



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

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*

James Grogan
Christopher Free
Gustavo Pinelo Morales
Andrea Johnson
Rubí Alegría

Serie técnica.
Informe técnico no. 407
Colección Manejo Diversificado de Bosques Naturales no. 34

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*

James Grogan
Christopher Free
Gustavo Pinelo Morales
Andrea Johnson
Rubí Alegría



CATIE no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en las páginas de este documento. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución. Se autoriza la reproducción parcial o total de la información contenida en este documento, siempre y cuando se cite la fuente.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2017.

ISBN 978-9977-57-669-5

634.928

E79 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*. – 1º ed. – Turrialba, C. R. : CATIE, 2017. 57 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no. 407)

ISBN 978-9977-57-669-5

También como : Colección de Manejo Diversificado de Bosques Naturales

1. Árboles maderables – Ordenación forestal 2. Silvicultura – Modelos de simulación
4. Reserva de la Biosfera Maya – Guatemala I. Grogan, James. II. Free, Christopher.
III. Pinelo Morales, Gustavo. IV. Johnson, Andrea V. Alegría, Rubí. VI. CATIE.
VII. Título. VI. Serie.

Créditos:

Producción general:

Lorena Orozco Vílchez

Edición de estilo:

Elizabeth Mora

Diagramación:

Rocío Jiménez Salas

Oficina de Comunicación, CATIE

Revisión técnica:

Edgar Fernando Baldizón Macz,

Consejo Nacional de Áreas

Protegidas, Petén

Manuel Manzanero Cano, Clima,

Naturaleza y Comunidades en

Guatemala, Programa Trees

Esta publicación es resultado del trabajo del proyecto Finnfor, Bosques y Manejo Forestal en América Central, financiado por el Ministerio de Relaciones Exteriores de Finlandia.

División de Investigación y Desarrollo
Sede Central, CATIE
www.catie.ac.cr

Este estudio ha sido un esfuerzo colaborativo entre varias personas y organizaciones:

- El programa de Producción y Conservación de Bosques del CATIE lideró el diseño, ejecución y análisis con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Finlandia por medio del proyecto Finnfor II y del *US Fish & Wildlife Service*, programa *Wildlife with Borders*.
- Rainforest Alliance brindó el marco conceptual inicial y cofinanció la ejecución con fondos del Fondo de Inversión Multilateral del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y del proyecto Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala del USAID.
- El CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas) de Guatemala brindó apoyo institucional y técnico invaluable y permitió el acceso a información que hizo que este estudio fuera posible.
- La Acofop (Asociación de Comunidades Forestales del Petén) brindó apoyo institucional, técnico y logístico invaluable.
- Forescom (Empresa Comunitaria de Servicios del Bosque S.A.) y la Oficina Técnica Nacional del CATIE brindaron apoyo administrativo y logístico durante el trabajo de campo (mayo-junio 2014).
- Las once concesiones mencionadas en este informe ofrecieron fuerza laboral, equipo, apoyo logístico y datos para realizar el trabajo en tiempo récord.

Las siguientes personas estuvieron estrechamente involucradas en el diseño metodológico, la validación de campo, la revisión de los resultados preliminares y/o la supervisión del trabajo de campo: Fernando Baldizón, Cesar Beltetón, Jorge Cruz, Bryan Finegan, Benjamín Hodgdon, Roberto Kometter, Manuel Manzanero, Edgar Maravi, Spencer Ortiz, Mario Rivas, Geoffrey Venegas y William Zac.



Contenido

Siglas	7
Resumen	8
1. Introducción	10
Ubicación del área de estudio	10
Objetivos	11
Requisitos claves del manejo forestal	12
Descripción de los parámetros de manejo más importantes	13
2. Metodología	15
Datos descriptivos para crear estructuras poblacionales	16
Censos comerciales de los POAF para árboles >30 cm de diámetro	16
Datos de los transectos para árboles <30 cm de diámetro	17
Datos dinámicos: crecimiento y otras tasas demográficas	19
Tasas demográficas para <i>Swietenia</i>	19
Tasas demográficas para <i>Swietenia</i> : Brasil vs. Petén	20
Tasas demográficas de <i>Cedrela</i> + tres especies maderables menos conocidas	22
Modelación de poblaciones de especies en respuesta al aprovechamiento	24
Modelación de poblaciones de <i>Swietenia</i> : el modelo R	24
Construcción de la población inicial de <i>Swietenia</i>	24
Simulación de la dinámica poblacional y aprovechamiento de <i>Swietenia</i>	25
Modelación de poblaciones de <i>Cedrela</i> + tres especies maderables menos conocidas	26
3. Resultados	28
<i>Swietenia</i>	28
Estructuras de población según censos comerciales	28
Estructuras de población según la evaluación de transectos	28
Modelación de poblaciones bajo los parámetros actuales de manejo forestal en la ZUM-RBM	31
<i>Cedrela, Lonchocarpus, Bucida y Calophyllum</i>	35
Estructuras de población según censos comerciales	35
Estructuras de población según la evaluación de transectos	36
Modelación de poblaciones bajo los parámetros actuales de manejo forestal en la ZUM-RBM	37
Densidad comercial durante un ciclo de corta	38
Volumen comercial de dos aprovechamientos	39
Intensidad de corta para dos cosechas	40
4. Discusión	42
<i>Swietenia</i>	42
<i>Cedrela</i> + tres especies maderables menos conocidas	44
Implicaciones de las prácticas de manejo actual en la ZUM-RBM	44
Intensidad de corta	44
Límite mínimo de diámetro de corta	46
Ciclo de corta	46



Regeneración	46
Evaluación de las estructuras de población para determinar el potencial de producción ..	47
Distribución espacial de las poblaciones en el paisaje de la ZUM	48
Advertencias relacionadas con la modelación de la dinámica de poblaciones	48
5. Conclusiones	50
<i>Swietenia</i>	50
<i>Cedrela</i>	51
Especies maderables menos conocidas (<i>Lonchocarpus</i> , <i>Bucida</i> y <i>Calophyllum</i>)	51
Prácticas actuales de manejo forestal en la ZUM	51
6. Recomendaciones	53
Mejoramiento de los datos disponibles para el manejo a largo plazo	53
Mejoramiento de las prácticas de manejo forestal en la RBM	54
Mejoramiento del manejo forestal más allá de la RBM	55
Bibliografía consultada	56

Figuras

Figura 1. La Reserva de la Biosfera Maya en Petén, zona norte de Guatemala	10
Figura 2. Ubicación de las once concesiones forestales evaluadas en el estudio	12
Figura 3. Transectos de 1 ha establecidos en forma sistemática en el POAF 2006 de Paxbán	18
Figura 4. Diseño del transecto como unidad de muestreo	19
Figura 5. Tasas de incremento diamétrico (cm año^{-1}) para <i>Swietenia</i> en estudios en Brasil (gris claro: $n = 4277$) y en concesiones en la RBM (gris oscuro; $n = 2131$)	22
Figura 6. Tasas de incremento diamétrico observado (cm año^{-1}) para <i>Cedrela</i> y otras tres especies menos conocidas en cinco de las once concesiones en la ZUM-RBM	23
Figura 7. Datos de las poblaciones de <i>Swietenia</i> en los POAF 2005-2006 de la empresa forestal comunitaria AFICC, Petén, Guatemala	33
Figura 8. Resultados de la simulación: volumen comercial de <i>Swietenia</i> en los cuatro aprovechamientos, en el AAA 2005 de la empresa forestal comunitaria AFICC, Petén, Guatemala	33
Figura 9. Resultados de la simulación: intensidad de corta de <i>Swietenia</i> en los cuatro aprovechamientos del AAA 2005 de la empresa forestal comunitaria AFICC, Petén, Guatemala	35
Figura 10. Resultados de la simulación: densidades comerciales de <i>Cedrela</i> en el AAA 2005 durante un ciclo de corta de la empresa forestal comunitaria AFICC, Petén, Guatemala	38
Figura 11. Resultados de la simulación: volumen comercial de <i>Cedrela</i> en dos aprovechamientos de la empresa forestal comunitaria AFICC, Petén, Guatemala	39
Figura 12. Recuperación en una población simulada de <i>Swietenia</i> después del aprovechamiento en ciclos de corta de 30 años en Brasil bajo parámetros de manejo forestal	43

Recuadro 1. Ecuaciones de regresión y coeficientes estimados usados para determinar los parámetros demográficos del árbol <i>i</i> en un tiempo <i>t</i> a partir del modelo demográfico de <i>Swietenia</i>	20
---	----



Cuadros

Cuadro 1.	Concesiones forestales evaluadas en este estudio	11
Cuadro 2.	Área en hectáreas cubierta por el POAF en cada concesión	17
Cuadro 3.	Métodos para la construcción inicial de poblaciones de <i>Cedrela</i> y tres especies menos conocidas (más <i>Swietenia</i> para efectos de comparación)	18
Cuadro 4.	Información publicada acerca del crecimiento diamétrico y tasas de mortalidad de poblaciones naturales de <i>Swietenia macrophylla</i>	21
Cuadro 5.	Parámetros usados en el aprovechamiento de <i>Swietenia</i> , <i>Cedrela</i> y tres especies menos conocidas en las concesiones de la ZUM-RBM	26
Cuadro 6.	Datos del censo de <i>Swietenia</i> : densidades por 100 ha por concesión	29
Cuadro 7.	Datos del censo de <i>Swietenia</i> : densidad promedio (fustes por 100 ha) por tamaño de fuste en once POAF por año	29
Cuadro 8.	Datos de los transectos de <i>Swietenia</i> : densidades por 100 ha en las concesiones de la ZUM-RBM	30
Cuadro 9.	Datos de los transectos de <i>Swietenia</i> : densidad promedio (tallos por 100 ha) por categoría de tamaño	30
Cuadro 10.	Densidad comercial promedio en poblaciones de <i>Swietenia</i> en el momento de los cuatro aprovechamientos (árboles por 100 ha)	32
Cuadro 11.	Volumen comercial promedio de <i>Swietenia</i> (m ³ por 100 ha) por POAF y concesión en el momento de los cuatro aprovechamientos	34
Cuadro 12.	Intensidad promedio de corta de <i>Swietenia</i> como porcentaje del área basal en el momento de los cuatro aprovechamientos	35
Cuadro 13.	Datos de inventario de <i>Cedrela</i> y tres especies menos conocidas en 11 POAF: densidad promedio (individuos por 100 ha) de árboles de futura cosecha, comerciales y comerciales grandes	36
Cuadro 14.	Datos de los transectos de <i>Cedrela</i> y tres especies menos conocidas: densidad promedio (tallos por 100 ha) por categoría de tamaño	37
Cuadro 15.	Densidad comercial promedio en poblaciones de <i>Cedrela</i> y tres especies menos conocidas en el momento de los dos aprovechamientos (árboles por 100 ha)	38
Cuadro 16.	Volumen comercial promedio (m ³ por 100 ha) de <i>Cedrela</i> y tres especies menos conocidas, en el momento de los dos aprovechamientos	40
Cuadro 17.	Intensidad promedio de corta (%) para <i>Cedrela</i> y tres especies menos conocidas, como porcentaje del área basal en el momento de los dos aprovechamientos	41



Siglas

AAA	Área de aprovechamiento anual
Acofop	Asociación de Comunidades Forestales de Petén
AFICC	Asociación Forestal Integral Cruce a La Colorada
AFISAP	Asociación Forestal Integral San Andrés, Petén
Árbol Verde	Sociedad Civil para el Desarrollo Árbol Verde
Carmelita	Cooperativa Carmelita R.L.
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Chosquitán	Sociedad Civil Laborantes del Bosque
CITES	Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
DMC	Diámetro mínimo de corta
Forescom	Empresa Comunitaria de Servicios del Bosque S.A.
FYDEP	Fomento y Desarrollo del Petén
IC	Intensidad de corta
Custosel	Sociedad Civil Custodios de la Selva
NPV	Fundación Naturaleza para la Vida
POAF	Plan operativo anual forestal
PPM	Parcela permanente de medición
RBM	Reserva de la Biosfera Maya
OMyC	Sociedad Civil Organización, Manejo y Conservación
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
ZUM	Zona de uso múltiple



Resumen

En este informe se busca responder a dos preguntas: 1) ¿En qué estado se encuentra la conservación de las poblaciones de *Swietenia macrophylla* (caoba de hoja ancha), *Cedrela odorata* (cedro español), *Lonchocarpus castilloi* (manchiche), *Bucida buceras* (pucté) y *Calophyllum brasiliense* (santamaría) en la ZUM de la RBM? 2) ¿Cuáles son los impactos de las prácticas actuales de manejo forestal en la densidad comercial y la regeneración de estas cinco especies maderables, las cuales representan el 95% del volumen de madera que se cosecha en las concesiones activas?

El estudio evalúa si los regímenes actuales de manejo en las concesiones establecen un nivel y forma de cosecha que no afecte el mantenimiento a largo plazo de las poblaciones de estas especies en el paisaje. Se sustenta en datos históricos de aprovechamiento en las concesiones y en trabajo de campo actual. El 100% de los datos de árboles comerciales y de futura cosecha >30 cm de diámetro, incluidos en los POAF del 2005 y 2006, se obtuvieron del CONAP en formato digital. Esta información incluía la indicación de si el árbol había sido cosechado o no. En mayo y junio 2014, se instalaron transectos de una hectárea con un 1% de intensidad en todas las áreas de aprovechamiento anual circunscritas en los planes operativos anuales forestales (POAF) para calcular la densidad de brinzales, latizales altos y bajos y fustales. Estas dos fuentes de información permitieron determinar la estructura poblacional pre- y postcosecha necesaria para modelar la recuperación comercial después de una o más cosechas.

Para analizar la respuesta de *Swietenia*, por una parte, y de *Cedrela* y las tres especies maderables menos conocidas, por la otra, se emplearon diferentes plataformas de modelaje. El modelo *Swietenia* se adaptó a partir de un modelo construido para evaluar el impacto de las prácticas de manejo forestal en la futura cosecha en Brasil. El modelo simula la cosecha y el crecimiento de las poblaciones de los POAF a través de tres ciclos de corta y cuatro cosechas; además, ofrece el valor medio para cien simulaciones de la densidad comercial y recuperación del volumen. El análisis de los datos de monitoreo a largo plazo disponibles para las concesiones en la ZUM indican que la aplicación de este modelo es válida en Petén. El modelo usado para *Cedrela* y las tres especies menos conocidas simula las respuestas después de la cosecha (2005/2006) y con un solo ciclo de corta. La falta de conocimiento empírico en cuanto a la dinámica de brinzales, latizales y fustales (supervivencia, incremento diamétrico) de estas cuatro especies limitó la posibilidad de simular la dinámica de las poblaciones más allá de la segunda cosecha.

Si bien las simulaciones modeladas para las poblaciones de *Swietenia* en las concesiones de la ZUM demostraron una variedad de resultados de futura cosecha, en la mayoría de los POAF las prácticas actuales de manejo forestal parecieran sostenibles para múltiples cosechas. Es decir que, según los parámetros de manejo forestal usados en los POAF del 2005 y 2006 y proyectados para las futuras cosechas, las simulaciones modeladas indican que las poblaciones de caoba recuperarán su densidad y volumen comercial inicial durante los ciclos de corta entre cosechas sucesivas.

Los resultados del modelaje de las poblaciones de *Cedrela*, *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum*, después de un solo ciclo de corta, fueron muy variables pero positivos en términos de la persistencia de las poblaciones. Las cuatro especies presentan densidades comerciales más bajas que las de la caoba, especialmente *Cedrela*. Además, ocurren en parches dentro del paisaje, particularmente *Bucida*, debido posiblemente a requerimientos de sitio para el establecimiento, crecimiento y reclutamiento de la regeneración. *Cedrela* es simplemente escasa por requerimientos de sitio, y *Lonchocarpus* tiene, aparentemente, una capacidad limitada de sobrevivir y crecer; sin embargo, para *Bucida* y *Calophyllum* hay más posibilidades de reducir la mortalidad y acelerar las tasas de crecimiento por medio de prácticas silviculturales. Para las cinco especies, las tasas de recuperación del volumen comercial durante el primer ciclo de corta se ven seriamente reducidas si en la primera cosecha se corta un área basal mayor que la establecida mediante la fórmula de definición de la intensidad de corta.

En la evaluación de transectos se encontraron mayores densidades promedio de brinzales y latizales de *Swietenia* en los POAF del 2005 y 2006, en comparación con los POAF 2015. Esto sugiere que la corta aparentemente mejora la capacidad de regeneración de la caoba.

Según los resultados obtenidos, el estudio permite concluir que las prácticas de manejo forestal usadas en la ZUM de la RBM están entre las mejores prácticas que se emplean a nivel de especies en los bosques tropicales. La determinación e implementación de la intensidad de corta a partir de la biología de la especie

significa un genuino avance hacia la producción sostenible de madera y merece ser reconocida y replicada en otras regiones. Con un bajo grado de certeza, la mayoría de las poblaciones de *Cedrela* de muy baja densidad a nivel de paisaje podrán recuperar la densidad comercial precosecha durante el primer ciclo de corta, pero el volumen de madera producido será mucho menor durante la segunda cosecha.

El método usado para determinar la intensidad de corta significa un avance importante en el manejo de los bosques naturales tropicales, pero podría mejorarse tanto empíricamente como desde el punto de vista de la normativa.

Algunas recomendaciones para mejorar el manejo forestal sostenible en la ZUM con base en criterios científicos indican que: 1) se debe mejorar el conocimiento de las tasas de crecimiento y mortalidad por especie, dependiendo del tamaño del individuo; 2) mejorar el conocimiento acerca de los requerimientos de la regeneración y reclutamiento de las especies; 3) el muestreo sistemático de juveniles (brinzales, latizales y fustales) y el uso de una versión amigable y específica del modelo aquí aplicado debieran ser parte de las operaciones anuales de manejo y de la toma de decisiones; 4) poner énfasis en las prácticas silviculturales que ayuden a reducir la mortalidad y a aumentar las tasas de crecimiento de árboles comerciales, de futura cosecha y juveniles; 5) asegurar el manejo a largo plazo. Este estudio ha demostrado la fuerte influencia de las decisiones actuales en el bosque futuro, por lo que se considera de suma importancia asegurar este modelo de manejo a largo plazo.

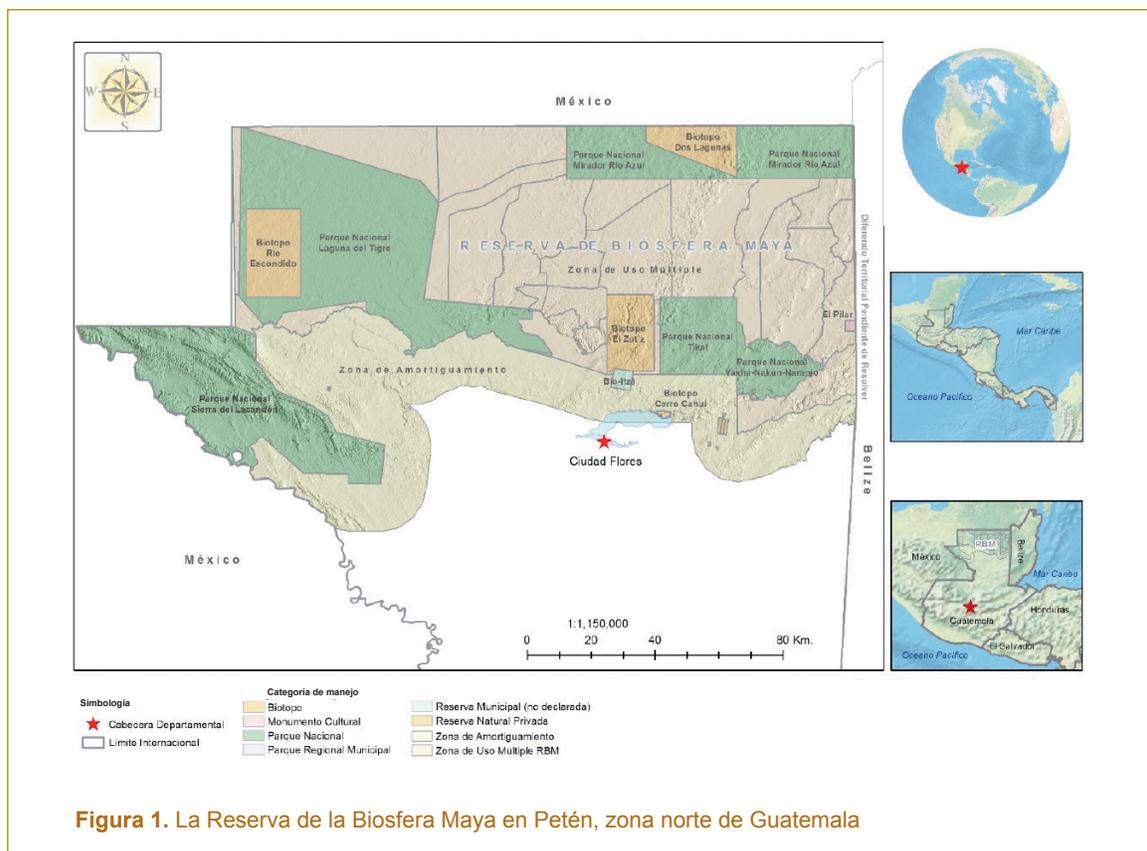
Introducción

1

Ubicación del área de estudio

La Reserva de la Biosfera Maya (RBM) en Petén es un área protegida de 2,1 millones de hectáreas que incluye la mayor parte del sector guatemalteco de la gran Selva Maya (Fig. 1). Este bosque lluvioso subtropical

húmedo contiene diferentes ecosistemas de árboles latifoliados que se diferencian, básicamente, por la altitud (que varía entre 275-770 metros sobre el nivel del mar) y la precipitación (de 1160-1799 mm año⁻¹).



La Selva Maya, la cual incluye partes de Belice, Guatemala y México, es una región de importancia histórica, social y biológica ya que es el área de bosque continuo más grande de Mesoamérica; además, es la cuna de la civilización maya y el hogar de 180.000 personas. Sus ecosistemas son el hábitat de numerosas especies residentes y migratorias de fauna y refugio de flora y fauna amenazada o en peligro de extinción. Entre estas especies hay árboles maderables de gran valor, como *Swietenia macrophylla* (caoba de hoja ancha, al cual nos referiremos como *Swietenia*) y *Cedrela odorata* (cedro español, de ahora en adelante referido como *Cedrela*). Ambas especies están incluidas en los Apéndices II y III de CITES respectivamente, luego de años de sobreexplotación en toda su área natural en América tropical.

