. 101-106. (General Technical Report IITF-15)

Wightman, KE; Shear, T; Goldfarb, B; Haggard, J. 2001. Nursery and field establishment techniques to improve seedling growth of three Costa Rican hardwoods. *New Forests* 22: 75-96.



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