La RBM, designada por la Unesco, fue establecida por el gobierno guatemalteco en 1990 y consiste de una zona núcleo que incluye varios parques nacionales y biotopos, bajo protección estricta; una zona de uso múltiple (ZUM) donde se permite el uso sostenible de los recursos naturales y una zona de amortiguamiento. La Ley de Áreas Protegidas Decreto 4-89 permite el otorgamiento de concesiones forestales a empresas privadas y organizaciones comunitarias en las 802.675 ha de la zona de uso múltiple. Desde mediados de la década de 1990, se han otorgado 14

concesiones, de las cuales hoy se encuentran activas nueve comunitarias (ocupan 352.907 ha del área total concesionada) y dos industriales (132.303 ha, 27% del área total) (Cuadro 1, Fig. 2). El Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) del gobierno guatemalteco otorga las concesiones y las supervisa como ente rector del sistema guatemalteco de áreas protegidas (SIGAP) y establece las regulaciones, monitoreo y supervisión del manejo forestal.

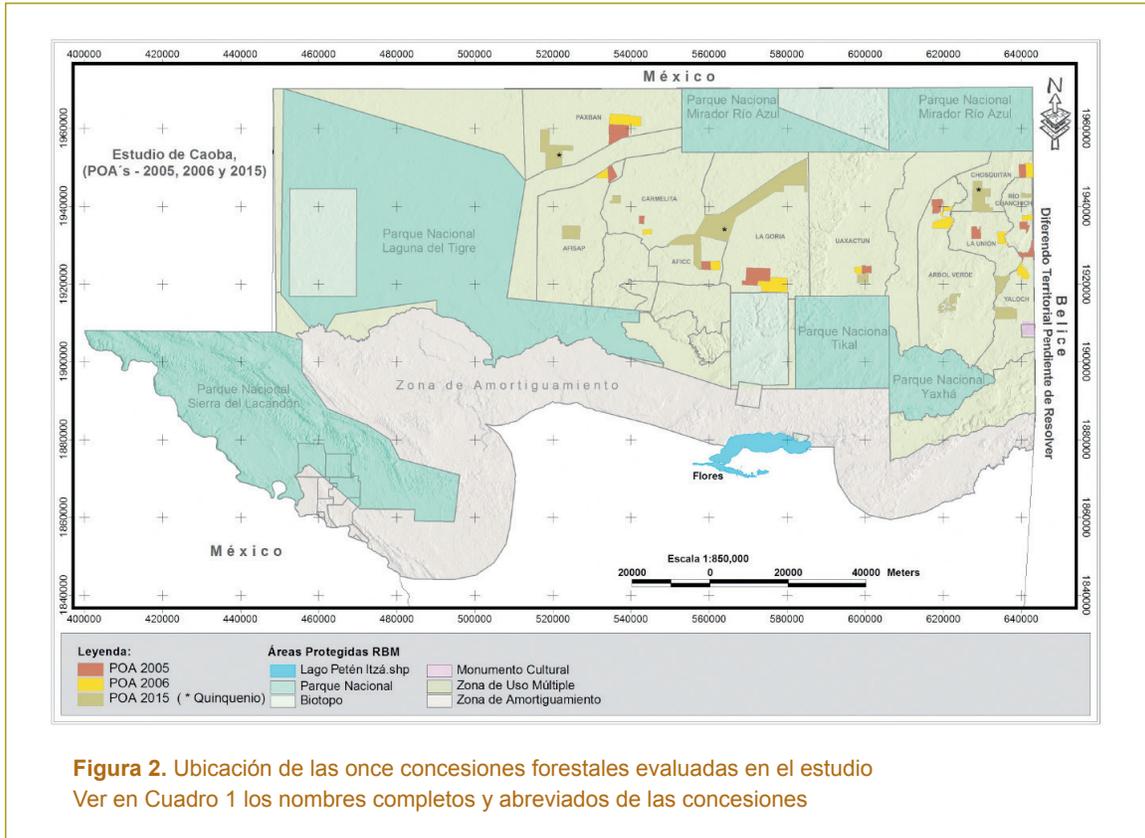
Objetivos

- Determinar el estado de conservación de las poblaciones de cinco especies bajo manejo forestal en la RBM (*Swietenia*, *Cedrela*, *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum*).
- Determinar los impactos de las prácticas silviculturales utilizadas en las concesiones en la densidad y regeneración de estas cinco especies maderables para determinar los niveles apropiados de cosecha en los planes de manejo y POAF.
- Con base en los resultados de esta evaluación del estado de conservación, formular recomendaciones para revisar y ajustar (si fuera necesario), las guías, estrategias y prácticas de manejo, aprovechamiento, monitoreo y conservación de las especies en estudio.

Cuadro 1. Concesiones forestales evaluadas en este estudio

Unidad de manejo	Nombre de la organización/entidad concesionaria	Nombre usual
Cruce a La Colorada	Asociación Forestal Integral Cruce a La Colorada	AFICC
San Andrés	Asociación Forestal Integral San Andrés Petén	Afisap
Las Ventanas	Sociedad Civil para el Desarrollo Árbol Verde	Árbol Verde
Carmelita	Cooperativa Carmelita R.L.	Carmelita
Chosquitán	Sociedad Civil Laborantes del Bosque	Laborantes del Bosque
La Gloria	Baren Comercial S.A	Baren
La Unión	Sociedad Civil Custodios de la Selva	Custosel
Paxbán	Gibor S.A.	Gibor
Río Chanchich	Impulsores Suchitecos para el Desarrollo Integral, Sociedad Civil	Impulsores Suchitecos
Uaxactún	Sociedad Civil Organización, Manejo y Conservación	Uaxactún
Yaloch	Sociedad Civil El Esfuerzo	El Esfuerzo

Nota: En el texto, cuadros y figuras, se utiliza los nombres de las unidades de manejo y/o nombre usual



En este estudio se entiende por sostenibilidad “el rendimiento sostenible de madera durante varias cosechas”. Para alcanzar los objetivos, se conceptualizó las poblaciones de las especies en términos de la densidad pasada (pre-aprovechamiento), presente (post-aprovechamiento) y futura, las cuales son resultados directos de las prácticas de aprovechamiento actuales. Los censos comerciales describen la distribución de las clases diamétricas por especie en las áreas de aprovechamiento anual (AAA) de cada concesión, e indican los árboles que se van a aprovechar. Con esta información, es posible determinar la densidad pasada y presente. Para proyectar la densidad futura a plazos pertinentes que sirvan a quienes manejan los bosques de la RBM, se utilizaron modelos de población desarrollados específicamente con el fin de simular el crecimiento y rendimiento de los árboles durante uno o tres ciclos de corta, dependiendo de la especie. El estado de conservación de cada especie se evaluó a partir de la resiliencia de la población

(tasas de recuperación) ante aprovechamientos repetidos. La pregunta es, entonces, ¿hasta qué punto los datos y los modelos predicen que la densidad de árboles y el volumen comercial se recuperará durante los ciclos de corta entre el primer y segundo aprovechamiento y posteriores, dados los parámetros de manejo empleados desde fines de 1990 en la RBM? En otras palabras, ¿cómo se comparan las poblaciones futuras proyectadas con las poblaciones presentes y pasadas en el paisaje del Petén?

Requisitos claves del manejo forestal

Todas las concesiones en la ZUM deben operar a partir de tres niveles de planificación definidos y preparados con la asistencia de un regente forestal profesional certificado por el Registro Nacional Forestal (INAB) y el CONAP, quien es legalmente co-responsable de la ejecución apropiada del planeamiento y la cosecha.

- **Plan general de manejo:** El PM describe las estrategias para la sostenibilidad ecológica y económica en la extracción de especies maderables y no maderables. Cada organización debe ajustar, al menos cada cinco años, sus planes generales para el manejo de la concesión.
- **Plan quinquenal:** Este plan hace que las concesiones definan los límites de sus áreas de aprovechamiento anual para los próximos cinco años. Permite calcular los volúmenes de *Swietenia* y establecer una distribución anual de volúmenes similares durante un bloque de cinco años (lo cual puede resultar en AAA de tamaños muy diferentes). Se realizan inventarios comerciales completos (>30 cm de diámetro) a una intensidad de muestreo del 3% mediante transectos de 0,5 ha (20 m x 250 m).
- **Plan operativo anual forestal (POAF):** Cada año, el concesionario debe entregar un plan detallado del área de aprovechamiento anual (AAA). El POAF define un AAA georeferenciada, un inventario comercial al 100% –o sea, un censo de los individuos de tamaño comercial con más de 30 cm de diámetro que se encuentran en el AAA–. El AAA incluye el área efectiva de aprovechamiento, así como zonas de protección (pendientes pronunciadas mayor a 55% grados, tierras bajas que se inundan periódicamente, zonas de recarga hídrica, áreas ribereñas, sitios arqueológicos y otras áreas de alto valor de conservación). Se recopila información de diámetro del fuste (un indicador de área basal), calidad del fuste (en escala de 1 ‘recto y saludable’ a 6 ‘muerto o caído’¹), función (extracción, cosecha futura, protección, salvamento, décrepito, semillero) y altura comercial. Los árboles particularmente saludables, bien formados y emergentes se mantienen como ‘árboles semilleros’ (calidad de fuste 5) para producir semillas y regeneración de brinzales; no existe un requerimiento fijo de cuántos de estos árboles se deben dejar en pie. Por la intensidad de corta y la densidad de estos árboles, se excluyen de la cosecha; sin embargo es importante mencionar que además otro porcentaje

(calidad de fuste 1, 2 y 3) también se excluyen para cumplir la función de “semilleros”. El POAF debe incluir mapas que muestran la ubicación de todos los individuos comerciales (tanto actuales como futuros), caminos existentes, caminos de arrastre planeados, caminos primarios y secundarios; patios de acopio y zonas de protección.

Además de los estándares requeridos por el gobierno guatemalteco, todas las concesiones deben obtener y mantener la certificación forestal (todas han optado por la certificación de buen manejo del FSC). Este requisito fue establecido en la normativa de concesiones publicada en 1999 por el CONAP, en respuesta a presiones sociales y políticas acerca de la necesidad de emplear las mejores prácticas de aprovechamiento en áreas protegidas como la RBM (CONAP 1999).

El CONAP realiza una inspección antes de aprobar el POAF para verificar que los árboles mapeados y los volúmenes correspondan al AAA. Durante el aprovechamiento forestal se realiza una segunda inspección para supervisar las prácticas de aprovechamiento, y una tercera inspección verifica que se cumplió con las regulaciones y parámetros y que se realizaron las prácticas post-cosecha, tales como enriquecimiento, la limpieza de las pistas de arrastre, bacadillas y campamentos. En todos los casos, el CONAP usa una metodología de muestreo para estas inspecciones². Debido a la certificación FSC, los concesionarios deben presentar evaluaciones post-cosecha y monitorear los impactos; los informes de auditorías de certificación están disponibles al público.

Descripción de los parámetros de manejo más importantes

El ciclo de corta, el diámetro mínimo de corta y la intensidad de corta son elementos centrales e interconectados en cualquier estrategia de manejo forestal sostenible. A continuación se describe cómo definen y usan estos parámetros el CONAP y los concesionarios.

1 Códigos de “calidad de fuste”: 1. Fuste recto y sano; 2. Fuste torcido o deforme pero sano; 3. Fuste dañado pero con más del 50% aprovechable; 4. Fuste dañado no aprovechable (menos del 50% aprovechable); 5. Fuste recto y sano, con iluminación directa y posición dominante de la copa en el dosel superior; 6. Árbol muerto o caído.
2 F. Baldizón. Agosto, 2014, Director Depto. Forestal, Región VIII Conap. Comunicación personal.

Ciclo de corta

El ciclo de corta (CC) es el intervalo entre dos eventos de aprovechamiento en un AAA dada. En un sistema sostenible, el intervalo debiera ser suficiente como para que el bosque logre recuperar el área basal de las especies extraídas durante el aprovechamiento anterior.

Diámetro mínimo de corta

El diámetro mínimo de corta (DMC) es el menor tamaño que un árbol debe alcanzar para ser legalmente cosechado. Idealmente, debe definirse en relación con el ciclo de corta, la tasa de crecimiento y el patrón de fructificación de la especie para asegurar que tanto las fuentes de semilla como un área basal adecuada permanezcan en el bosque para asegurar la regeneración y recuperación entre episodios de aprovechamiento. En este caso todos los DMC se ubican en el rango de 45–60 cm de diámetro. (Ver DMC por especie y concesión en el Cuadro 5).

Intensidad de corta

La intensidad de corta (IC), entendida como la cantidad de madera que se puede aprovechar en un AAA en un año dado, es sin duda el factor más importante para determinar la sostenibilidad de una operación de aprovechamiento. En muchos países, la IC se define, simplemente, como la corta mínima y máxima. Por ejemplo, para el aprovechamiento de *Swietenia* en Brasil se establece un 20% de retención de árboles comerciales (o sea que hasta el 80% de los árboles en un área dada pueden ser legalmente aprovechados), siempre y cuando la densidad resultante no sea menor de cinco árboles por cada cien hectáreas (Grogan et ál. 2014).

En Petén, destacan varios aspectos en la forma en que se define este parámetro. Primero, la IC se define a partir del área basal y no del número de árboles; el área basal tiene como ventaja que se relaciona más directamente con el volumen producido. Segundo, la IC se define por medio de un cálculo basado en la tasa de crecimiento, el ciclo de corta y el tamaño del fuste por clase diamétrica; estos parámetros explícitamente limitan el aprovechamiento a un nivel no mayor de lo que alcanzará tamaño comercial para el próximo aprovechamiento.

Todas las categorías no aprovechables (decrépitos, protección y árboles muertos) se excluyen de estos cálculos. Los árboles con un diámetro mayor de 90 cm también se excluyen, pero pueden aprovecharse con una intensidad de hasta 65%. Los lineamientos del CONAP permiten a las concesiones ajustar hacia arriba la IC en situaciones de abundancia relativamente baja; así, se autoriza la corta de hasta un 20% adicional del área basal no recuperable –en otras palabras, más de lo que se espera que crezca durante el ciclo de corta–. Los POAF 2005/2006 muestran que este ajuste ha sido frecuente. Este es un punto importante al que volveremos más adelante. El límite superior (máximo) de la IC es, actualmente, del 80% para todas las especies (CONAP 2012), sin embargo, en el manual para la administración forestal de áreas protegidas vigente en esos años (CONAP 1999), estas reglas no eran claras. Según este manual, “*Para los bosques de Petén se considera adecuado dejar como semilleros un 15% de los árboles mayores al diámetro mínimo de corta*”. A partir de esta afirmación, desde el inicio, incluyendo el 2005 y 2006, se usó una intensidad de corta máxima del 85%.



Metodología

2

Los modelos de población desarrollados por los autores fueron la mejor herramienta disponible para alcanzar el objetivo del estudio: evaluar los impactos probables de las prácticas de manejo forestal implementadas desde inicios del 2000 en las poblaciones de *Swietenia*, *Cedrela* y otras tres especies maderables menos conocidas en la zona de uso múltiple de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM). Estos modelos simulan el crecimiento futuro de las poblaciones mediante funciones de incremento, mortalidad y reproducción que se aplican a la distribución actual de los árboles por clase diamétrica. Los modelos se basan en reglas que explican de la mejor manera cómo las poblaciones de una especie dada persisten en condiciones naturales. La confianza en los resultados del modelo aumenta con la calidad de los datos, tanto de estructuras poblacionales observadas como de las funciones matemáticas aplicadas para simular las poblaciones a lo largo del tiempo. En este estudio, hemos empleado dos enfoques de modelación con diferentes niveles de confianza.

El primer enfoque se usó con *Swietenia* únicamente. Se trata de un sofisticado modelo desarrollado a partir de un estudio de 20 años de duración que incluye todos los aspectos del ciclo de vida de la caoba en la Amazonia brasileña, en bosques con estructuras y diversidad similares a las del Petén. Este modelo describe el crecimiento y la mortalidad desde la semilla hasta la senescencia; además, registra la producción anual de semilla y los disturbios en el dosel necesarios para la supervivencia y crecimiento de las plántulas. Debido a que este modelo incorpora las funciones de

crecimiento y mortalidad de brinzales, latizales y fustales –o sea, para clases diamétricas menores que las que normalmente se incluyen en los censos comerciales– nos permite simular poblaciones de caoba a varias décadas en el futuro. Asimismo, el modelo toma en cuenta las semillas que producirán los árboles que todavía no se encuentran en el bosque. El modelo *Swietenia* ha sido validado por medio del proceso de “revisión por pares” en revistas de gran calidad científica (ver Grogan y Landis 2009, Free *et ál.* 2014, Grogan *et ál.* 2014). Nuestra confianza en este modelo para los periodos analizados (tres ciclos de corta; de 75 a 120 años) es alta.

No se cuenta con datos sobre crecimiento y mortalidad de árboles de menos de 30 cm de diámetro de *Cedrela* y de las tres especies menos conocidas, ni de la capacidad reproductiva de árboles adultos. Esto, obviamente, restringe el tipo de modelación disponible. El segundo enfoque de modelación correspondió a un modelo más simple que simula las poblaciones de estas especies durante un solo ciclo de corta –25 a 40 años– a partir de las tasas de crecimiento observadas y medidas en parcelas permanentes establecidas en las concesiones de la RBM desde finales de los noventa, combinadas con una probabilidad fija anual de mortalidad para todos los árboles. Este enfoque de modelación también ha sido validado por “revisión por pares” en revistas científicas de gran calidad (Grogan *et ál.* 2008, Schulze *et ál.* 2008). En el marco temporal analizado –un solo ciclo de corta– tenemos una confianza moderada de que los resultados alcanzados sean representativos del crecimiento poblacional a

corto plazo. Con el fin de establecer comparaciones, las poblaciones de caoba también se simularon con este enfoque.

La modelación de la dinámica de población de especies maderables tropicales sujetas a aprovechamiento bajo intervalos dados (ciclo de corta) requiere dos tipos de insumos:

1. Datos descriptivos de la densidad relativa por clases de tamaño del fuste, que una especie presenta en un bosque dado; es decir, ¿cuántos brinzales, latizales bajos, latizales altos y fustales, y cuántos árboles comerciales y de futura cosecha hay en el paisaje, ya sea contabilizados o calculados?
2. Datos dinámicos que describan las tasas específicas por tamaño de fuste en cuanto a mortalidad, incremento diamétrico, producción de semillas, germinación de semillas, establecimiento de brinzales y reclutamiento de juveniles en las clases superiores (comerciales). Puesto que las especies demandantes de luz dependen de los claros en el bosque para su reclutamiento, tales como *Swietenia* y *Cedrela*, los datos dinámicos deben describir, idealmente, la tasa de ocurrencia de disturbios en el bosque que garanticen un crecimiento sostenido.

Los datos empleados en este estudio se obtuvieron de una amplia gama de fuentes, como se describe a continuación. En el informe de Grogan *et ál.* (2016) se detallan los orígenes de los dos modelos de simulación empleados y las modificaciones hechas para ajustarse a los datos de la RBM.

Datos descriptivos para crear estructuras poblacionales

Censos comerciales de los POAF para árboles >30 cm de diámetro

Swietenia: el primer aprovechamiento de madera en la ZUM cosechó árboles de tamaño comercial (mayor o igual al DMC) con una intensidad predeterminada por la tasa de crecimiento de los árboles de futura cosecha que alcancen tamaños comerciales durante el ciclo de corta entre el primer y segundo aprovechamiento (ver Intensidad de corta, pag. 14). El segundo

aprovechamiento, 25–40 años después, va a cosechar los árboles comerciales que sobrevivieron al aprovechamiento inicial y los que alcanzaron tamaños comerciales durante el ciclo.

El 100% de los datos de los árboles comerciales y de futura cosecha >30 cm de diámetro, incluidos en los POAF del 2005, 2006 y 2015, se obtuvieron del CONAP en formato digital, para las once concesiones forestales activas en la región. Además, con los administradores de las concesiones, responsables de establecer el área de corta anual, fue posible obtener información descriptiva y operativa de cada POAF. En algunos casos, los datos del 2015 estaban incompletos porque todavía no se había ingresado la información.

Los datos del censo comercial se organizaron, para cada POAF, de acuerdo con un protocolo estándar en Excel. Los nombres de los árboles, códigos, calidad de fuste y si había sido aprovechado o no durante el primer aprovechamiento, se confrontaron con los archivos en papel que guarda CONAP, para asegurar la calidad de los datos. Finalmente, los archivos en Excel se combinaron para formar una sola base de datos para el análisis.

Los datos del censo describen las poblaciones de árboles >30 cm de diámetro en el área total aprovechable (área efectiva) de un POAF dado. El área efectiva excluye los árboles ubicados en zonas protegidas; por ejemplo, cerca de sitios arqueológicos, o en áreas clasificadas como 'no aprovechables' por razones de pendiente muy fuerte o anegamiento temporal. Entre todas las concesiones, el 13% del área total de los POAF 2005/2006 no era aprovechable (Cuadro 2); se usó el área efectiva como base para las mediciones de densidad de la población.

Los datos del censo también indican cuáles árboles fueron cortados en los POAF 2005/2006; esto permitió calcular la intensidad de corta real y compararla con la intensidad de corta registrada por el CONAP. Cada concesión se manejaba de manera independiente por parte de un equipo técnico que realiza los inventarios, con diferentes sistemas de codificación de la función del árbol y calidad de fuste. Por estas razones, se hizo necesario aplicar una estandarización cuidadosa

Cuadro 2. Área en hectáreas cubierta por el POAF en cada concesión

Unidad de manejo	2005			2006			2015	Total de transectos
	Total	Efectiva	No. transectos	Total	Efectiva	No. transectos	No. transectos	
Aficc	537	532	5	646	611	6	6	17
Afisap	750	748	8	501	280	4	8	20
Árbol Verde	847	744	7	1.438	1.233	12	10	29
Carmelita	272	272	3	316	286	3	3	9
Chosquitán	612	553	6	682	603	6	6	18
La Gloria	2.522	2.280	22	2.348	2.149	21	18	61
La Unión	720	536	6	616	560	6	6	18
Paxbán	2.066	1.803	18	2.181	1.816	18	18	54
Río Chanchich	491	360	4	363	307	4	4	12
Uaxactún	432	425	4	323	311	3	4	11
Yaloch	706	383	4	782	647	6	6	16
Total	9.954	8.635	87	10.196	8.804	89	89	265

En el momento en el que se redactaba el texto, no se contaba con información del área total y efectiva para todos los POAF 2015. Cada transecto cubre 1 ha para la evaluación de individuos >5 cm de diámetro y 0,1 ha para tallos de <5 cm de diámetro.

y control de calidad, antes de los análisis, para asegurar que los modelos generen resultados del primer aprovechamiento equivalentes a los resultados reales. De hecho, un sistema de codificación ligeramente diferente usado en La Gloria creó la impresión de que se había aprovechado el 100% de los árboles comerciales en los POAF 2005/2006.

Cedrela + tres especies maderables menos conocidas: los datos del censo comercial de *Cedrela* y las otras tres especies menos conocidas provinieron de las mismas fuentes mencionadas para *Swietenia*. Sin embargo, en varios POAF, los datos del censo al 100% del área no incluyeron los árboles de futura cosecha (diámetro desde 30 cm hasta el DMC) de todas las poblaciones de las tres especies (*Lonchocarpus* en siete POAF, *Bucida* en ocho, *Calophyllum* en seis; Cuadro 3). Para estas 21 poblaciones, completamos los datos faltantes mediante la derivación de distribuciones diamétricas obtenidas de los planes quinquenales, los cuales usan transectos de 20 x 250 m (0,5 ha) para inventariar el 3% del área de cada concesión. Esto significa que en los POAF en donde no se inventariaron los árboles de futura cosecha, los datos mostrarán una distribución diamétrica idéntica en ambos años.

Puesto que la concesión de La Gloria no contaba con un plan quinquenal, no fue posible construir ni analizar las poblaciones iniciales de *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum* en el POAF 2005. Otros subgrupos de poblaciones en otras concesiones tampoco fueron analizados por la baja densidad de tales poblaciones, por lo que no fueron aprovechadas (Cuadro 3).

Datos de los transectos para árboles <30 cm de diámetro

El tercer y cuarto aprovechamiento en 50+ años provendrá de los actuales árboles de futura cosecha que crecen muy lentamente y, entonces, no alcanzarán tamaño comercial durante el primer ciclo de corta; a estos se sumarán los actuales brinzales, latizales y fustales que alcanzarán tamaño comercial a lo largo de varios ciclos de corta. Puesto que estos datos no fueron colectados durante el censo comercial, fue necesario un trabajo de campo para estimar las densidades de fustes <30 cm de diámetro para las cinco especies evaluadas. Se establecieron transectos de 20 m x 500 m (1 ha) en las áreas correspondientes a los POAF 2005/2006/2015 (Figs. 3 y 4), en donde se inventariaron los latizales altos (5–10 cm de diámetro) y los fustales (10–30 cm de diámetro). Los brinzales

Cuadro 3. Métodos para la construcción inicial de poblaciones de *Cedrela* y tres especies menos conocidas (más *Swietenia* para efectos de comparación)

Unidad de manejo	<i>Swietenia</i>		<i>Cedrela</i>		<i>Lonchocarpus</i>		<i>Bucida</i>		<i>Calophyllum</i>	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Aficc	30	30	32	30	30	47	30	50	32	50
Afisap	27	30	31	30	50	50	50	60	50	50
Árbol Verde	25	25	26	25	25	28	50	38	25	34
Carmelita	30	25	31	56	50	51	50	50	NL	46
Chosquitán	20	20	26	20	31	28	NL	NL	31	21
La Gloria	20	10	20	18	45	16	48	17	45	10
La Unión	20	20	24	21	35	35	35	36	35	31
Paxbán	30	28	30	30	32	30	35	31	33	28
Río Chanchich	30	30	42	NL	38	30	NL	NL	40	38
Uaxactún	20	20	20	20	30	22	NL	28	30	NL
Yaloch	32	30	36	NL	60	57	60	NL	60	47

Los números representan el árbol más pequeño representado en el área censada.

Verde: poblaciones construidas con la gama completa de fuentes de datos; **azul:** poblaciones construidas con datos del Plan Quinquenal para derivar los árboles de futura cosecha ausentes; **morado:** poblaciones no analizadas debido a la falta de datos en el Plan Quinquenal para derivar los árboles de futura cosecha ausentes; **rosado:** poblaciones no analizadas debido a la densidad insuficiente de las poblaciones, por lo que no fueron aprovechadas (NL).

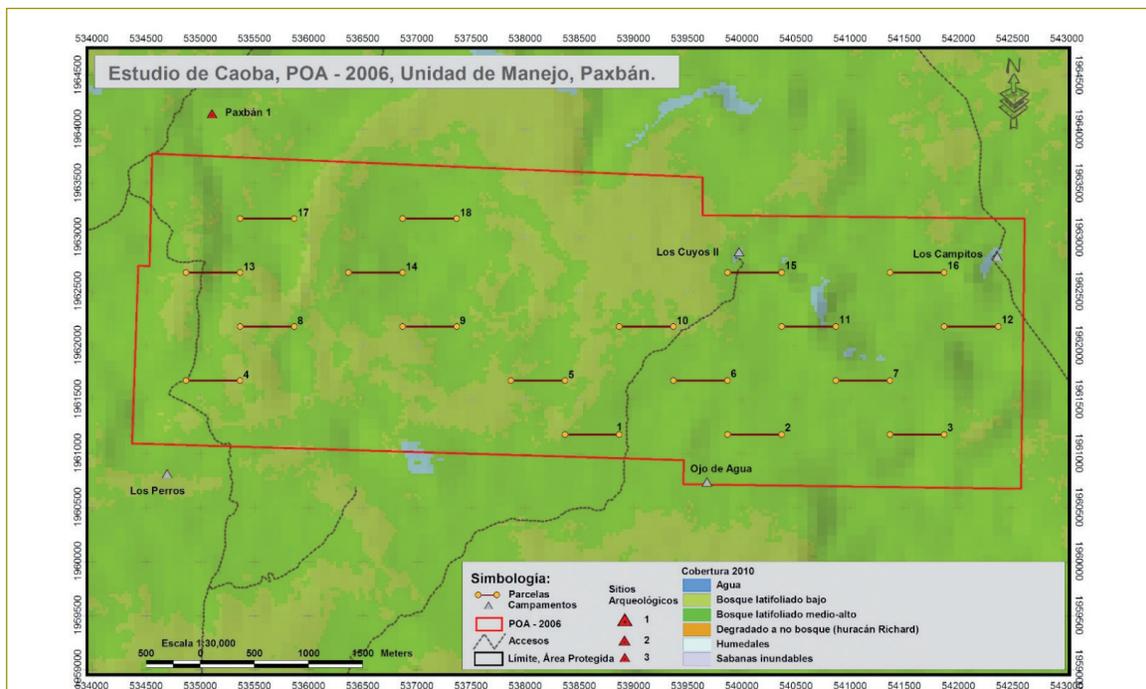
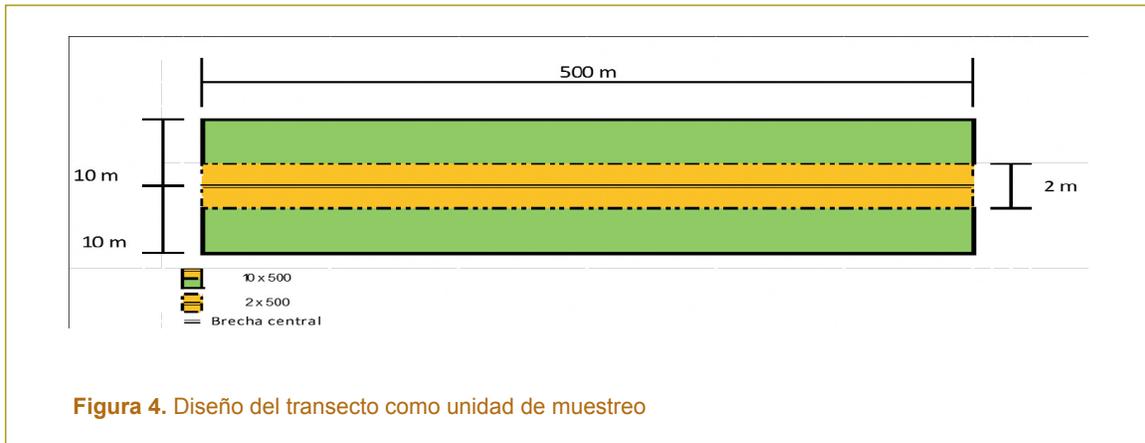


Figura 3. Transectos de 1 ha establecidos en forma sistemática en el POAF 2006 de Paxbán. Se instalaron 18 transectos con un área efectiva de 1816 ha (ver Cuadro 2).



(30–150 cm de alto) y los latizales bajos (>150 cm de alto a <5 cm de diámetro) se inventariaron en parcelas de 2 m x 500 m (0,1 ha) ubicadas en el centro de cada parcela de 1 ha (Fig. 4). La intensidad de muestreo a nivel de POAF fue de 1% para fustales y de 0,1% para brinzales y latizales. Para recopilar esta información se instalaron y georreferenciaron 265 transectos de 1 ha entre mayo y junio 2014, en once concesiones y 33 POAF en toda la ZUM (Cuadro 2). Detalles de los métodos de campo, recolección de datos y ubicación de transectos se encuentran en el manual de Manzanero y Pinelo (2014). Los datos de los transectos fueron digitados y procesados para el análisis en julio 2014.

Datos dinámicos: crecimiento y otras tasas demográficas

Tasas demográficas para *Swietenia*

Muy pocas veces es posible encontrar datos dinámicos que describan la historia de vida completa de una especie maderera del bosque tropical. Sin embargo, para *Swietenia* se cuenta con información de un programa de investigación de más de 20 años en cinco sitios de investigación ubicados en la parte sur de la Amazonia brasileña (Grogan *et ál.* 2008, 2014; Free *et ál.* 2014). Allí se llevan a cabo estudios anuales desde 1995, y se han evaluado varios miles de plantas (desde brinzales hasta árboles adultos) de regeneración natural o plantadas. Estos estudios han

permitido hacer descripciones detalladas de la mortalidad, crecimiento y producción de semilla por tamaño (diámetro) a lo largo de todo el ciclo de vida de la caoba (Grogan y Landis 2009, Grogan y Schulze 2012, Free *et ál.* 2014). También se han estudiado aspectos de la dispersión de semilla (Grogan y Galvão 2006a, Norghauer *et ál.* 2011), germinación, establecimiento de plántulas y requisitos para el crecimiento en diversos gradientes de suelo y de iluminación (Grogan *et ál.* 2003a, b, 2005, Grogan y Galvão 2006a). Además se ha descrito la ecología del paisaje, incluyendo las tasas de disturbios en el bosque, en el primer sitio de investigación ubicado en Pará –un bosque estacionalmente seco similar en estructura a los bosques de la RBM– (Grogan y Galvão 2006b). Estos datos constituyen la base de un modelo de dinámica de poblaciones originalmente construido para evaluar la sostenibilidad de los parámetros de manejo forestal de *Swietenia* en Brasil (Grogan *et ál.* 2014).

Los algoritmos que describen las tasas demográficas de la caoba se derivan de estos estudios (Recuadro 1). Por ejemplo, las tasas de incremento diamétrico y mortalidad varían con el tamaño del fuste y son influenciadas por la historia de crecimiento, un efecto de autocorrelación que afecta significativamente el comportamiento del modelaje a nivel de población. La producción de semilla también es fuertemente influenciada por el tamaño del fuste y la historia de crecimiento (Grogan y Landis 2009).

Tasas demográficas para *Swietenia*: Brasil vs. Petén

Las tasas de crecimiento y mortalidad en poblaciones naturales de Brasil y otros países se compararon con las de parcelas permanentes de muestreo (PPM) establecidas en las concesiones en la RBM entre fines de la década de 1990 y mediados del 2000. Esta comparación permitió evaluar si un modelo construido con las tasas de crecimiento y mortalidad de Brasil puede usarse razonablemente bien para simular poblaciones de *Swietenia* en Guatemala. No se han publicado más datos sobre dinámica para el Petén.

Aunque la tasa de mortalidad varía con el tamaño de fuste, una muestra grande de árboles de caoba >10 cm de diámetro (N = 342) mostró una mortalidad anual promedio de 1,25% en un periodo de 18 años en un sitio

de estudio en Brasil (Grogan y Landis 2009, Grogan *et ál.* 2014). En comparación, Mize y Negreros-Castillo (2007) encontraron una mortalidad anual del 1% en un estudio de 15 años de duración en Quintana Roo, México. Baima (2001) reportó una mortalidad anual del 1,197% para una muestra grande de árboles de caoba >10 cm de diámetro en la Amazonia brasileña, en un periodo de tres años, y Gullison *et ál.* (1996) encontraron una mortalidad anual del 1,6% en árboles >2,5 cm de diámetro en Bolivia, en un periodo de dos años (Cuadro 4). No se cuenta con más información publicada acerca de la mortalidad de árboles de caoba en bosque natural. Los datos evaluados nos permiten concluir que la función de mortalidad dependiente del tamaño y de la historia de vida en Brasil es un buen estimador de las tasas de mortalidad de *Swietenia* en la ZUM-RBM.

Recuadro 1. Ecuaciones de regresión y coeficientes estimados usados para determinar los parámetros demográficos del árbol *i* en un tiempo *t* a partir del modelo demográfico de *Swietenia*

Función/Parámetro	Ecuaciones/Estimados
Crecimiento	$I_{i,t} = 0.420 + 0.007D_{i,t-1} - 0.009 \max(0, D_{i,t-1} - 40) + 0.399e_{i,t-1} + 0.321e_{i,t-2} + 0.081e_{i,t-3} - 0.046e_{i,t-4} + 0.130e_{i,t-5} - 0.143e_{i,t-6} - 0.029e_{i,t-7} + 0.266e_{i,t-8} + 0.190e_{i,t-9} - 0.311e_{i,t-10} + \epsilon_{i,t}, \epsilon \sim N(0, 0.479)$
Probabilidad de mortalidad	$\ln\left(\frac{P_{i,t}}{1-P_{i,t}}\right) = -0.083 - 4.177I_{i,t-1} - 3.705 \max(0, I_{i,t-1} - 0.4) + 2.570 \max(0, I_{i,t-1} - 1.5) - 0.575D_{i,t-1} + 0.554 \max(0, D_{i,t-1} - 5) + 0.027 \max(0, D_{i,t-1} - 25) + 0.001 \max(0, D_{i,t-1} - 85)$
Probabilidad de reproducción	$\ln\left(\frac{P_{i,t}}{1-P_{i,t}}\right) = -9.624 + 3.201I_{i,t-1} - 1.165I_{i,t-1}^2 + 0.210D_{i,t-1} - 0.182 \max(0, D_{i,t-1} - 40)$
Producción de frutos	$\mu F_{i,t} = \exp(0.296 + 0.025D_{i,t} + 0.0003D_{i,t}^2 - 1.744 * 10^{-6} D_{i,t}^3)$ $F_{i,t} \sim \text{Gamma}(1.141525, \mu F_{i,t} / 1.141525)$
Área de claros por árboles muertos	$Area_{gap} = -25.171 + 1.398D_{i,t} + 0.020D_{i,t}^2$

$I_{i,t}$ es el incremento diamétrico del árbol *i* en un tiempo *t* en cm año⁻¹; I' e I'' son variables construidas en una *restricted cubic spline**

$D_{i,t}$ es el diámetro del árbol *i* en un tiempo *t* en cm; D' y D'' son variables construidas en una *restricted cubic spline**

$e_{i,t}$ es la diferencia entre $I_{i,t}$ y la media de la población I_t

$P_{i,t}$ se refiere a la probabilidad de un evento dado para el árbol *i* en un tiempo *t*.

$F_{i,t}$ es el número de frutos producidos por el árbol *i* en un tiempo *t*.

D es el diámetro (cm) a 1,3 m de altura de fuste, o 30 cm sobre el contrafuerte más alto.

* Harrel, FE. 2003. Regression modeling strategies. Springer, New York, NY, USA

Fuente: Tomado de Grogan *et ál.* (2014) Cuadro S1.

Cuadro 4. Información publicada acerca del crecimiento diamétrico y tasas de mortalidad de poblaciones naturales de *Swietenia macrophylla*

Ubicación	Árboles (no.)	Diam. min. (cm)	Años (no.)	Tasa crecimiento (rango, cm año ⁻¹)	Factores influyentes agrupados por	Mortalidad (% anual)	Fuente
Belice	2202	~10	8	0,36-0,91	Fertilidad del suelo; sitio	-	Lamb (1946)
Belice noroeste	75	20	4	0,75-1,38	Diámetro de fuste; tamaño de clase 10 cm	-	Shono y Snook (2005)
Belice noroeste	75	20	4	0,69-1,21	Precipitación anual; todos los árboles	-	Shono y Snook (2005)
México, Quintana Roo	~51	10	4	0,20-0,65	Precipitación anual; todos los árboles	-	Whigham, Lynch y Dickinson (1998)
México, Quintana Roo	82	20	5	NA	Producción de fruto; todos los árboles	-	Snook, Cámara-Cabrales y Kelty (2005)
Brasil, SE Pará	351	20	3	0,25-0,60 ¹	Diámetro de fuste; tamaño de clase 10 cm	1197	Baima (2001); Grogan <i>et ál.</i> (2008)
Brasil, SE Pará	342	20	7	0,45-0,70 ¹	Diámetro de fuste; tamaño de clase 10 cm	1078	Grogan <i>et ál.</i> (2008)
Brasil, Mato Grosso	33	43	90-170	0,70 ²	Precipitación anual; todos los árboles	-	Dümisch, Montóia y Bauch (2003)
Bolivia, Beni	117	2,5	2	0,26-0,90	Diámetro fuste; duplicando clases de tamaño	1,6	Gullison <i>et ál.</i> (1996)

¹ Valores medianos mostrados.

² Promediado para todos los árboles.

Fuente: Tomado de Grogan y Landis (2009) Cuadro S1.

El incremento diamétrico medio anual para árboles de 10–60 cm de diámetro fue de 0,66 cm año⁻¹ durante los 18 años del estudio en Brasil (Grogan *et ál.* 2008, 2014, Grogan y Landis 2009; Fig. 5). Las pocas publicaciones que describen las tasas de incremento diamétrico de *Swietenia* en bosque natural muestran una gama consistente de valores similares a los de Brasil y una gran variabilidad entre regiones y entre bosques de una misma región (Cuadro 4). En Quintana Roo, México, Argüelles *et ál.* (1998, p. 73) determinaron tasas de incremento diamétrico medio de 0,16 a 0,66 cm año⁻¹ en árboles de 10–60 cm de diámetro en un periodo de ocho años. Negreros-Castillo y Mize (2014) determinaron tasas de 0,22 a 1,97 cm en un periodo de seis años en Quintana Roo.

En Guatemala, desde 1994, el CONAP colabora con los concesionarios ubicados en la ZUM, para el desarrollo de estudios a largo plazo sobre incremento diamétrico en PPM. Los datos provenientes de siete parcelas en cinco concesiones arrojan un incremento diamétrico medio de 0,60 cm año⁻¹ para árboles de

caoba de 10–60 cm de diámetro en periodos de tres a once años (Fig. 5). Manzanero (2005, Fig. 3) reportó tasas de incremento diamétrico medio de 0,41–0,43 cm año⁻¹ en caoba de futura cosecha, en periodos de uno a siete años en PPM de tres concesiones.

En ausencia de datos de incremento diamétrico a largo plazo para poblaciones específicas en cada concesión, los datos de Brasil significan la mejor opción para simular la dinámica poblacional de la caoba en la ZUM por las siguientes razones: 1) Los datos de Brasil son muy parecidos a los datos de PPM en las concesiones, en cuanto a clases de tamaño (en particular, las clases de 10–60 cm de diámetro, ver Fig. 5). 2) Los datos de Brasil son comparables con los de otras regiones de Centro y Suramérica, tanto en términos positivos como negativos, lo que resalta la variabilidad característica de diferentes poblaciones en condiciones diferentes. 3) Los datos de Brasil se basan en una muestra de árboles bastante grande, de todas las clases diamétricas, la cual ha sido evaluada cada año, durante 18 años hasta el 2014. Para las concesiones en la ZUM se

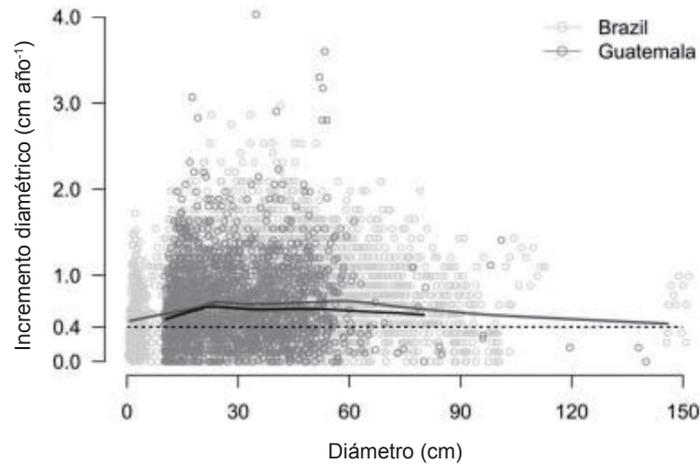


Figura 5. Tasas de incremento diamétrico (cm año^{-1}) para *Swietenia* en estudios en Brasil (gris claro: $n = 4277$) y en concesiones en la RBM (gris oscuro; $n = 2131$)

Fuente para datos de Guatemala: CONAP (datos no publicados); Hoil³

Las líneas sólidas representan un suavizado *lowess* a través de cada conjunto de datos (claro = Brasil; oscuro = Guatemala). La línea horizontal discontinua indica el incremento diamétrico medio de $0,4 \text{ cm año}^{-1}$ definido por las regulaciones guatemaltecas y usado en el cálculo de la intensidad de corta.

cuenta con muy poca información para árboles $>60 \text{ cm}$ de diámetro. 4) Las tasas de crecimiento, mortalidad y producción de semilla se interconectan en el modelo brasileño; la sustitución por los limitados datos de crecimiento de la ZUM podría inhabilitar esos vínculos e introducir incertidumbre en el desempeño del modelo.

Otras tasas dinámicas derivadas de las poblaciones brasileñas incluyen la probabilidad y cantidad de producción anual de fruto como una función del tamaño del árbol (diámetro de fuste), la distancia de dispersión y germinación de semillas y el establecimiento de plántulas y tasas de supervivencia. La producción de semilla en el principal sitio de estudio en Brasil depende principalmente del tamaño del fuste (Grogan y Galvão 2006a, Grogan y Landis 2009, Grogan *et ál.* 2014), y sale bien librada al compararse con los resultados del sureste de Pará (Jennings y Baima 2005) y Quintana Roo, México (Snook *et ál.* 2005). Otras tasas

de interés en cuanto a semillas y plántulas en los sitios de estudio en Brasil aparecen en trabajos publicados (Grogan *et ál.* 2003, 2005; Grogan y Galvão 2006a).

Tasas demográficas de *Cedrela* + tres especies maderables menos conocidas

Los datos obtenidos con este estudio, los cuales describen las tasas demográficas de *Cedrela*, *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum* se restringen a crecimiento diamétrico en las PPM en las concesiones. No se encontró información empírica en cuanto a mortalidad, producción de semilla, dispersión, germinación, establecimiento de plántulas y crecimiento inicial. Esta falta de información de la dinámica, especialmente de juveniles $<30 \text{ cm}$ de diámetro, significa que no podemos proyectar la recuperación de poblaciones de *Cedrela* y las otras especies menos conocidas más allá de un solo ciclo de corta; es decir, más allá del segundo aprovechamiento.

3 Alex Hoil, regente forestal de Baren Comercial, agosto, 2014. Comunicación personal.

Las parcelas permanentes en la RBM, cuyos datos se analizaron para este estudio, no contaban con individuos de *Cedrela*. Dada esta falta total de datos de incremento diamétrico, hemos sustituido con datos de parcelas permanentes de *Swietenia*. *Cedrela* y *Swietenia* son parientes cercanos en la familia de las Meliaceae, con requisitos de crecimiento similares. Una muestra pequeña de árboles de *Cedrela* >10 cm de diámetro en Brasil mostró tasas de incremento medio casi equivalentes a las de caoba en un periodo de 18 años (Grogan y Schulze datos no publicados).

Los datos de incremento diamétrico de ambas especies en parcelas permanentes se limitan, casi exclusivamente, a árboles de futura cosecha de 30–60 cm de diámetro. Para efectos de modelación, hemos sintetizado estos datos para generar tasas de crecimiento dependientes del tamaño (Fig. 6). El incremento medio anual de árboles de *Lonchocarpus* de 10–50 cm de diámetro fue de aproximadamente 0,4 cm año⁻¹ –la tasa de incremento usada para calcular la intensidad de corta–. El incremento de *Bucida* fue de 0,4 cm año⁻¹ o menos, en un rango de 10–100 cm de diámetro; el

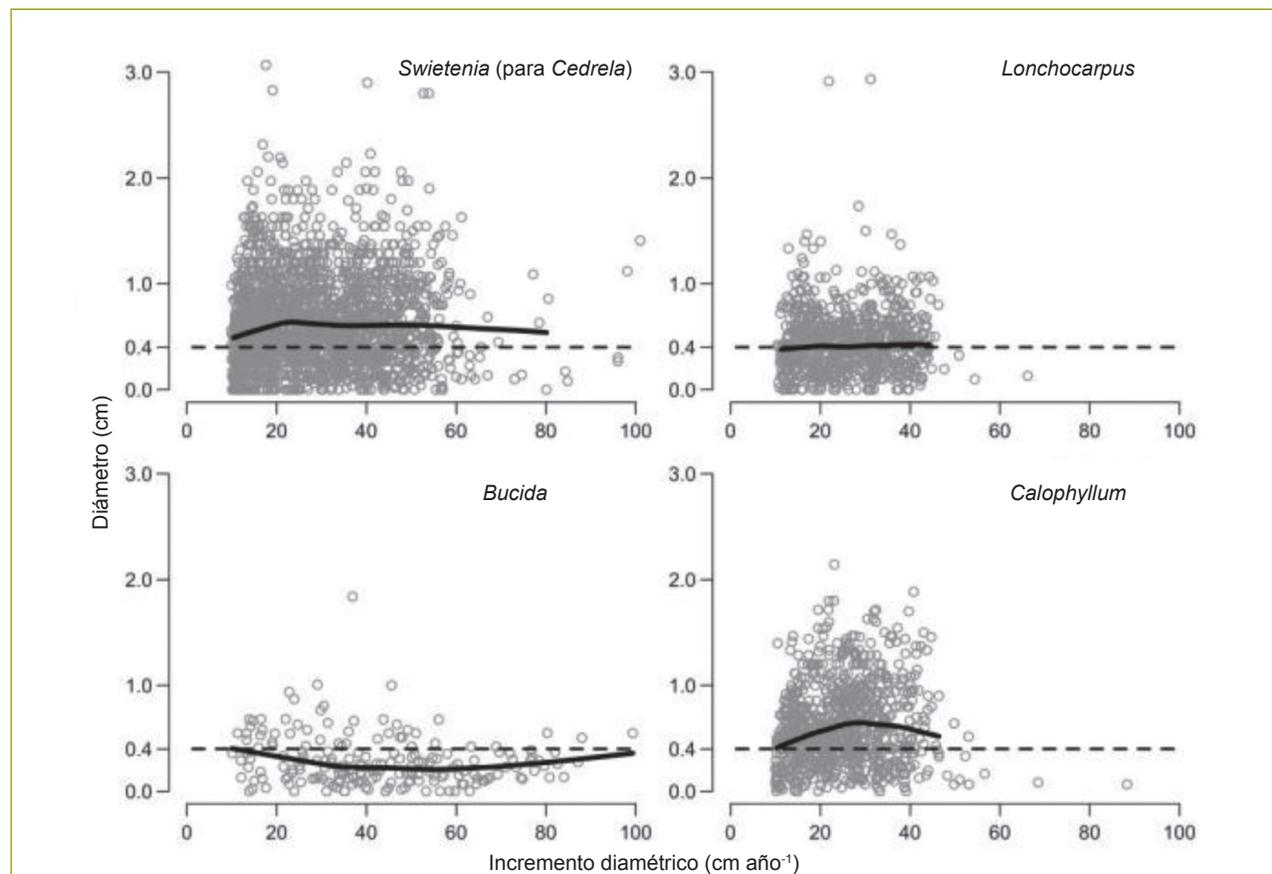


Figura 6. Tasas de incremento diamétrico observado (cm año⁻¹) para *Cedrela* y otras tres especies menos conocidas en cinco de las once concesiones en la ZUM-RBM

Las tasas de incremento diamétrico de *Swietenia* en las concesiones de la ZUM se usaron como sustitutas de *Cedrela*, ya que no se cuenta con datos de esta especie en la ZUM. Los puntos oscuros denotan valores observados y los puntos claros denotan valores extrapolados. La línea sólida negra representa un suavizado *lowess* de los conjuntos de datos observados y de crecimiento completo, respectivamente. Las líneas negras discontinuas representan el incremento diamétrico medio de 0,4 cm año⁻¹ establecido por la fórmula de intensidad de corta.

menor incremento se dio en la clase de 40–60 cm de diámetro. *Calophyllum* mostró incrementos de 0,4 cm año⁻¹ o más, en un rango de 10–45 cm de diámetro, con un pico en 25–35 cm de diámetro.

La tasa anual de mortalidad del 1% se aplicó a todas las clases de tamaños de *Cedrela* y las tres especies menos conocidas, según información recabada en gran cantidad de investigaciones publicadas.

Modelación de poblaciones de especies en respuesta al aprovechamiento

Modelación de poblaciones de *Swietenia*: el modelo R

El modelo usado para la simulación de la respuesta de poblaciones de *Swietenia* al aprovechamiento es un modelo no espacial basado en árboles individuales construido con el lenguaje de programación R de Mathew Landis (Grogan y Landis 2009, Free *et ál.* 2014, Grogan *et ál.* 2014). Como se menciona antes, los algoritmos estáticos y dinámicos del modelo para la simulación del crecimiento en el tiempo de las poblaciones se derivan de poblaciones de caoba estudiadas en Brasil desde 1995. A este modelo se incorporaron parámetros de manejo específicos de Petén: el DMC, el ciclo de corta y la intensidad de corta.

El modelo R fue adaptado por Christopher Free al ambiente de programación NetLogo, el cual ofrece una interfaz basada en menús amigables que permiten a quienes manejan bosques descargar datos de población que describan las condiciones locales. También puede automatizar simulaciones repetidas para generar valores medios para escenarios de manejo dados (<http://www.swietking.org/model-applet.html>). Los dos modelos generan valores medios idénticos a través de simulaciones repetidas, pero el modelo R tiene mayor capacidad de manejo de información y es, por lo tanto, el que se usó para generar los resultados de este estudio.

Las tasas dinámicas de Brasil para todas las fases del ciclo de vida de la caoba pueden combinarse con estructuras poblacionales completas obtenidas de censos comerciales y de transectos establecidos en las concesiones de la ZUM. Esta combinación permite

simular la respuesta de las poblaciones al aprovechamiento, a través de múltiples ciclos de corta; para ello se usaron los parámetros de manejo aplicados por el CONAP y los concesionarios. En este análisis hemos simulado cuatro aprovechamientos de la caoba a lo largo de tres ciclos de corta; o sea, 75–120 años a futuro, dependiendo de la duración del ciclo de corta (25–40 años) en cada POAF.

Hemos corroborado los resultados generados por el modelo R a partir de los datos de Brasil, mediante la simulación de las poblaciones de *Swietenia* en Petén con el modelo diseñado para las especies menos conocidas (sección “Modelación de poblaciones de *Cedrela* + tres especies maderables menos conocidas”, pag. 26). En este segundo escenario de modelación, los datos de incremento diamétrico de *Swietenia* en las parcelas permanentes de la RBM y la tasa anual de mortalidad del 1% remplazaron los datos de mortalidad y crecimiento en Brasil.

Construcción de la población inicial de *Swietenia*

La abundancia de árboles de *Swietenia* <30 cm de diámetro en cada POAF se estimó a partir de la densidad de brinzales, latizales y fustales en los transectos. Los diámetros se seleccionaron de manera uniforme en las clases de 1 cm y 5 cm de diámetro generadas para la evaluación de los transectos de 0,1 ha y 1 ha, respectivamente. Todos los árboles <30 cm de diámetro se consideraron como de futura cosecha; es decir que mantendrán un fuste de buena calidad.

Para efectos de modelación, los individuos >2,5 a 30 cm de diámetro se combinaron con los árboles de >30 cm de diámetro del censo comercial para crear la población inicial (o anterior) de cada POAF. Usamos 2,5 cm como diámetro mínimo para las simulaciones de la población porque el modelo supone que solo las plantas en claros logran sobrevivir y crecer; por otra parte, no contamos con información detallada de las condiciones de crecimiento de cada brinzal individual (ni de los muchos brinzales adicionales que cada brinzal muestreado representa dentro del área del POAF). Los POAF 2005/2006 fueron evaluados en el 2014; es de esperar que los latizales <2,5 cm de diámetro —y especialmente los brinzales <1,5 m de alto— han sido

suprimidos por la vegetación competitiva 8–9 años después del aprovechamiento, y que hay pocas probabilidades de reclutamiento a tamaño comercial, a menos que se apliquen intervenciones silviculturales (Grogan *et ál.* 2003b, 2005).

En los censos comerciales de los POAF se encontraron 96 árboles de *Swietenia* sin datos de diámetro. Para corregir el error se asignaron diámetros seleccionados al azar de la distribución diamétrica de los demás árboles censados. Esto permitió asignar diámetros sin cambiar la forma de la distribución observada.

Para efectos del POAF, los árboles se clasifican en las categorías siguientes: cosecha, futura cosecha, semillero, salvamento, decrepito, protección. Para efectos del estudio se reclasificaron todos los árboles en las cuatro categorías que mejor describen el estado de un árbol en el momento del primer aprovechamiento: aprovechable, salvamento, futura cosecha y no productivo. Solo los árboles clasificados como aprovechables o de futura cosecha fueron considerados en los cálculos de la intensidad de corta (sección “Intensidad de corta para dos cosechas”, pag. 40). En los aprovechamientos siguientes, solo los árboles clasificados como de futura cosecha se consideraron en el cálculo de la intensidad de corta.

Simulación de la dinámica poblacional y aprovechamiento de *Swietenia*

El modelo *Swietenia* simula el desarrollo, mortalidad y reproducción de árboles por periodos de un año a partir de las ecuaciones de regresión antes dadas (Recuadro 1, pag. 20). El modelo incluye funciones para crear claros en el dosel a partir de disturbios naturales y de aprovechamiento, y supone que la germinación de semillas y el establecimiento de plántulas ocurren únicamente en tales claros. Los árboles son aprovechados a partir de un diámetro de corta que varía entre concesiones (55 o 60 cm) y se hacen crecer durante el ciclo de corta siguiente de 25, 30 o 40 años (Cuadro 5) hasta la segunda cosecha. Los árboles designados como ‘aprovechables’ y ‘salvamento’ en los POAF 2005/2006 se eliminan de la población en el año cero. Estos árboles tienen un 50% de posibilidad de fructificar antes de ser cortados, pues las operaciones de tala tienen lugar en la época seca, la cual se inicia antes de que comience la dispersión de

semilla y acaba bastante después de que se haya completado la dispersión. Los claros creados por la caída de árboles aprovechados contribuyen a aumentar el área total de claros disponibles para la regeneración.

Tal como se describió en la sección “Descripción de los parámetros de manejo más importantes” (pag. 13), en Petén el DMC y el ciclo de corta interactúan para definir la intensidad de corta. La intensidad de corta de árboles comerciales <90 cm de diámetro se calcula como la proporción entre la suma del área basal de los árboles que se espera alcanzarán tamaño comercial para el aprovechamiento siguiente (durante un ciclo de corta) y la suma del área basal de los árboles comerciales <90 cm de diámetro en el aprovechamiento actual.

$$\text{Intensidad de corta} = \frac{\sum AB_{\text{umbral-DMC}}}{\sum AB_{\text{DMC-90cm}}}$$

Este cálculo supone un incremento diamétrico anual promedio de 0,4 cm año⁻¹ para todos los árboles de *Swietenia* de futura cosecha. Así, es posible calcular un umbral diamétrico por encima del cual todos los árboles se supone que alcanzarán tamaño comercial para el próximo aprovechamiento. El umbral diamétrico se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Umbral diamétrico (cm)} = \text{DMC} - 0,4 \text{ cm año}^{-1} \times \text{ciclo de corta (años)}$$

La intensidad de corta representa la proporción de la suma del área basal de los árboles de tamaño comercial <90 cm de diámetro que pueden talarse en el aprovechamiento actual. Así, el ‘área basal calculada’ a ser extraída en el aprovechamiento actual equivale al área basal esperada que, para el próximo aprovechamiento, remplace a los árboles cosechados. El modelo se ajustó para incluir este cálculo. El modelo selecciona al azar árboles de corta hasta que, al seleccionarse un árbol más, se sobrepasa el área basal calculada (intensidad de corta).

Para los árboles >90 cm de diámetro, el modelo supone que siempre se cosechará el 65% del área basal disponible (el máximo permitido) en esta clase; por lo tanto, se seleccionan árboles a talar hasta que al seleccionarse un árbol adicional se sobrepasa el área basal calculada

(intensidad de corta). Para el aprovechamiento inicial (2005/2006), calculamos la intensidad de corta real de árboles comerciales <90 cm y >90 cm de diámetro, según los inventarios de los POAF, y comparamos estos valores con la intensidad de corta ‘matemáticamente correcta’ antes descrita. Finalmente, el modelo calcula los volúmenes de madera en rollo por medio de una ecuación de una sola entrada (Kometter 2011) basada en una muestra grande de árboles de *Swietenia* de Guatemala.

$$V = -5,298 + 0,126 * D$$

donde V = volumen (m³) y D = diámetro (cm) a 1,3 m de altura de fuste, o por encima de 1,3 si tiene defectos o contrafuertes.

Si bien los censos comerciales 2005/2006 cuentan con estimaciones del volumen, lo recalculamos por medio de esta ecuación para asegurar la comparabilidad con los futuros aprovechamientos. Todas las poblaciones de los POAF fueron simuladas cien veces con tres ciclos de corta más diez años; es decir que por cien años de concesión, se anticipan ciclos de corta de 30 años. Los resultados que se ofrecen representan valores medios de las simulaciones repetidas.

Modelación de poblaciones de *Cedrela* + tres especies maderables menos conocidas

El modelo usado para evaluar la recuperación potencial después del aprovechamiento de *Cedrela* y de tres especies maderables menos conocidas durante un ciclo de corta fue similar al usado en la simulación de la respuesta de poblaciones de *Swietenia* asociada con especies maderables raras (Grogan *et ál.* 2008, Schulze *et ál.* 2008).

Las estructuras poblacionales iniciales se construyeron de la forma descrita para caoba. Después del aprovechamiento en el año cero, y con el DMC establecido por la concesión (Cuadro 5), el modelo ‘hace crecer’ los árboles de futura cosecha y los remanentes comerciales durante el primer ciclo de corta (25–40 años). Las tasas de incremento diamétrico –obtenidas a partir de la distribución del incremento diamétrico observado– se asignan al azar, año a año, en clases diamétricas de 5 cm, según datos de las PPM de la ZUM. Por ejemplo, en el año uno, a un árbol de 32 cm se le asigna la tasa de crecimiento observada en un árbol coespecífico de una parcela permanente incluido en la clase diamétrica 30–35 cm; el proceso se repite en los años subsiguientes. El

Cuadro 5. Parámetros usados en el aprovechamiento de *Swietenia*, *Cedrela* y tres especies menos conocidas en las concesiones de la ZUM-RBM

Unidad de manejo	CC (años)	DMC (cm)				
		<i>Swietenia</i>	<i>Cedrela</i>	<i>Lonchocarpus</i>	<i>Bucida</i>	<i>Calophyllum</i>
Aficc	30	55	55	55/50*	55/50	55/50
Afisap	40	60	60	50	50/60	50
Árbol Verde	30	60	60	50/55	50/60	50/55
Carmelita	40	55	55	50	50/55	45
Chosquitán	30	60	60	50/55	--/60	55/60
La Gloria	25	60	60	45	45	45
La Unión	30	60	60	55	55	55
Paxbán	30	60	60	50	50	50
Río Chanchich	25	60	60	50	--	60
Uaxactún	40	60	60	50/55	--/55	50/--
Yaloch	30	60	60	60	60/--	60

*Pares de DMC indican reglas diferentes para el 2005 y 2006, respectivamente.



Estado de conservación de las poblaciones de cinco especies maderables
en concesiones forestales de la Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala

modelo aplica una tasa de mortalidad del 1% a todos los árboles a través del ciclo de corta. Al final de un ciclo de corta, los árboles son talados de acuerdo con las reglas de intensidad de corta antes descritas para el modelo *Swietenia*. Para cada población se hicieron cien simulaciones; los resultados descritos representan los valores medios.

Para efectos comparativos, la caoba se reanalizó mediante el modelo de especies menos conocidas; se usaron las tasas de incremento diamétrico de las parcelas permanentes establecidas en la RBM y una tasa anual de mortalidad del 1% para todas las clases diamétricas. Las poblaciones iniciales usadas en este análisis fueron idénticas a las del modelo R.



Resultados

3

En esta sección se presenta el resumen de los resultados considerando todas las concesiones. En el informe de Grogan *et ál.* (2016) se incluyen los resultados detallados a nivel de año de análisis y de concesión; este documento puede ser consultado en línea (http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8286/Estado_de_la_conservacion_de_las_poblaciones.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Swietenia

Estructuras de población según censos comerciales

Los datos de censos comerciales para árboles de futura cosecha con 30–60 cm de diámetro y árboles comerciales con >60 cm de diámetro, provenientes de los POAF 2005 y 2006 aparecen en los cuadros 6 y 7; para el momento del análisis no fue posible contar con información de los POAF 2015. De los POAF 2005/2006 la densidad promedio de los árboles de *Swietenia* con >30 cm de diámetro fue de 225 árboles por cien hectáreas (rango: 104–439 en Árbol Verde 2006 y Uaxactún 2006, respectivamente; cuadros 6 y 7). La densidad promedio de árboles de tamaño comercial >60 cm de diámetro fue de 81 árboles por 100 ha (rango: 20–138 en Árbol Verde 2006 y Río Chanchich 2006, respectivamente); la densidad comercial mínima de árboles grandes >90 cm de diámetro fue de 17 árboles por 100 ha (rango: 3–50 en Árbol Verde 2006 y Río Chanchich 2006, respectivamente).

Para efectos de sostenibilidad, la intensidad de corta puede ser alta donde hay abundancia de árboles de

futura cosecha porque se espera que estos pasen a ser comerciales durante el primer ciclo de corta y subsiguientes. Sin embargo, la intensidad de corta debe reducirse cuando la densidad de árboles de futura cosecha es baja porque habrá pocos individuos disponibles para reemplazar a los árboles cosechados hoy.

Estructuras de población según la evaluación de transectos

La evaluación de transectos en los POAF 2005/2006/2015 resultó en una amplia gama de densidades de brinzales, latizales altos y bajos y fustales (cuadros 8 y 9). Si bien la intensidad de muestreo fue relativamente baja (1% del área para fustales y árboles; 0,1% del área para brinzales y latizales) y no esperábamos una distribución espacial uniforme para la regeneración de *Swietenia* en cada POAF, los transectos sistemáticamente ubicados corrigieron la ocurrencia en parches, pues se logró agrupar áreas en donde las plantas ocurren con densidad alta, intermedia o baja.

Los brinzales de *Swietenia* (<1,5 m de altura) mostraron densidades relativamente altas en casi todos los POAF, con promedios de 5010 por 100 ha en los POAF 2005/2006 y 3015 por 100 ha en los POAF 2015. Esta aparente diferencia en la densidad de brinzales entre POAF ya aprovechados (2005/2006) y no aprovechados era esperada, pues los disturbios en el dosel del bosque, causados por el aprovechamiento, debieran promover el establecimiento y la persistencia de la regeneración durante 8–9 años después del aprovechamiento. En los POAF de Uaxactún 2005 y Yaloch 2015 no se encontraron brinzales, en tanto que

Cuadro 6. Datos del censo de *Swietenia*: densidades por 100 ha por concesión

Unidad de manejo	> 30 cm diam		> 60 cm diam		> 90 cm diam		30-60 cm diam		60-90 cm diam	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Aficc	111	128	44	44	5	8	67	84	39	37
Afisap	206	297	74	118	14	28	133	179	60	91
Árbol Verde	200	104	72	20	11	3	129	84	61	17
Carmelita	350	291	60	114	6	23	291	177	54	92
Chosquitán	261	245	116	99	20	25	145	146	96	74
La Gloria	163	233	38	76	5	8	125	157	33	68
La Unión	267	225	79	68	15	16	188	158	64	52
Paxbán	153	156	55	45	8	7	98	111	47	38
Río Chanchich	163	236	111	138	33	50	53	98	78	89
Uaxactún	145	439	60	135	18	28	85	304	42	107
Yaloch	318	269	137	76	31	12	180	193	106	65

Total: >30 cm diámetro; total comercial: >60 cm diámetro; comercial grande: >90 cm diámetro; futura cosecha: 30–60 cm diámetro; comercial pequeño: 60–90 cm diámetro

Nótese que el DMC fue de 55 cm de diámetro en AFICC y Carmelita (Cuadro 5).

Cuadro 7. Datos del censo de *Swietenia*: densidad promedio (fustes por 100 ha) por tamaño de fuste en once POAF por año

Tamaño de fuste	2005 (EE)	2006 (EE)
Total inventariado (>30 cm diámetro)	212 (23)	238 (28)
Comercial (>60 cm diámetro)	77 (10)	85 (12)
Comercial grande (>90 cm diámetro)	15 (3)	19 (4)
Futura cosecha (30-60 cm diámetro)	136 (20)	154 (19)
Comercial pequeño (60-90 cm diámetro)	62 (7)	66 (8)

EE: error estándar. Nótese que el DMC fue de 55 cm de diámetro en AFICC y Carmelita (Cuadro 5).

la mayor densidad estimada se encontró en Yaloch 2005 (14.750 por 100 ha, Cuadro 8).

La densidad de latizales bajos (>1,5 m de altura a 5 cm de diámetro) debiera ser más baja que la densidad de brinzales porque menos individuos sobreviven hasta alcanzar un mayor tamaño. Los latizales bajos <5 cm de diámetro ocurren en densidades mucho más bajas que los brinzales; sin embargo, en los transectos se encontraron cantidades suficientes como para ofrecer una densidad aceptable a nivel de POAF. La densidad de latizales bajos fue, en promedio, de 750 por 100 ha en los POAF 2005/2006, en comparación con 209 por

100 ha en el POAF 2015 (Cuadro 9). De nuevo, se esperaban diferentes densidades promedio entre POAF aprovechados y no aprovechados en los tamaños <5 cm de diámetro, ya que muchos de estos individuos se establecieron posiblemente después del aprovechamiento 2005/2006. En tres de los POAF 2005 y en cuatro del 2015 no se registró ningún latizal bajo; la mayor densidad de latizales bajos registrada fue de 4000 por 100 ha en Carmelita 2006 (Cuadro 8).

Los latizales altos (5-10 cm de diámetro) ocurren en densidades más bajas que los latizales bajos; en promedio, 47 por 100 ha en los POAF 2005/2006, en

Cuadro 8. Datos de los transectos de *Swietenia*: densidades por 100 ha en la concesiones de la ZUM-RBM

Unidad de manejo	Brinzal 100 ha ⁻¹			Latizal bajo 100 ha ⁻¹			Latizal alto 100 ha ⁻¹			Fustal 100 ha ⁻¹		
	2005	2006	2015	2005	2006	2015	2005	2006	2015	2005	2006	2015
Aficc	600	5.167	10.000	0	333	333	20	33	17	100	83	133
Afisap	2.500	2.250	1.000	375	500	500	13	0	63	313	25	400
Árbol Verde	1.286	500	100	571	83	100	57	42	20	100	92	110
Carmelita	9.667	11.667	1.333	3.000	4.000	667	67	100	33	133	233	133
Chosquitán	12.667	9.500	667	500	1.500	0	0	67	0	50	0	17
La Gloria	2.727	1.095	667	409	286	56	109	62	11	277	319	100
La Unión	3.667	2.833	167	500	333	0	0	17	0	100	0	50
Paxbán	3.222	2.278	4.222	778	167	389	100	6	67	211	133	206
Río Chanchich	4.250	10.750	13.750	0	1.250	0	0	0	0	0	50	25
Uaxactún	0	3.000	1.250	0	1.000	250	25	300	25	50	200	175
Yaloch	14.750	5.833	0	750	167	0	0	17	0	100	217	67

comparación con 21 por 100 ha en los POAF 2015 (Cuadro 9). La mayor densidad promedio de latizales altos en bosque aprovechado era esperada porque, en condiciones favorables, los brinzales y latizales bajos de *Swietenia* pueden alcanzar hasta 5-10 cm de diámetro en 8–9 años, especialmente en ambientes con mucha luz asociados con los claros de aprovechamiento. En cuatro POAF 2005, dos POAF 2006 y cuatro POAF 2015 no se encontraron latizales altos. La mayor densidad de latizales altos registrada fue de 300 por 100 ha en Uaxactún 2006 (Cuadro 8).

Es de esperar que las diferencias entre los POAF 2005/2006 vs. 2015 desaparezcan en los fustales (10-30 cm de diámetro) porque muy probablemente los individuos de este tamaño ya se habían establecido al momento del aprovechamiento, 8–9 años antes

de que se establecieran los transectos. Asimismo, es poco probable que los daños colaterales asociados con el aprovechamiento de baja intensidad impacten significativamente en la densidad de fustales en los POAF 2005/2006. De hecho, el Cuadro 9 no muestra diferencias entre años por categoría de tamaño, con un promedio general de 127 por 100 ha. En Río Chanchich 2005 y Chosquitán 2006 no se encontraron fustales; la mayor densidad encontrada fue de 400 por 100 ha en Afisap 2015 (Cuadro 8). No es de sorprenderse que la densidad promedio de fustales sea mayor que la densidad de latizales, tanto altos como bajos, ya que un tallo de >10 cm de diámetro ya tiene su copa en o cerca del dosel del bosque, donde puede permanecer por décadas aun si es en posición suprimida. En otras palabras, las tasas de mortalidad en esta clase son más bajas que en las clases menores.

Cuadro 9. Datos de los transectos de *Swietenia*: densidad promedio (tallos por 100 ha) por categoría de tamaño

Tamaño	2005 (EE)	2006 (EE)	2015 (EE)
Brinzal (<150 cm altura)	5032 (1510)	4989 (1197)	3015 (1389)
Latizal bajo (<5 cm diámetro)	626 (252)	874 (344)	209 (71)
Latizal alto (5-10 cm diámetro)	36 (12)	59 (26)	21 (7)
Fustal (10-30 cm diámetro)	130 (29)	123 (32)	129 (32)

EE: error estándar

Al igual que en los datos de censo comercial analizados en la sección “Estructuras de población según censos comerciales” (pag. 28), la inspección de la distribución de frecuencias por clase de tamaño en los transectos ofrece un indicador de si los próximos aprovechamientos serán más fuertes o débiles, en relación con el aprovechamiento inicial. Esperamos que los tallos de <30 cm de diámetro pasen a tamaños comerciales o de futura cosecha durante el segundo y tercer ciclo de corta, y que constituyan parte o la totalidad de la tercera y cuarta cosecha. (Como se dijo en la sección “Construcción de la población inicial de *Swietenia*” (pag. 24), el diámetro mínimo de interés para la modelación de recuperación de las poblaciones de esta especie es 2,5 cm; los tallos de menor diámetro no se toman en cuenta en las estructuras poblacionales por las razones mencionadas). En los sitios en donde la densidad de latizales bajos >2,5 cm de diámetro y fustales de cualquier tamaño es alta, podemos esperar un reclutamiento robusto en las clases comercial y de futura cosecha durante las próximas décadas. Por ejemplo, la densidad de latizales bajos en los POAF 2005/2006 de Carmelita fue extremadamente alta en comparación con otras concesiones, donde no se encontró regeneración de esta categoría de tamaño (p.e., AFICC 2005, Río Chanchich 2005/2015). Asimismo, podemos anticipar impactos en los futuros aprovechamientos debido a la gran variabilidad en la densidad de fustales.

En resumen, brinzales, latizales y fustales aparecen con densidades relativamente altas en casi todos los POAF. Si la industria y las comunidades decidieran invertir en prácticas silviculturales, se podrían acelerar las tasas de crecimiento para mejorar los futuros aprovechamientos.

Modelación de poblaciones bajo los parámetros actuales de manejo forestal en la ZUM-RBM

La densidad estimada de fustes <30 cm de diámetro (sección “Estructuras de población según la evaluación de transectos”, pag. 28), se combina con la densidad observada de fustes >30 cm de diámetro (sección “Estructuras de población según censos comerciales”, pag. 28)⁴. Estas son las poblaciones que

el modelo “cosechó” en el año cero, en comparación con lo que realmente ocurrió en el 2005/2006 (las barras gris claro representan los árboles aprovechados de >55 o 60 cm de diámetro). Las poblaciones crecen durante el primer ciclo de corta de 25-40 años y se cosechan una segunda vez; el proceso se repite para dos ciclos de corta adicionales. Parámetros adicionales de manejo forestal incorporados en la simulaciones a largo plazo incluyen el límite mínimo del diámetro de corta (Cuadro 5) y la intensidad de corta (sección “Simulación de la dinámica poblacional y aprovechamiento de *Swietenia*”, pag. 25).

Densidad comercial de *Swietenia* durante tres ciclos de corta

Algunos de los resultados más interesantes son los siguientes: a) la densidad comercial inicial (p.e. 50 árboles comerciales por 100 ha antes del aprovechamiento en AFICC 2005); b) el impacto de la primera cosecha en la densidad comercial (22 árboles por 100 ha después del aprovechamiento en AFICC 2005); c) la recuperación de la densidad comercial durante el primer ciclo de corta hasta el momento de la segunda cosecha (valor medio de 40 árboles comerciales por 100 ha antes de la segunda cosecha en AFICC 2005); d) la disminución de la densidad después de la segunda cosecha (valor medio de 27 árboles comerciales por 100 ha después de la segunda cosecha en AFICC 2005); lo mismo sucede durante los tres ciclos de corta y cuatro cosechas.

En general, las simulaciones modeladas a partir de los parámetros de manejo forestal aplicados en 2005/2006 y proyectados para los futuros aprovechamientos indican que las poblaciones de *Swietenia* en las concesiones recuperarán, e incluso excederán, la densidad comercial durante los ciclos de corta entre cosechas sucesivas. La trayectoria completa de las simulaciones de la densidad comercial cubre tres ciclos de corta y arroja resultados positivos o casi positivos para ocho de los once POAF 2005 y para nueve de los once POAF 2006. En promedio, la densidad comercial media de las poblaciones simuladas se recuperó, para la segunda cosecha, a 109% y 116%, respectivamente, de la

4 No fue posible construir las estructuras poblacionales completas para los POAF 2015 por no contarse con los datos del censo comercial en el momento del análisis.

densidad comercial inicial según los POAF 2005/2006. De igual manera, las poblaciones simuladas se recuperaron a 146% y 150% de la densidad comercial inicial para la tercera cosecha, y a 149% y 156% para la cuarta cosecha (Cuadro 10). Estas tasas generales de recuperación han sido fuertemente influenciadas por la recuperación muy positiva en los dos POAF de Carmelita. Sin embargo, aun sin tomar en cuenta los resultados de Carmelita (promedio de 10 concesiones), las futuras densidades comerciales, después de uno a tres ciclos de corta, fue en promedio de 101–145% de la densidad comercial inicial (Cuadro 10).

La recuperación (o la ausencia de recuperación) de la densidad comercial durante los ciclos de corta es una consecuencia directa de la distribución y densidad de árboles, fustales y latizales de futura cosecha. En donde estos individuos ocurren con densidades relativamente altas, en comparación con los árboles comerciales, los futuros aprovechamientos podrían ser similares a la cosecha inicial a medida que los árboles de futura cosecha pasan a engrosar la talla comercial durante las décadas subsiguientes. Al relacionar la intensidad de corta con las tasas de crecimiento esperadas para los árboles de futura cosecha, quienes manejan los bosques en la ZUM restringen las cosechas a niveles sostenibles en términos de densidad comercial en donde las estructuras poblacionales son favorables.

Los resultados de densidad comercial para cuatro cosechas, según los POAF 2005/2006 de AFICC (Fig. 7), son favorables ya que la densidad se incrementa con el tiempo. Se evidencian dos razones para ello: 1) los árboles de futura cosecha (30–60 cm de diámetro) muestran altas densidades en comparación con los tamaños comerciales; 2) los fustales (10–30 cm de diámetro) pudieran tener densidades bastante altas en ambas áreas. Aparte de la escasa representación en las clases de tamaño más pequeñas, especialmente de latizales bajos (panel A), estas estructuras poblacionales son ideales para el manejo a mediano y largo plazo, en la medida en que no sobrepase el límite permitido por la intensidad de corta.

AFISAP 2006 predice una recuperación relativamente baja de la densidad comercial durante el segundo ciclo de corta entre los años 40-80. ¿Por qué? De nuevo, aparece la explicación: la evaluación de los transectos encontró relativamente pocos fustes de <30 cm de diámetro en este POAF, que son claves para la recuperación de la población comercial durante el segundo ciclo de corta.

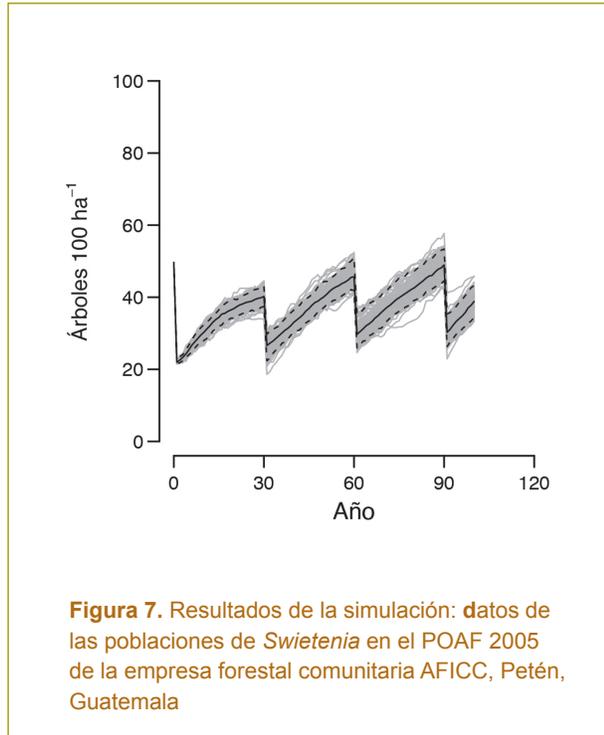
Las simulaciones modelo predicen una rápida recuperación y expansión de la densidad comercial durante los sucesivos ciclos de corta en los dos POAF de Carmelita. Esto sucede porque las densidades de árboles de futura cosecha, según los datos del

Cuadro 10. Densidad comercial promedio en poblaciones de *Swietenia* en el momento de los cuatro aprovechamientos (árboles por 100 ha)

Densidad de población	Promedio de 11 concesiones		Promedio de 10 concesiones*	
	2005 (EE)	2006 (EE)	2005 (EE)	2006 (EE)
Primer aprovechamiento	75 (8)	77 (11)	73 (9)	72 (11)
Segundo aprovechamiento	80 (13)	84 (12)	70 (8)	76 (10)
Tercer aprovechamiento	105 (29)	113 (31)	77 (9)	87 (17)
Cuarto aprovechamiento	105 (25)	117 (29)	81 (9)	95 (19)
Recuperación en relación con la densidad (%)				
Segundo aprovechamiento	109 (12)	116 (10)	101 (9)	116 (12)
Tercer aprovechamiento	146 (31)	150 (23)	120 (20)	137 (21)
Cuarto aprovechamiento	149 (29)	156 (22)	129 (22)	145 (21)

EE: error estándar

*se omitió Carmelita por las razones explicadas en el texto.



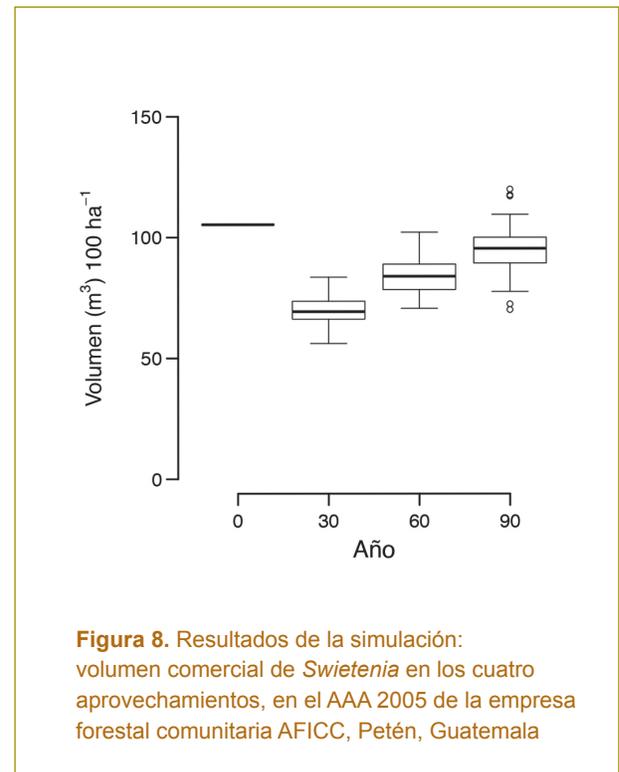
corta (69 m³ por 100 ha en AFICC 2005 después de 30 años); c) el volumen de cosecha medio simulado para la tercera cosecha después del segundo ciclo de corta (84 m³ por 100 ha en AFICC 2005 después de 60 años); d) el volumen de cosecha medio simulado para la cuarta cosecha después del tercer ciclo de corta (96 m³ por 100 ha en AFICC 2005 después de 90 años); e) la tasa de recuperación que cada cosecha simulada representada como porcentaje de la cosecha inicial observada (66, 80, 91% de la segunda, tercera y cuarta cosechas en comparación con la primera en AFICC 2005).

En general, las simulaciones modeladas a partir de los parámetros de manejo forestal aplicados en 2005/2006 y proyectados para los futuros aprovechamientos indican que las poblaciones de *Swietenia* en las concesiones recuperarán gradualmente el volumen comercial inicial durante los ciclos de corta entre cosechas sucesivas. En más de la mitad de los POAF 2005/2006 se evidencia una marcada disminución del volumen en la segunda cosecha, pero luego una

inventario, y los fustales y latizales calculados mediante la evaluación de los transectos, son muy altos en ambos años. En contraste, en Río Chanchich, donde los individuos de <30 cm de diámetro fueron escasos en ambos años, la densidad comercial tiende a caer con el tiempo. De nuevo, este es un resultado directo de los datos obtenidos en los transectos, los cuales indican que los brinzales, latizales y fustales de *Swietenia* son escasos en los POAF 2005/2006 de Río Chanchich. En esta concesión se encuentra el área más seriamente afectada por el huracán Richard en el 2010, lo cual posiblemente incide en los resultados.

Volumen comercial de *Swietenia* para las cuatro cosechas

Algunos de los resultados más interesantes de las simulaciones de producción de madera comercial rolliza (volumen en metros cúbicos por cien hectáreas), durante cuatro cosechas son los siguientes: a) el volumen cosechado durante el primer aprovechamiento en 2005/2006 (p.e. 105 m³ por 100 ha en AFICC 2005, Fig. 8); b) el volumen de cosecha medio simulado para la segunda cosecha después del primer ciclo de



recuperación gradual en las cosechas subsiguientes (p.e., AFICC 2005/2006). La producción promedio de madera rolliza de las poblaciones simuladas recuperó el 83 y 81% de la cosecha inicial durante la segunda cosecha; el 119 y 97% en la tercera cosecha y el 142 y 111% en la cuarta cosecha, en los POAF 2005/2006 respectivamente (Cuadro 11).

Como era de esperar, los patrones de producción simulada de madera en rollo se asemejan a la recuperación de la densidad comercial en términos generales; sin embargo, la interpretación de los patrones de recuperación del volumen son más complejos. La producción de madera rolliza en el futuro claramente depende del reclutamiento de árboles de futura cosecha y juveniles a tamaño comercial. Sin embargo, la principal razón por la cual la segunda cosecha fue, en la mayoría de los casos, menor que la primera fue que, en casi todos los POAF, la intensidad de corta real sobrepasó la definida mediante la fórmula sin el ajuste sobre el área basal 'no recuperable' (ver sección "Descripción de los parámetros de manejo más importantes", pag. 13). Esto significa que, a nivel de POAF, se extrajo un volumen comercial mayor al que el reclutamiento puede reemplazar durante el primer ciclo de corta. Si el aprovechamiento inicial en 2005/2006 hubiera sido cercano a la intensidad de corta calculada, la segunda cosecha después de un ciclo de corta habría sido similar al aprovechamiento inicial, y los aprovechamientos subsiguientes (tercero, cuarto) habrían sido mejores.

Otros factores contribuyeron a los resultados de la simulación del volumen. Tanto el grado en el cual los árboles comerciales dominan las poblaciones numéricamente (es decir, si la distribución de frecuencias por clase de tamaño se concentran en los árboles comerciales o de futura cosecha), como la intensidad con la que la población comercial inicial es aprovechada, influyen en la producción de madera rolliza a futuro. Por ejemplo, en AFISAP 2005, donde la intensidad de corta real fue básicamente igual a la calculada, una gran cantidad de juveniles y árboles de futura cosecha contribuyeron a aumentar el volumen productivo. A pesar de que se tenía una distribución de frecuencias por clase de tamaño similar entre árboles comerciales y de futura cosecha, una fuerte reducción en la segunda cosecha en AFISAP 2006 fue el resultado de una intensidad de corta demasiado alta durante el primer aprovechamiento. Recuérdese que para las cosechas subsiguientes, el modelo asume que se respeta la intensidad de corta calculada y no se aprueba la extracción de un volumen suplementario.

Intensidad de corta para *Swietenia* durante las cuatro cosechas

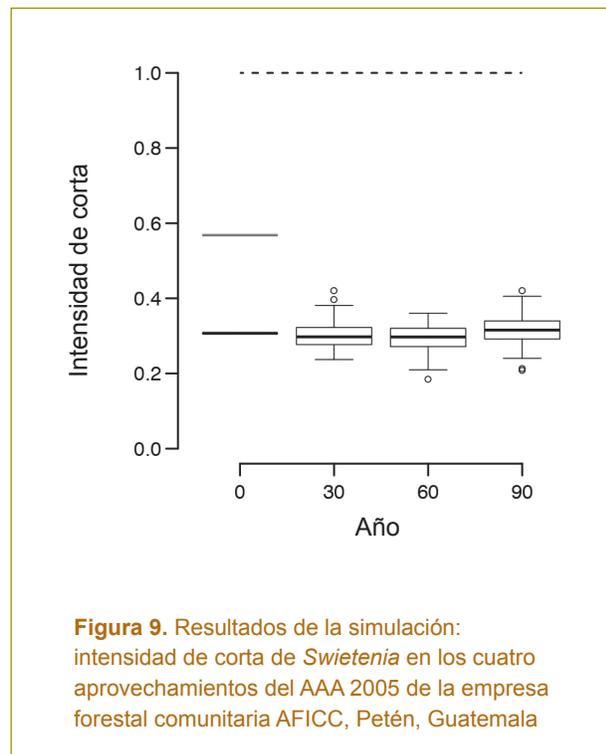
Los resultados de los cálculos del modelo para la intensidad de corta de *Swietenia* durante las cuatro cosechas, según los POAF 2005/2006 muestran un resultado interesante: la diferencia entre el valor calculado como porcentaje del área basal comercial durante cada aprovechamiento y el valor real u observado durante el primer aprovechamiento, según datos

Cuadro 11. Volumen comercial promedio de *Swietenia* (m³ por 100 ha) por POAF en el momento de los cuatro aprovechamientos

Volumen (m ³)	2005 (EE)	2006 (EE)
Primer aprovechamiento	220 (27)	231 (34)
Segundo aprovechamiento	171 (37)	183 (43)
Tercer aprovechamiento	214 (40)	237 (51)
Cuarto aprovechamiento	253 (60)	285 (73)
Recuperación en relación con volumen %		
Segundo aprovechamiento	83 (16)	81 (13)
Tercer aprovechamiento	119 (16)	97 (19)
Cuarto aprovechamiento	142 (26)	111 (23)

del censo. Por ejemplo, en AFICC 2005 (Fig. 9), la intensidad de corta calculada fue el 31% del área basal comercial representada por árboles de 60–90 cm de diámetro, mientras que la intensidad de corta real fue del 57%. Las intensidades de corta calculadas por el modelo para la segunda, tercera y cuarta cosecha en AFICC 2005 son muy parecidas a la meta del primer aprovechamiento (30, 30 y 32%, respectivamente).

Como se dijo en la sección “Descripción de los parámetros de manejo más importantes” (pag. 13), las intensidades de corta real en el aprovechamiento inicial excedieron la intensidad calculada en casi todos los POAF; en algunos casos, por márgenes de casi dos veces el valor calculado. En los POAF 2005/2006, el valor promedio calculado fue de 47 y 52%, respectivamente, mientras que el aprovechamiento real fue de 66 y 68%, respectivamente (Cuadro 12). En la mayoría de los POAF, tanto los árboles comerciales ‘pequeños’ (60–90 cm de diámetro) como los ‘grandes’ (>90 cm de diámetro) fueron aparentemente aprovechados a tasas más altas que los valores calculados durante la primera cosecha.



Cuadro 12. Intensidad promedio de corta de *Swietenia* como porcentaje del área basal en el momento de los cuatro aprovechamientos

	2005 (EE)	2006 (EE)
Aprovechamiento 1 calculado	47 (6)	52 (5)
Aprovechamiento 1 real	66 (6)	68 (4)
Aprovechamiento 2 calculado	40 (5)	40 (6)
Aprovechamiento 3 calculado	36 (3)	38 (3)
Aprovechamiento 4 calculado	40 (3)	38 (3)

EE: error estándar

‘Calculado’ representa la intensidad de corta “correcta”, obtenida mediante la ecuación presentada en la sección “Simulación de la dinámica poblacional y aprovechamiento de *Swietenia*” (pag. 25). La intensidad de corta ‘real’ en el aprovechamiento 1 representa el valor ajustado.

Si bien los valores calculados y reales eran cercanos en varios de los POAF (AFISAP 2005, Árbol Verde 2006, Carmelita 2005), solo en Uaxactún 2005/2006 el valor real fue significativamente más bajo que el calculado. Estas decisiones llevaron a simulaciones del volumen consistentes o incrementales en las cosechas subsiguientes de Uaxactún, y compensaron la baja densidad de juveniles en el POAF 2005.

Cedrela*, *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum

Estructuras de población según censos comerciales

A diferencia de *Swietenia*, *Cedrela* presenta muy bajas densidades en los POAF de las concesiones, con una correlación prácticamente nula entre los POAF 2005/2006. Esto evidencia una densidad variable o en parches en el paisaje de la ZUM, donde *Cedrela* aparece en terrenos rocosos y empinados. Entre los POAF 2005/2006, la densidad promedio de árboles de *Cedrela* >30 cm de diámetro fue de 15 árboles por 100 ha (rango: 0–79; Cuadro 13). La densidad promedio de árboles de tamaño comercial >60 cm de diámetro fue de cinco árboles por 100 ha (rango: 0–22); el DMC fue de 55 cm en AFICC y Carmelita. La densidad promedio

de árboles >90 cm de diámetro fue de solo un árbol por 100 ha (rango: 0–4). De nuevo, esto no quiere decir que *Cedrela* no alcance diámetros grandes en la ZUM, sino que el terreno bajo y relativamente plano que prevalece en el ‘área efectiva’ de la mayoría de los POAF 2005/2006 no es favorable para el establecimiento y crecimiento de *Cedrela*.

A pesar de que la especie muestra bajas densidades en la mayoría de los POAF, en Árbol Verde 2006, La Gloria 2006 y Uaxactún 2005 se encontraron poblaciones relativamente densas dominadas por árboles de futura cosecha. Estas estructuras poblacionales anticipan una recuperación comercial robusta durante el ciclo de corta de 25 a 40 años, antes de la segunda cosecha.

Lonchocarpus mostró densidades más altas que las de *Cedrela* pero más bajas que las de *Swietenia*. La variabilidad de la densidad a escala de paisaje fue alta. En los POAF 2005/2006, la densidad promedio de árboles de *Lonchocarpus* >30 cm de diámetro fue de 39 árboles por 100 ha (rango: 7–200; Cuadro 13). La densidad promedio de árboles >60 cm de diámetro fue de siete árboles por 100 ha (rango: 1–29); el DMC para *Lonchocarpus* varió entre 45–60 cm entre concesiones (Cuadro 5). En los POAF, se encontraron muy pocos árboles de *Lonchocarpus* con un diámetro >90 cm (rango: 0–2 por 100 ha); esto confirma que se trata de una especie maderable de porte medio, en términos de diámetro del fuste en la ZUM.

Bucida mostró densidades similares a las *Lonchocarpus*. En los POAF 2005/2006, la densidad promedio de árboles de *Bucida* >30 cm de diámetro fue de 30 árboles por 100 ha (rango: 0–101; Cuadro 13). La densidad promedio de árboles >60 cm de diámetro fue de 17 árboles por 100 ha (rango: 0–71); al igual que para *Lonchocarpus*, el DMC para *Bucida* varió entre 45–60 cm entre concesiones (Cuadro 5). Como en *Cedrela*, la densidad promedio de los árboles grandes de *Bucida* de >90 cm de diámetro fue de un árbol por 100 ha (rango: 0–5).

Calophyllum mostró densidades de un cuarto a un medio de la densidad de *Swietenia*. En los POAF 2005/2006, la densidad promedio de árboles de *Calophyllum* con >30 cm de diámetro fue de 87 árboles por 100 ha (rango: 0–549; Cuadro 13). La densidad promedio de árboles >60 cm de diámetro fue de 14 árboles por 100 ha (rango: 0–73); de nuevo, el DMC para *Calophyllum* varió entre 45–60 cm entre concesiones (Cuadro 5). Al igual que *Lonchocarpus*, en los POAF se encontraron muy pocos árboles de *Calophyllum* >90 cm de diámetro (rango: 0–1 por 100 ha; esto confirma que se trata de una especie maderable de porte medio, en términos de diámetro del fuste en la ZUM.

Estructuras de población según la evaluación de transectos

Al igual que las clases de >30 cm de diámetro, las densidades estimadas de brinzales, latizales y fustales fueron muy bajas en las concesiones de la RBM.

Cuadro 13. Datos de inventario de *Cedrela* y tres especies menos conocidas en 11 POAF: densidad promedio (individuos por 100 ha) de árboles de futura cosecha, comerciales y comerciales grandes

Tamaño fuste	<i>Cedrela</i>		<i>Lonchocarpus</i>		<i>Bucida</i>		<i>Calophyllum</i>	
	2005 (EE)	2006 (EE)	2005 (EE)	2006 (EE)	2005 (EE)	2006 (EE)	2005 (EE)	2006 (EE)
Total inventariado (> 30 cm)	12 (4)	18 (7)	32 (7)	45 (16)	33 (9)	28 (10)	55 (28)	119 (49)
Total comercial (> 60 cm)	5 (2)	5 (2)	7 (2)	7 (2)	22 (7)	12 (5)	6 (2)	23 (7)
Comercial grande (> 90 cm)	1 (0)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	2 (1)	1 (0)	0 (0)	0 (0)
Futura cosecha (30–60 cm)	7 (2)	13 (6)	25 (6)	38 (15)	10 (3)	16 (7)	49 (26)	97 (44)
Comercial pequeño (60–90 cm)	4 (1)	4 (2)	6 (2)	7 (2)	21 (7)	11 (5)	6 (2)	22 (7)

EE: error estándar

Nótese que el DMC para las tres especies menos conocidas es, generalmente, <60 cm diámetro (ver Cuadro 5).

En 14 de los 22 POAF 2005/2006 no se encontraron brinzales ni latizales, ni en siete de los once POAF 2015. La densidad promedio estimada en los POAF 2005/2006 aprovechados fue de 38 brinzales y 36 latizales bajos por 100 ha (Cuadro 14); con estas densidades, prácticamente no hay regeneración de *Cedrela* en el paisaje evaluado. A diferencia de *Swietenia*, no hay evidencia de respuesta postcosecha, aunque la densidad promedio de latizales bajos en los POAF 2015 fue de aproximadamente un tercio de la densidad en los POAF 2005/2006 (Cuadro 14). La densidad de brinzales y latizales fue más alta en dos POAF con densidad comercial y de futura cosecha relativamente alta (Árbol Verde 2006 y La Gloria 2006); esto demuestra la importancia de las fuentes de semilla para el establecimiento de la regeneración.

De nuevo, las densidades estimadas fueron muy variables de un POAF a otro y de un año a otro. Una densidad excepcionalmente alta de brinzales de las dos especies indica que los brinzales se establecen y mueren en muy alta proporción, o que se establecen y persisten a la sombra, con muy poca probabilidad de crecer y alcanzar la madurez. Aunque relativamente pocos brinzales y latizales de *Lonchocarpus* llegan a fustales, sí se encontraron densidades bastante altas de fustales de *Calophyllum*, con un promedio de 327

por 100 ha en los POAF 2005/2006. Esta población fustal debiera ser tratada mediante intervenciones silviculturales para garantizar las cosechas después de dos o más ciclos de corta.

Bucida presenta un escenario de juveniles intermedio entre la escasez de *Cedrela* y la superabundancia de *Lonchocarpus* y *Calophyllum*. La información de los transectos indica que la regeneración se establece en forma constante pero en parches, y que los brinzales persisten hasta alcanzar el tamaño de fustal. Es decir que las clases de latizal alto y fustal presentan densidades relativamente altas, en comparación con la densidad de brinzales.

Modelación de poblaciones bajo los parámetros actuales de manejo forestal en la ZUM-RBM

La modelación combina la densidad estimada de fustes <30 cm de diámetro, con la densidad observada de fustes >30 cm de diámetro (o estimadas con base en datos del plan quinquenal). Estas son las poblaciones que el modelo para especies menos conocidas cosecha en el año cero, de acuerdo con lo que realmente ocurrió en el campo en el 2005 y 2006 (las barras gris claro representan los árboles aprovechados). Las

Cuadro 14. Datos de los transectos de *Cedrela* y tres especies menos conocidas: densidad promedio (tallos por 100 ha) por categoría de tamaño

Tamaño tallo	<i>Cedrela</i>			<i>Lonchocarpus</i>		
	2005 (EE)	2006 (EE)	2015 (EE)	2005 (EE)	2006 (EE)	2015 (EE)
Brinzales (<150 cm altura)	45 (27)	31 (17)	39 (21)	2295 (745)	4843 (1221)	3430 (1183)
Latizales bajos (<5 cm diámetro)	35 (20)	36 (25)	11 (11)	247 (92)	934 (361)	471 (215)
Latizales altos (5-10 cm diámetro)	1 (1)	16 (10)	0 (0)	7 (6)	22 (10)	8 (4)
Fustales (10-30 cm diámetro)	7 (5)	9 (4)	8 (4)	30 (11)	38 (13)	53 (17)
	<i>Bucida</i>			<i>Calophyllum</i>		
	2005 (EE)	2006 (EE)	2015 (EE)	2005 (EE)	2006 (EE)	2015 (EE)
Brinzales (<150 cm altura)	611 (306)	598 (257)	412 (240)	13676 (5435)	21031 (9854)	7357 (4389)
Latizales bajos (<5 cm diámetro)	88 (73)	170 (97)	172 (86)	680 (218)	1224 (416)	573 (286)
Latizales altos (5-10 cm diámetro)	8 (4)	15 (8)	66 (37)	53 (17)	106 (57)	39 (13)
Fustales (10-30 cm diámetro)	86 (36)	43 (25)	267 (131)	242 (71)	413 (200)	152 (77)

EE: error estándar

poblaciones ‘crecen’ durante el primer ciclo de corta de 25-40 años y luego ‘se cosechan’ una segunda vez. Los parámetros de manejo forestal incorporados a las simulaciones del modelo incluyen el DMC (Cuadro 5) y la intensidad de corta.

Densidad comercial durante un ciclo de corta

La simulación de las poblaciones de *Cedrela*, *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum* a partir de los POAF 2005/2006 permite apreciar: a) la densidad comercial inicial (p.e. seis árboles comerciales de *Cedrela* por 100 ha en AFICC 2005). b) El impacto de la primera cosecha en la densidad comercial (dos árboles comerciales de *Cedrela* por 100 ha postcosecha en AFICC 2005, Fig. 10). c) La recuperación de la densidad comercial durante el primer ciclo de corta hasta el momento de la segunda cosecha (valor medio de ~ 6 árboles comerciales de *Cedrela* por 100 ha antes de la segunda cosecha en AFICC 2005).

En general, las simulaciones modeladas a partir de los parámetros de manejo forestal aplicados en 2005/2006 indican que las poblaciones de *Cedrela* en las concesiones recuperarán la densidad comercial inicial durante el ciclo de corta entre la primera y segunda cosechas. La densidad comercial promedio de las poblaciones simuladas se recuperó en un 106% y 140% de la densidad comercial inicial para el momento de la segunda cosecha, con respecto de los POAF 2005/2006, con una variación relativamente baja en la tasa de recuperación entre los POAF (Cuadro 15).

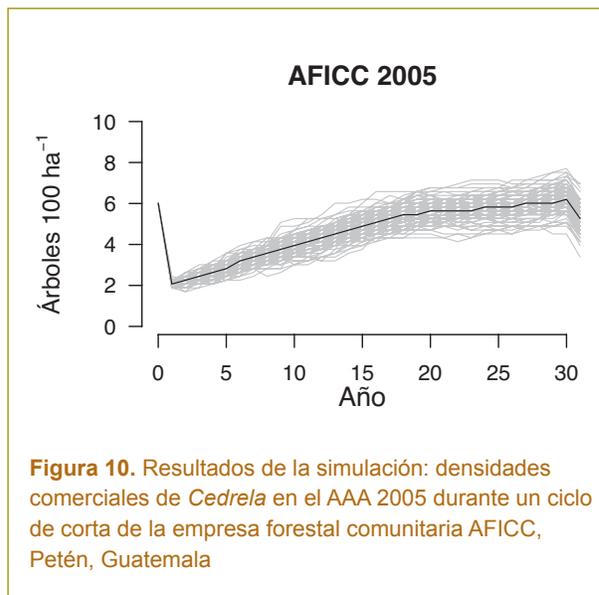


Figura 10. Resultados de la simulación: densidades comerciales de *Cedrela* en el AAA 2005 durante un ciclo de corta de la empresa forestal comunitaria AFICC, Petén, Guatemala

Este resultado se puede interpretar a la luz de la estructura poblacional de 30–60 cm de diámetro: las poblaciones de *Cedrela* muestran, en forma consistente, densidades relativamente altas de árboles de futura cosecha; en algunos casos, estos ocurren en densidades muy altas. El crecimiento de estos árboles de futura cosecha es el que guía la recuperación de la densidad comercial.

La recuperación simulada de la densidad comercial entre aprovechamientos de *Lonchocarpus* fue más vigorosa que la de *Cedrela*, con promedios de 208%

Cuadro 15. Densidad comercial promedio en poblaciones de *Cedrela* y tres especies menos conocidas en el momento de los dos aprovechamientos (árboles por 100 ha)

	<i>Cedrela</i>		<i>Lonchocarpus</i>		<i>Bucida</i>		<i>Calophyllum</i>	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Aprov. 1	4,7 (1,5)	5,4 (1,7)	14,4 (3,6)	15,4 (4,2)	34,2 (8,3)	31,6 (11,2)	22,1 (8,2)	25,4 (6,9)
Aprov. 2	5,2 (2,0)	7,7 (2,3)	21,1 (6,1)	25,1 (6,6)	44,8 (24,0)	34,9 (15,0)	26,6 (7,3)	27,5 (7,3)
Recuperación promedio (%)	106 (7)	140 (20)	208 (100)	234 (74)	113 (35)	97% (28)	189 (41)	135 (24)
Recuperación prom. ajust. (%)	--	--	107 (14)	128 (25)	56 (4)	50 (17)	156 (26)	104 (18)

Recuperación (%): porcentaje de recuperación de la densidad producida en comparación con el primer aprovechamiento
Recuperación ajust. (%): tasas de recuperación ajustadas, en las que se omiten los datos del inventario del plan quinquenal.
Error estándar entre paréntesis

y 234% de la densidad de la primera cosecha al momento de la segunda cosecha, con respecto de los POAF 2005/2006 (Cuadro 15). Sin embargo, estos promedios pueden ser artificialmente altos debido a que, para generar los árboles de futura cosecha faltantes en las poblaciones de siete POAF, se utilizaron datos del inventario del plan quinquenal (Cuadro 3): en cinco de ellos, los datos del plan quinquenal crearon estructuras poblacionales extremadamente sesgadas hacia los árboles de futura cosecha, lo que implica una rápida recuperación de la densidad comercial. Si se excluyen estos siete POAF, la recuperación de la densidad comercial simulada para *Lonchocarpus* al momento del segundo aprovechamiento, fue de 107% y 128% de la densidad comercial inicial en los POAF 2005/2006; o sea, casi idéntica a *Cedrela* (con la salvedad de que las poblaciones de futura cosecha de *Cedrela* eran reales en todos los POAF y no estimadas a partir de los planes quinquenales).

De las cuatro especies menos conocidas, *Bucida* tuvo la densidad comercial más alta pero, también la ocurrencia espacial más irregular, ya que estuvo ausente –o casi ausente– en seis de los 22 POAF (Cuadro 3). Donde esto sucedió, la recuperación al momento de la segunda cosecha era de 113% y 97% con respecto a la densidad de la primera cosecha en los POAF 2005/2006. De nuevo, estos promedios fueron influenciados muy fuertemente por los datos del plan quinquenal; si no se toman en cuenta las poblaciones de ocho POAF cuyas densidades de futura cosecha fueron extrapoladas a partir de estos datos, la recuperación promedio de la densidad comercial entre POAF se reduciría a 56% y 50% en los POAF 2005/2006, respectivamente.

Calophyllum mostró un patrón similar: la recuperación de la densidad comercial entre aprovechamientos fue, en promedio, de 189% y 135% en los POAF 2005/2006, respectivamente (Cuadro 15), pero los datos del plan quinquenal en seis POAF sesgan estos resultados. Si se excluyeran esos POAF, los valores de recuperación de la densidad comercial serían de 156% y 104% de la densidad inicial, al momento de la segunda cosecha.

Volumen comercial de dos aprovechamientos

Los resultados de las simulaciones de producción de madera comercial rolliza (volumen en metros cúbicos por cien hectáreas) para dos aprovechamientos de *Cedrela*, *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum* en los POAF 2005/2006 se muestran en el Cuadro 16). Ambos muestran resultados interesantes: a) el volumen real cosechado en el primer aprovechamiento (p.e. 11 m³ de *Cedrela* por 100 ha en AFICC 2005 (Fig. 11). b) El volumen de cosecha media simulado al momento del segundo aprovechamiento (para *Cedrela*, ~3 m³ por 100 ha en AFICC 2005 después de 30 años). c) La tasa de recuperación para cada cosecha simulada se representa como porcentaje del aprovechamiento real inicial (para *Cedrela*, 33% de la segunda cosecha en comparación con la primera en AFICC 2005).

En general, las simulaciones modeladas a partir de los parámetros de manejo forestal aplicados en 2005/2006 y proyectados para la segunda cosecha, indican que la mayoría de las poblaciones de *Cedrela* en las concesiones se reducirán rápidamente, en términos del volumen comercial, entre aprovechamientos sucesivos (14% y 46% de recuperación como porcentaje de la primera cosecha en los POAF 2005/2006, respectivamente; Cuadro 16).

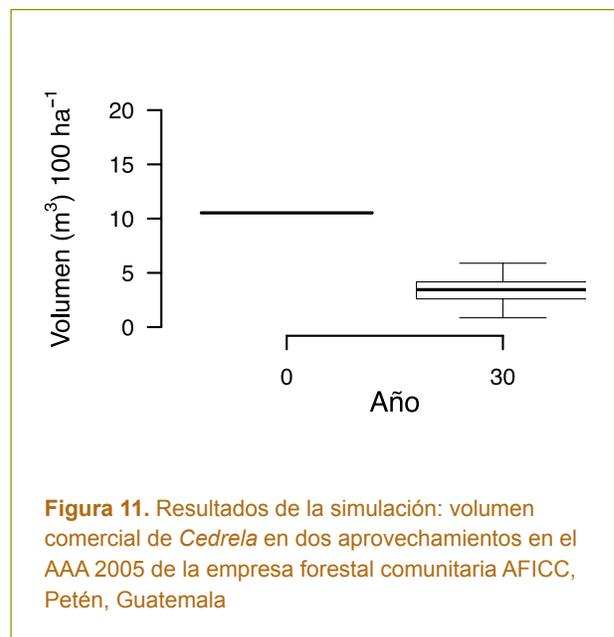


Figura 11. Resultados de la simulación: volumen comercial de *Cedrela* en dos aprovechamientos en el AAA 2005 de la empresa forestal comunitaria AFICC, Petén, Guatemala

Las simulaciones para *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum* arrojan resultados similares: a pesar de la fuerte recuperación en los tamaños comerciales durante el primer ciclo de corta, es de esperar que el volumen de madera se reduzca en la mayoría de los POAF después de un ciclo de corta. Para *Lonchocarpus*, la tasa porcentual de recuperación promedio para la segunda cosecha sería del 86 y 84% de la primera cosecha según POAF 2005/2006. Estas tasas de recuperación promedio son altas debido al aprovechamiento extremadamente favorable en un pequeño número de POAF: en general, la producción promedio se reduce de 18,9 m³ por 100 ha en la primera cosecha 2005 a 10,6 m³ por 100 ha en la segunda cosecha, lo que representa un 56% del promedio de la primera cosecha (Cuadro 16). Los valores respectivos para los POAF del 2006 fueron 23,9/15,9/66%. Para *Bucida*, la tasa porcentual de recuperación promedio para la segunda cosecha sería del 49 y 46% de la primera cosecha según POAF 2005/2006. Los valores correspondientes para *Calophyllum* serían del 112 y 56%.

Los resultados para las poblaciones de especies basadas en datos del plan quinquenal pueden haber incrementado artificialmente las tasas de recuperación. Las tasas porcentuales de recuperación promedio para la producción de madera fueron, en promedio, más bajas después de la eliminación de estas poblaciones, especialmente para *Bucida* (Cuadro 16).

Intensidad de corta para dos cosechas

Según los resultados, se observa: a) el valor calculado como porcentaje del área basal comercial durante cada aprovechamiento; b) el valor real observado durante el primer aprovechamiento derivado de los datos del inventario. Por ejemplo, para *Cedrela* en AFICC 2005, la IC calculada fue del 51% del área basal comercial, mientras que la IC real fue de 76%. Para la segunda cosecha en AFICC 2005, el modelo calcula una IC del 11% para *Cedrela* (Cuadro 17).

La intensidad de corta calculada en la primera cosecha de *Cedrela* correspondió al 47 y 54% del área basal comercial en los POAF 2005/2006, pero la intensidad de corta real fue del 67 y 57%; o sea que hubo un aumento medio ajustado del 43 y 6% (Cuadro 17). La intensidad de corta real excedió a la intensidad de corta calculada en 16 de los 20 POAF en donde *Cedrela* fue aprovechada en esos dos años. Aparentemente, la intensidad de corta real excedió el 80% (umbral 80%) en tres de los 20 POAF. El modelo calculó la IC promedio en forma mucho más baja para la segunda cosecha, con promedios de 13 y 36% en los POAF 2005/2006.

La intensidad de corta calculada en la primera cosecha de *Lonchocarpus* correspondió al 65 y 73% del área basal comercial en los POAF 2005/2006, pero la intensidad de corta real fue del 76 y 83%; o sea que hubo un aumento medio ajustado del 17 y 14%

Cuadro 16. Volumen comercial promedio (m³ por 100 ha) de *Cedrela* y tres especies menos conocidas, en el momento de los dos aprovechamientos

	<i>Cedrela</i>		<i>Lonchocarpus</i>		<i>Bucida</i>		<i>Calophyllum</i>	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Aprov. 1	12,1 (3,2)	16,5 (6,3)	18,9 (4,2)	23,9 (8,2)	70,0 (19,8)	62,3 (21,6)	39,6 (16,2)	47,3 (15,2)
Aprov. 2	2,0 (0,8)	8,5 (3,6)	10,6 (2,6)	15,7 (6,1)	44,9 (26,3)	40,0 (22,0)	31,9 (9,8)	29,4 (10,3)
Recuperación promedio (%)	14 (3)	46 (15)	86 (26)	84 (19)	49 (20)	46 (13)	112 (33)	56 (12)
Recuperación prom. ajust. (%)	--	--	79 (30)	81 (28)	24 (7)	26 (10)	83 (21)	50 (16)

Recuperación (%): porcentaje de recuperación del volumen producido en comparación con el primer aprovechamiento

Recuperación ajust. (%): tasas de recuperación ajustadas, en las que se omiten los datos del inventario del plan quinquenal.

Error estándar entre paréntesis

(Cuadro 17). La intensidad de corta real excedió a la intensidad de corta calculada en 16 de los 21 POAF en donde *Lonchocarpus* fue aprovechada en esos dos años; aparentemente, la intensidad de corta real excedió el 85%⁵ en 5 de los 21 POAF. El modelo calculó la intensidad de corta promedio en forma mucho más baja para la segunda cosecha, con promedios de 44 y 53% en los POAF 2005/2006.

La intensidad de corta calculada en la primera cosecha de *Bucida* correspondió al 53 y 56% del área basal comercial en los POAF 2005/2006, pero la intensidad de corta real fue del 80 y 78%; o sea que hubo un aumento medio ajustado del 53 y 39% (Cuadro 17). La intensidad de corta real excedió a la intensidad de corta calculada en 13 de los 15 POAF en donde *Bucida* fue aprovechada en esos dos años; aparentemente, la IC real excedió el 85% en 4 de los 15 POAF. El modelo calculó la intensidad de corta promedio en forma mucho más baja para la segunda cosecha en el POAF 2005 (48%), pero mayor en el POAF 2006 (63%).

La intensidad de corta calculada en la primera cosecha de *Calophyllum* correspondió al 70 y 62% del área

basal comercial en los POAF 2005/2006, pero la IC real fue del 82 y 86%; o sea que hubo un aumento medio ajustado del 17 y 39% (Cuadro 17). La intensidad de corta real excedió a la intensidad de corta calculada en 17 de los 19 POAF en donde *Calophyllum* fue aprovechada en esos dos años; aparentemente, la IC real excedió el 85% en 4 de los 19 POAF. La intensidad de corta promedio calculada por el modelo fue idéntica para la primera y segunda cosechas.

Las intensidades de corta calculadas para *Lonchocarpus* y *Calophyllum* fueron altas en comparación con *Swietenia* y *Cedrela*⁶; la de *Bucida*, por otra parte, mostró un valor intermedio entre ambas categorías. Esto se debe a que la densidad de futura cosecha de *Lonchocarpus* y *Calophyllum* tiende a ser mayor en relación con la densidad comercial, en no poca medida porque se trata de especies de porte mediano, en comparación con *Swietenia* y *Cedrela* (de nuevo, con *Bucida* en una posición intermedia entre ambas categorías). Si los tamaños de futura cosecha son abundantes en comparación con los tamaños comerciales, la intensidad de corta calculada también será alta.

Cuadro 17. Intensidad promedio de corta (%) para *Cedrela* y tres especies menos conocidas, como porcentaje del área basal en el momento de los dos aprovechamientos

	<i>Cedrela</i>		<i>Lonchocarpus</i>		<i>Bucida</i>		<i>Calophyllum</i>	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Aprovechamiento 1 calculado	47 (5)	54 (8)	65 (7)	73 (7)	53 (11)	56 (9)	70 (5)	62 (9)
Aprovechamiento 1 real	67 (7)	57 (10)	76 (5)	83 (3)	80 (6)	78 (5)	82 (3)	86 (3)
% de exceso	43	6	17	14	53	39	17	39
Aprovechamiento 2 calculado	13 (3)	36 (10)	44 (11)	53 (10)	48 (11)	63 (8)	70 (9)	62 (10)

'Calculado' representa la intensidad de corta "correcta", obtenida mediante la ecuación presentada en la sección "Simulación de la dinámica poblacional y aprovechamiento de *Swietenia*" (pag. 25). La intensidad de corta 'real' en el aprovechamiento 1 representa el valor ajustado de la intensidad de corta. Exceso (%): porcentaje promedio ajustado
Error estándar entre paréntesis

⁵ Hasta el año 2012, el umbral para especies distintas a *Cedrela* y *Swietenia* era del 85%; para estas especies era de 80%.

⁶ IDEM



Discusión

4

En este estudio nos enfocamos en la pregunta: ¿Son sostenibles las prácticas de manejo forestal actuales en la RBM? Como dijimos, por 'sostenible' entendemos el rendimiento sostenido de madera durante múltiples cosechas para las cinco especies maderables que actualmente generan la mayor parte de los ingresos de las concesiones forestales en esta región. Hemos usado el mejor conocimiento empírico disponible para responder a la pregunta planteada por medio de modelos basados en la historia de vida para simular las dinámicas de población de estructuras poblacionales observadas y estimadas en los POAF del 2005 y 2006 en las once concesiones, las cuales representan la mayor parte de los bosques productivos en la ZUM-RBM. En general, los resultados simulados indican que las prácticas de manejo son apropiadas para las estructuras y dinámicas de población de las especies evaluadas. A continuación analizaremos en mayor detalle los matices e implicaciones de estos hallazgos, las cuestiones a considerar para el futuro del manejo forestal de la RBM y ciertos límites del enfoque empleado.

Swietenia

Este informe se enfoca en los resultados para *Swietenia* porque, al igual que en todos los lugares donde la especie está presente, en los bosques de la ZUM esta especie genera la mayor parte de los ingresos, en comparación con todas las demás especies maderables combinadas. En gran medida, el futuro de la gestión de los bosques naturales en este paisaje depende de la sostenibilidad de las cosechas de caoba.

Los resultados simulados para las poblaciones de *Swietenia* a partir de los POAF en la ZUM, por medio del modelo R y otro modelo más simple basado en especies menos conocidas, mostraron una estrecha concordancia para un ciclo de corta y dos cosechas. Si bien estas simulaciones ofrecen un rango de resultados a futuro, tanto positivos como negativos, en la mayoría de los casos, el manejo forestal actual parece ser sostenible a largo plazo. Este es un resultado realmente extraordinario, si se considera la historia de aprovechamiento de la caoba en Centro y Suramérica, donde se la ha tratado como un recurso no renovable, adecuado para el aprovechamiento en pequeña escala y el aprovechamiento industrial hasta que sus poblaciones se acerquen al punto de extinción comercial.

Los resultados positivos en la RBM se deben a dos fuentes principales: densidades y estructuras de población extremadamente favorables a lo largo de la mayoría del paisaje de la ZUM (secciones "Estructuras de población según censos comerciales" y "Estructuras de población según la evaluación de transectos", pag. 28), y un método para calcular la intensidad de corta basado en la realidad biológica y no en las exigencias financieras a corto plazo. Si bien con algunas excepciones, la estructura de las poblaciones de *Swietenia* en esta región se inclina generalmente hacia los tamaños juveniles y de futura cosecha (<30 cm de diámetro), lo que significa que las poblaciones comerciales futuras están ya en el bosque en el momento del primer aprovechamiento. Basar la intensidad de corta permitida en el crecimiento esperado y el reclutamiento en las poblaciones inventariadas de árboles de

futura cosecha es, no solamente intuitivamente obvio, sino excepcionalmente raro en el mundo de manejo forestal tropical.

Para entender qué tan extraordinario es el caso del manejo forestal guatemalteco de *Swietenia*, nos permitiremos considerar brevemente cómo funciona en Brasil, donde ocurrieron originalmente la gran mayoría de poblaciones de caoba en bosque natural (Grogan *et ál.* 2010). Ahí, los parámetros de manejo forestal incluyen: un DMC de 60 cm —o sea, igual que en la mayoría de concesiones de la ZUM—; una tasa de retención mínima del 20% de los árboles de tamaño comercial; una densidad de retención mínima de cinco árboles de tamaño comercial por 100 ha y ciclos de corta de 25 a 30 años. Bajo estas reglas, las poblaciones de *Swietenia* en Brasil no han podido recuperar su densidad inicial durante los ciclos

de corta entre cosechas, y la producción de árboles maderables en los futuros aprovechamientos caen precipitadamente (Fig. 12; Grogan *et ál.* (2014, Fig. 4)). De hecho, cuando las poblaciones de caoba brasileñas se aprovechan repetidamente al 80% de la intensidad, solo la regla de densidad de retención mínima de cinco árboles de tamaño comercial por 100 ha previene su extinción comercial total. Parte del problema en Brasil es que las estructuras de población tienden a concentrarse en los tamaños comerciales, a diferencia de las poblaciones en la ZUM-RBM; esto significa que el reclutamiento de árboles de futura cosecha es relativamente lento porque hay menos unidades disponibles para reemplazar los árboles cosechados. Sin embargo, el problema se debe, más que todo, a que se emplea una regla genérica para definir la intensidad de corta, la cual no tiene ninguna relación con la realidad biológica.

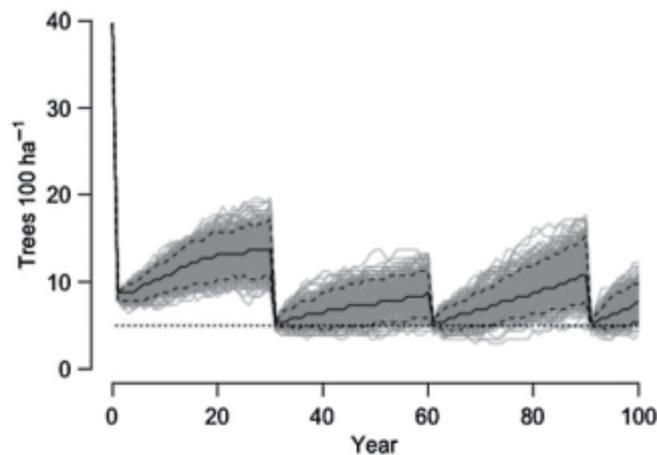


Fig. 4. Simulaciones de la dinámica de población de caoba en el sureste de Pará, Brasil, a partir de las regulaciones del aprovechamiento vigentes: DMC 60 cm; tasa mínima de retención de árboles comerciales, 20%; densidad de población comercial post-aprovechamiento, cinco árboles por 100 ha; ciclo de corta de (25 a) 30 años. En el año 0 se contabilizaron 39,7 árboles de tamaño comercial por 100 ha. Las líneas grises señalan las 500 simulaciones, la línea sólida negra indica el valor medio, las líneas discontinuas indican los percentiles 5 y 95, y la línea horizontal de puntos indica la densidad comercial post-aprovechamiento mínima. La densidad poblacional media recuperada en los años 30, 60 y 90, antes del aprovechamiento fue de 13,7; 8,8 y 11,3 árboles 100 ha⁻¹.

Figura 12. Recuperación en una población simulada de *Swietenia* después del aprovechamiento en ciclos de corta de 30 años en Brasil bajo parámetros de manejo forestal. Ver en la leyenda la explicación completa

Fuente: Tomado de Grogan *et ál.* (2014)

La información acerca de los brinzales, latizales y fustales, proveniente de transectos establecidos en poblaciones de *Swietenia* proporciona abundante apoyo a futuros escenarios de aprovechamiento. Los datos de los transectos en los POAF 2005/2006 presentan, en promedio, mayores densidades de individuos juveniles que los POAF del 2015 en poblaciones ‘naturales’ o ‘no perturbadas’. Esto significa que la mayor parte de la regeneración encontrada y registrada en los POAF aprovechados es el resultado de la cosecha, o de antes, porque al remover los árboles comerciales se reduce la disponibilidad de semillas en los años siguientes. Las densidades comparativamente más altas en bosque aprovechado desaparecen en las clases de mayor tamaño (fustales >10 cm de diámetro o más) porque estos individuos se originaron antes de las cosechas del 2005 y 2006. Esto implica que, primero, el aprovechamiento forestal aparentemente estimula una mayor densidad de la regeneración de caoba porque la cosecha abre espacios entre las copas de los árboles y también a nivel del suelo, lo que impulsa el establecimiento de brinzales y el crecimiento temprano. Segundo, tal densidad de brinzales y latizales puede ser tratada con prácticas silviculturales apropiadas para acelerar la tasa de crecimiento, si la industria forestal o las comunidades decidieran invertir en estas prácticas.

Cedrela + tres especies maderables menos conocidas

Los resultados simulados para *Cedrela*, *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum* variaron significativamente y fueron generalmente positivos en términos de recuperación de densidad comercial durante el primer ciclo de corta, pero menos optimistas en cuanto a la producción de madera para la segunda cosecha (ver explicación detallada en la siguiente sección). Estas cuatro especies, especialmente *Cedrela*, presentan densidades comerciales bajas; además, presentan distribuciones en parches, especialmente *Bucida*, posiblemente debido a la necesidad de un hábitat o requerimientos de sitio particulares para el establecimiento, crecimiento y reclutamiento de los brinzales. Junto con su menor valor económico, estas cuestiones constituyen un reto para que la gestión forestal cuantifique adecuadamente sus estructuras poblacionales

y los ritmos demográficos vitales (crecimiento anual, mortalidad, producción de semillas, etc.), lo que al final constituye el producto del futuro.

La información del inventario del plan a cinco años demostró ser muy inadecuada para simular la respuesta de las poblaciones al aprovechamiento. La mayoría de las poblaciones que solo contaban con la información del plan quinquenal para árboles de futura cosecha mostraron una recuperación explosiva de la densidad comercial durante un único ciclo de corta; esto hace pensar que esta información, si bien puede ser aplicable en ciertos casos, es inadecuada para propósitos de simulación. Los inventarios al 100% del área para árboles de futura cosecha y comerciales han probado repetidamente ser adecuados, en términos de costos, en el manejo forestal tropical.

Implicaciones de las prácticas de manejo actual en la ZUM-RBM

Intensidad de corta

La tasa de recuperación de las especies maderables comerciales después de una o más cosechas depende, en gran medida, de la intensidad de corta y de los supuestos en los que se sustenta. Según la normativa guatemalteca, en las concesiones de la ZUM, la intensidad de corta para las cinco especies consideradas en este estudio depende fuertemente de la velocidad de reclutamiento de los árboles de futura cosecha a clases de tamaño comercial. Esta práctica extraordinariamente rigurosa debería garantizar rendimientos sostenidos de madera a través de múltiples cosechas. Sin embargo, se deben resolver dos cuestiones para mantener las tasas de aprovechamiento en equilibrio con la dinámica de población de estas especies. Primero, la fórmula para calcular la intensidad de corta debe representar las tasas de crecimiento y mortalidad de los árboles de futura cosecha de cada especie de la manera más exacta posible. Segundo, suponiendo que los cálculos de la intensidad de corta se aproximan a la realidad relativamente bien, quienes manejan los bosques, junto con el CONAP, deben limitar las cosechas a niveles recuperables durante ciclos de corta sucesivos; esto quiere decir que la intensidad de corta real debe ser igual a los valores calculados con la fórmula.

La intensidad de corta para las cinco especies se calcula actualmente a partir de una misma tasa de crecimiento diamétrico promedio ($0,4 \text{ cm año}^{-1}$) para árboles de todos los tamaños en cada POAF. Si la fórmula actual es la mejor solución a un problema muy complejo, sigue siendo un asunto por resolver. Solo por mencionar algunas variables, la tasa de crecimiento diamétrico de una especie dada puede variar fuertemente con el tamaño del tallo (diámetro), la historia reciente de crecimiento, el grado de cobertura de lianas en la copa, el estado de la copa y la historia reciente de fructificación (Grogan y Landis 2009). Además, es claro que las tasas de crecimiento diamétrico en las poblaciones de una especie pueden variar a nivel local y regional. Adicionalmente, la fórmula no toma en cuenta la mortalidad, la cual inevitablemente ralentiza el reclutamiento de árboles de futura cosecha durante décadas.

El modelo *Swietenia* usado en este estudio hizo crecer árboles de futura cosecha a un ritmo promedio de $0,66 \text{ cm año}^{-1}$, un poco más rápido que la información recolectada en las parcelas permanentes de la ZUM ($0,60 \text{ cm año}^{-1}$) (Fig. 5). Si, en promedio, los árboles crecen más rápido de lo que la fórmula de intensidad de corta asume ($0,4 \text{ cm año}^{-1}$) –en el caso de la caoba, aproximadamente un 50% más rápido– entonces el reclutamiento hacia clases de tamaño comercial debería ocurrir a una tasa mayor que la calculada con la fórmula; esto querría decir que el método actual subestima las tasas de aprovechamiento sostenible. Por otro lado, hay dos factores que pueden llevar al CONAP y los concesionarios a sobreestimar sus rendimientos sostenibles: primero, la fórmula de intensidad de corta no toma en cuenta la mortalidad y segundo en la mayoría de POAF del 2005/2006, al menos, las tasas de aprovechamiento excedieron las tasas de IC calculadas, en muchos casos por grandes márgenes. (Nótese que tanto el modelo *Swietenia* como el de las especies menos conocidas toman en cuenta la mortalidad).

En los resultados modelados, la mayoría de poblaciones de *Swietenia* obtenidas de los POAF mostraron densidades comerciales estables o crecientes durante la segunda cosecha, pero un menor volumen de producción. Esto se debió a que el crecimiento medio de los árboles de futura cosecha excedió los $0,4 \text{ cm}$

año^{-1} establecido por la fórmula de intensidad de corta, mientras que la intensidad de corta real en la primera cosecha excedió la intensidad de corta calculada, en algunos casos por un factor de dos o más. Al exceder la intensidad de corta calculada para el 2005 y 2006, los manejadores del bosque establecieron un volumen de producción inicial artificialmente alto, lo que incide en la definición de 'rendimiento sostenible'. Esas densidades y volumen de producción simulados que se recuperarían para el tercer y cuarto aprovechamiento en la mayoría de los POAF se debe, por lo menos parcialmente, al hecho de que el modelo restringió el nivel de cosecha a las intensidades de corta calculadas, sin permitir ajustes.

De manera similar, para las otras cuatro especies, la diferencia entre la tasa media de crecimiento observada y calculada ($0,4 \text{ cm año}^{-1}$) para árboles de futura cosecha puede afectar la recuperación de las poblaciones y de la producción de madera. Para *Cedrela*, nuestro supuesto de que la tasa media de crecimiento es equivalente a la de *Swietenia* introduce una incertidumbre significativa en los resultados que presentamos aquí (Fig. 6). Las tasas de crecimiento observadas en parcelas de *Lonchocarpus* monitoreadas en la ZUM se ajustan bastante a la tasa media de crecimiento calculada. La tasa de crecimiento observado en *Bucida*, sin embargo, es menor que los $0,4 \text{ cm año}^{-1}$, lo que significa que la fórmula de intensidad de corta probablemente sobreestima las cosechas sostenibles al sobreestimar el ritmo de reclutamiento entre cosechas. Al igual que con *Swietenia*, la tasa media de crecimiento observada para los árboles de *Calophyllum* de futura cosecha excede la tasa calculada.

¿Por qué la densidad poblacional de las cuatro especies menos conocidas se recupera o hasta se incrementa, pero se reduce la producción de madera en la segunda cosecha de las mismas poblaciones? La principal razón es que la intensidad de corta ajustada, excede la intensidad de corta calculada en la mayoría de POAF 2005/2006. El aprovechamiento de una proporción de área basal comercial mayor que lo que los árboles de futura cosecha pudieran reemplazar establece un nivel inicial artificialmente alto de producción de madera que los futuros árboles comerciales no podrán mantener, lo cual garantiza la reducción en la producción de la

segunda cosecha. Por otra parte, si se excede la intensidad de corta calculada, no habrá mayor impacto en la tasa de recuperación de la población, aparte de la menor densidad de árboles de tamaño comercial a la hora de la cosecha. Las primeras cosechas por lo general disfrutaron de un “bono de la naturaleza” –los árboles de tamaño comercial tienen, en promedio, un mayor tamaño que el que alcanzarán los árboles en la segunda cosecha, dominados por reclutas que alcanzarán el tamaño comercial durante el ciclo de corta.

Límite mínimo de diámetro de corta

El CONAP permite a quienes manejan los bosques en las concesiones de la RBM flexibilidad al determinar el DMC para cada especie maderable, el cual puede cambiar de un año a otro (Cuadro 5). Este es un arreglo inusual y loable, comparado con las prácticas normales en los trópicos, donde se emplea la regla de “un solo tamaño para todos” para determinar el DMC de todas las clases de maderas. Para las especies emergentes del dosel, como *Swietenia* y *Cedrela*, las cuales tienen proporciones significativas de albura hasta que alcancen un tamaño bastante más grande, un DMC de 60 cm (por lo general, 55 cm) crea un balance entre la necesidad de maximizar la productividad y la necesidad de compensar la menor proporción de duramen en árboles más pequeños. Un DMC más bajo para las otras tres especies menos conocidas está garantizado porque estas especies no alcanzan diámetros mayores; son relativamente pocos los que llegan a >60 cm de diámetro. Los árboles de estas tres especies con diámetros de 45 cm probablemente rinden cantidades razonables de madera comercial.

¿Qué tan bajo puede ser el DMC? Para *Swietenia*, bajar el DMC a menos de 60 cm de diámetro amenaza la capacidad reproductiva: los árboles menores de este tamaño todavía no han llegado a la edad adulta reproductiva; es decir que la producción de semillas en árboles menores de 60 cm es muy baja, en comparación con los árboles adultos (Gullison *et ál.* 1996, Snook *et ál.* 2005, Grogan y Galvão 2006a). Puesto que el manejo de los bosques naturales basa los futuros aprovechamientos en la regeneración natural, reducir la capacidad reproductiva puede llevar a un

menor reclutamiento de árboles juveniles a árboles comerciales, con lo que se reduciría el producto futuro.

Ciclo de corta

Un mayor tiempo de recuperación entre cosechas permite a las poblaciones mejorar la densidad comercial y las tasas de producción de madera sobre un número equivalente de ciclos de corta. Para *Swietenia*, ciclos de corta de 40 años dan mayores tasas de recuperación de la densidad comercial en el transcurso de tres ciclos, que los ciclos de corta de 30 o 25 años. Sin embargo, no examinamos aquí si la producción total de los tres ciclos de corta de 40 años difiere de la producción de cuatro ciclos de corta de 30 años en una concesión dada. Esta es una pregunta que el modelo R para *Swietenia* podría responder en un análisis futuro.

Una cuestión importante para los concesionarios en la ZUM es el divorcio entre el periodo de concesión y las expectativas explícitas de que las prácticas de manejo forestal sean sostenibles. Los contratos actuales tienen una duración de 25 años prorrogables con la aprobación del CONAP; el Congreso guatemalteco también tiene la facultad de emitir normas que puedan afectar la continuidad de las concesiones. Entonces, los concesionarios no tienen certeza en el largo plazo de seguir manejando el bosque por más de un ciclo de corta. Esto pone una exigencia de “buena conducta” a los concesionarios, que no tienen ninguna garantía de aprovechar los beneficios futuros de sus prácticas de manejo actual; además, desincentiva la inversión en intervenciones silviculturales para mejorar la densidad de población y/o promover el crecimiento de árboles y la dispersión de semillas.

Regeneración

Los transectos de evaluación instalados durante mayo-junio 2014 generaron información empírica acerca de brinzales, latizales y fustales, la cual es crucial para la modelación de la respuesta de las poblaciones de *Swietenia* a repetidas cosechas (cuadros 8 y 9).

Para *Swietenia* en particular, la densidad de brinzales y latizales⁷ fue relativamente alta en varios POAF y casi nunca ausentes. En general, la alta densidad

7 El estudio consideró tanto la regeneración natural como la inducida (enriquecimiento).

de brinzales y latizales en los POAF 2005/2006 aprovechados, en comparación con los POAF 2015 no cosechados, indica que la perturbación del dosel asociada con el aprovechamiento forestal puede ayudar al establecimiento y crecimiento después de la cosecha. Aparentemente, *Bucida* y *Calophyllum* experimentaron incrementos post-cosecha similares en la densidad de brinzales y latizales bajos. Sin embargo, no podemos decir hasta qué grado, la mayor densidad de brinzales y latizales puede atribuirse al disturbio asociado con el aprovechamiento forestal; tampoco es posible afirmar si un aprovechamiento más intensivo podría estimular aún más el establecimiento de brinzales y su supervivencia. Las intensidades de aprovechamiento en la ZUM actualmente son relativamente bajas, generalmente $<3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. En este contexto, los impactos post-cosecha en la densidad de brinzales de *Swietenia* serán atribuidos principalmente a la extracción y caída de los árboles de caoba y no a la extracción de otras especies que pueden o no estar cerca.

La densidad de regeneración natural no garantiza que las cosechas futuras de madera sean igual o mejores que las de hoy. Los brinzales establecidos en el sotobosque y en claros naturales y de aprovechamiento sobrevivirán y crecerán a velocidades que reflejan su capacidad de tolerar y aprovechar las condiciones de crecimiento que cambian constantemente en el tiempo; si no reciben ayuda, casi el 100% morirá. En el caso de *Swietenia*, los brinzales y latizales tenderán a aparecer en parches en pequeña escala local, provenientes de la dispersión de un solo árbol que aprovechó un claro creado por el aprovechamiento en un momento dado. Para promover la regeneración, es conveniente ubicar y mantener abiertos estos parches para incentivar el crecimiento de los brinzales de caoba, al igual que se hace con los claros de enriquecimiento, los cuales deben mantenerse abiertos durante años después de haberse plantado los brinzales. Por otro lado, las plantaciones de enriquecimiento garantizan el establecimiento de brinzales saludables producidos en vivero (a menos que las semillas sean plantadas al voleo)⁸ en sitios conocidos que puedan ser fácilmente reubicados para darles mantenimiento durante la década o décadas después de la cosecha.

Existen costos y beneficios significativos asociados con ambas estrategias de manejo.

Evaluación de las estructuras de población para determinar el potencial de producción

Examinar las estructuras de población por clases de tamaño, desde brinzales hasta árboles adultos de tamaño comercial, provee una base empírica para la evaluación del rendimiento potencial de madera de una especie dada en múltiples ciclos de corta. La proporción de fustes de futura cosecha, en comparación con los tamaños comerciales determina la intensidad de aprovechamiento de los árboles comerciales en la primera cosecha; las tasas de aprovechamiento en la segunda y tercera cosecha serán determinadas por clases cada vez más pequeñas hasta llegar a los brinzales y latizales de hoy en los claros y en el sotobosque. Esta lógica nos permite interpretar los patrones de recuperación de la densidad y producción de madera a nivel de POAF para las poblaciones de *Swietenia* en múltiples ciclos de corta. Si no se conoce razonablemente bien la estructura completa de la población en un área dada, tampoco podremos entender las consecuencias a futuro, de las decisiones actuales de manejo. Por ejemplo, el trabajo de campo para este estudio fue necesario porque la información recolectada por los concesionarios –ya sea para el POAF, el plan quinquenal o el plan de manejo– no incluye muestras significativas de individuos de $<30 \text{ cm}$ de diámetro. El 0,1% del área muestreada para brinzales y latizales pudiera no haber captado una imagen exacta de la regeneración temprana; los resultados que muestran densidades muy altas o bajas en ciertos POAF pueden reflejar condiciones particulares del sitio en donde se ubica el transecto, o condiciones de campo durante un día particular del trabajo de campo.

Actualmente, no podemos resumir este análisis en una fórmula simple o relaciones numéricas fijas para ninguna especie, incluyendo *Swietenia*, con el fin de obtener un indicador cuantitativo de la estructura de una población ‘saludable’. Este es un tema que merece mayor investigación y desarrollo; la gran cantidad de datos de alta calidad de este estudio ofrece un excelente lugar para empezar.

8 En el caso de las concesiones forestales se evidencia que la siembra directa es más efectiva y económica.

Distribución espacial de las poblaciones en el paisaje de la ZUM

Los resultados de este estudio padecen de 'ceguera espacial', lo que significa que las densidades de población se consideran constantes sobre una base de unidad por área. En la realidad, las poblaciones de especies comúnmente muestran patrones de distribución espacial, a menudo relacionada con características fisiográficas como topografía y/o tipo de suelo. Los concesionarios conocen esos patrones de cada especie en particular; de hecho, durante un taller de validación, nos preguntaron si habíamos considerado estos patrones en nuestro análisis. Aunque este aspecto cae fuera del alcance de nuestro objetivo inmediato, los datos de censo comercial de las concesiones en la ZUM incluyen la ubicación espacial de todos los árboles inventariados; este es un buen recurso potencial para investigar las implicaciones de producción de los patrones de distribución de las especies.

Un segundo problema espacial tiene que ver con el papel que las áreas protegidas juegan en la conservación de la integridad ecológica y genética de las especies durante los próximos años. Las áreas protegidas pueden incluir zonas de amortiguamiento cercanas a monumentos arqueológicos (es común encontrar montículos mayas no excavados en esta zona), riachuelos estacionales y permanentes, áreas con topografía muy empinada o sitios pantanosos que no permiten el paso de equipo pesado, o áreas en donde las operaciones de aprovechamiento podrían causar erosión excesiva. Las áreas protegidas representan el 0-46% del área de los POAF individuales evaluados; esto es, el 13 y 14% del área total de los POAF 2005 y 2006, respectivamente. El grado en el cual estas áreas no aprovechables brindan refugio a poblaciones de especies depende de muchos factores; entre ellos, a) la forma, extensión y conexión entre áreas protegidas dentro de un mismo POAF; b) si una especie muestra afinidad negativa o positiva con cierto tipo de área protegida (zona ribereña, pendiente muy pronunciada, etc.); c) el grado en el cual las operaciones de aprovechamiento respetan la integridad espacial de las áreas protegidas designadas durante la primera cosecha y las sucesivas.

Advertencias relacionadas con la modelación de la dinámica de poblaciones

Los resultados de las simulaciones hechas con los modelos usados representan el producto a futuro de las prácticas actuales de manejo forestal en la ZUM, a partir del conocimiento y la información y los supuestos más actualizados que existen en cuanto a *Swietenia* y las cuatro especies maderables asociadas. Debido a que no podemos decir con certeza qué pasará en el futuro, es importante que tomemos estos resultados con precaución por varias razones.

- 1. El enfoque de modelación:** Los modelos funcionan tan bien como sus algoritmos basados en datos que describan la realidad. De hecho, los ecosistemas forestales, incluyendo los cientos de especies arbóreas que forman la superestructura de los bosques tropicales, son tan complejos que los ejercicios de modelación, como este, exigen una simplificación extrema de la realidad. Sin embargo, en años recientes se ha acumulado una gran cantidad de conocimiento empírico acerca de *Swietenia*, por medio de investigaciones en México, Belice, Guatemala, Bolivia y Brasil. El modelo R usado en este estudio ofrece la mejor interpretación posible del conocimiento actual de la historia de vida de la caoba. Estamos seguros de que el modelo R funciona muy bien para *Swietenia* en periodos de dos o cuatro décadas —un tiempo comparable a lo logrado en Brasil—; la incertidumbre asociada con los resultados del modelo aumenta más allá de este horizonte temporal. La incertidumbre del segundo escenario modelado es mayor pues se basa únicamente en información limitada de crecimiento y una tasa de mortalidad fija.
- 2. Fuentes de información para algoritmos de modelación:** Los resultados simulados acerca de la dinámica poblacional de *Swietenia* en la ZUM se basan en las tasas de crecimiento, mortalidad y reproducción de poblaciones en Brasil. ¿Qué tan seguros estamos de que estas tasas críticas sean transferibles de Brasil a Guatemala? Las tasas de crecimiento y mortalidad a nivel de población de *Swietenia* son bastante variables y consistentes en su variabilidad de una región a otra y de un sitio a otro



(Cuadro 4 y sección “Estructuras de población según la evaluación de transectos”, pag. 36). La variabilidad es la regla no la excepción, y las tasas locales dependen de factores del sitio y regímenes de perturbación estocásticos demasiado complejos para ser descritos por cualquier modelo. La función de crecimiento de la caoba en Brasil iguala casi a la perfección la información de crecimiento de las concesiones en la ZUM (Fig. 5); datos de otros lugares de Centro y Suramérica y de otros sitios en el bosque lluvioso maya indican una serie de tasas de crecimiento que incluyen aquellas de las parcelas permanentes en la ZUM (Cuadro 4).

Se debe también llamar la atención acerca de la importancia de las mediciones de crecimiento consistentes y precisas. Los datos de crecimiento obtenidos de parcelas permanentes de monitoreo mostraron una marcada diferencia entre las parcelas de La Gloria y las otras parcelas instaladas en Petén. Entender si este es un fenómeno real o un problema de recolección de datos sería útil para ajustar los supuestos de los datos de crecimiento del CONAP.

- 3. Limitaciones del modelo:** Las poblaciones simuladas de *Swietenia* en Brasil aumentan gradualmente su densidad si no se practica ningún aprovechamiento forestal; esto quiere decir que el

modelo es poco limitado por las tasas estáticas y dinámicas observadas (Grogan *et ál.* 2014). No sabemos si esta expansión es realista, y si no lo es, tampoco podemos identificar cuál(es) tasa(s) usada(s) por el modelo es(son) la(s) responsable(s) del incremento de la población. Sin embargo, mientras esta situación es problemática para las poblaciones de caoba en Brasil, las cuales tienen muy bajas densidades a escala de paisaje, en Petén, con densidades mucho mayores, estas tasas de crecimiento de la población pueden ser realistas.

- 4. Factores estocásticos:** Fuerzas imprevistas pueden afectar las predicciones a futuro, incluyendo huracanes, incendios, cambios en el mercado o de uso de la tierra, inestabilidad política o económica, cambios sociales en los próximos años y décadas. El huracán Richard, por ejemplo, el cual golpeó tierra adentro en el 2010, dejó un extenso daño en el borde este de la ZUM; aparentemente esto ha afectado negativamente las proyecciones del modelo para por lo menos una concesión. Estas fuerzas naturales y antrópicas pueden ser lo suficientemente grandes como para causar cambios significativos e imprevistos al *status quo* actual de la ZUM, tanto en el bosque como en las estructuras socioeconómicas inherentes a la gestión de los recursos naturales.



Conclusiones

5

A partir de los resultados presentados en este estudio y manteniendo en mente las advertencias asociadas, las prácticas de gestión forestal en la zona de uso múltiple de la Reserva de la Biosfera Maya son de las más innovadoras para el manejo a nivel de especies en bosques tropicales. Los inventarios al 100% de árboles comerciales y de futura cosecha, junto con operaciones de cosecha bien planeadas que reducen los daños a los árboles residuales son prácticas estándares en bosques tropicales ricos en especies. La determinación e implementación real de intensidades de corta basadas en la biología de las especies representa un avance genuino hacia la producción sostenible de madera, y merece el reconocimiento y replicación en otras regiones. En las conclusiones específicas que a continuación se detallan, hemos asignado valores relativos de certeza a los resultados clave para reflejar la calidad y cantidad de información disponible para cada análisis.

Swietenia

- Con un alto grado de certeza, las poblaciones de *Swietenia* recuperarán, en promedio, la densidad comercial pre-cosecha durante el primer ciclo de corta entre cosechas. Este resultado pareciera ser sostenible a lo largo de repetidos aprovechamientos, con las prácticas de manejo forestal que actualmente se usan en la ZUM.
- La recuperación del volumen comercial será menor que la recuperación de la densidad durante el primer ciclo de corta; en consecuencia, la segunda cosecha será más pequeña, en promedio. La producción de madera deberá recuperarse hasta los niveles de la cosecha inicial como mínimo durante la tercera y cuarta cosecha, siempre y cuando se apliquen los cálculos de intensidad de corta sin ajustes significativos.
- Existen dos parámetros interrelacionados del manejo actual que inciden en estos resultados: 1) si la tasa de crecimiento promedio ($0,4 \text{ cm año}^{-1}$), definida por CONAP para los árboles de futura cosecha, resulta muy baja, resulta una limitación para el rendimiento del aprovechamiento; 2) los ajustes a la intensidad de corta calculada, en casi todos los casos, permiten rendimientos mayores que lo previsto según la distribución observada de árboles comerciales y de futura cosecha. Estos ajustes establecen niveles de producción artificialmente altos para la primera cosecha, los cuales no pueden ser alcanzados durante la segunda cosecha.
- Las densidades estimadas de fustales, latizales y brinzales de *Swietenia* en casi todos los POAF son suficientemente altas como para anticipar la recuperación de la población y de la producción de madera durante el segundo y tercer ciclo de corta. Aparentemente, el aprovechamiento forestal parece motivar el establecimiento de brinzales y el crecimiento post-cosecha a corto plazo. Los tratamientos silviculturales deberían utilizarse para mejorar la regeneración y la supervivencia, e impulsar el crecimiento y el futuro rendimiento de madera.

Cedrela

- Con un grado bajo de certeza, la mayoría de poblaciones de *Cedrela* que tenían densidades extremadamente bajas a escala de paisaje recuperarán la densidad comercial precosecha durante el primer ciclo de corta, pero el volumen de producción será mucho menor durante la segunda cosecha.
- El bajo grado de certeza asociado con las simulaciones para *Cedrela* solo puede mejorarse con datos empíricos que describan las tasas de crecimiento y mortalidad en la RBM. Por ejemplo, hay poca evidencia que apoye el uso de los 0,4 cm año⁻¹ como tasa crecimiento medio de los árboles de futura cosecha para calcular la intensidad de corta.
- La reducción predicha del volumen de producción durante la segunda cosecha se debe, principalmente, a los ajustes hechos a la intensidad de corta calculada, que establece niveles de producción artificialmente altos para la primera cosecha.
- Las densidades estimadas a escala de paisaje para los fustales, latizales y brinzales de *Cedrela* son bastante bajas e irregularmente distribuidas en el paisaje. Esto sugiere que, en muchos POAF, no será posible aprovechar de manera repetida. Hasta cierto punto, esto se relaciona con el hecho de que los terrenos de baja altitud y relativamente planos frecuentes en la mayoría de los POAF evaluados para este estudio no son el hábitat preferido de *Cedrela*.

Especies maderables menos conocidas (*Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum*)

- Con un grado de certeza intermedio, la mayoría de poblaciones de *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum* 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*.
- Al igual que *Swietenia* y *Cedrela*, la reducción prevista en el volumen de producción durante la

segunda cosecha se debe principalmente a los ajustes en la intensidad de corta calculada, la cual establece niveles de producción artificialmente altos para la primera cosecha.

- Hay poca evidencia empírica que apoye el uso de 0,4 cm año⁻¹ como tasa de crecimiento medio de los árboles de futura cosecha para calcular la intensidad de corta. La información de las parcelas permanentes en la ZUM indican que esta tasa es aproximadamente correcta para *Lonchocarpus*, más alta para *Bucida* y más baja para *Calophyllum*.
- La evaluación de los transectos indica que los fustales, latizales y brinzales de *Lonchocarpus* y *Calophyllum* se encuentran presentes de manera consistente en los POAF, con densidades relativamente altas; *Bucida* ocurre en parches, en forma similar a *Cedrela*. Los tratamientos silviculturales deberían utilizarse para mejorar la regeneración y la supervivencia, e impulsar el crecimiento y el futuro rendimiento de madera.

Prácticas actuales de manejo forestal en la ZUM

- El método usado para determinar la intensidad de corta en Guatemala representa un avance importante en el manejo forestal en los trópicos, pero podría mejorarse tanto empíricamente como en cuanto a las normativas. En cuanto al conocimiento empírico, es necesario conocer mejor las tasas de incremento diamétrico y de mortalidad en los tamaños de futura cosecha para afinar la fórmula y precizarla para cada especie por separado. En cuanto a las normativas, es necesaria una mayor rigurosidad a la hora de permitir excepciones (con frecuencia se aprueban volúmenes de aprovechamiento más altos que lo definido) para lograr a futuro niveles de aprovechamiento más sostenibles. La reducción en la producción volumétrica durante la segunda cosecha mostrada por el modelo se debe, principalmente, a la aplicación de intensidades de corta ajustadas considerando el área basal no recuperable
- Los datos recolectados hasta el momento de las parcelas permanentes de monitoreo son valiosos



Estado de conservación de las poblaciones de cinco especies maderables
en concesiones forestales de la Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala

pero no suficientes para guiar una toma de decisiones bien informada. La recolección de información sobre crecimiento y mortalidad de las especies en parcelas de monitoreo debe reflejar la necesidad de contar con cálculos más exactos de la

intensidad de corta; asimismo, se debe pensar en adoptar un cálculo con tasas de crecimiento específicas para cada clase de tamaño. Las consideraciones al respecto se detallan en la sección de Recomendaciones.



Recomendaciones

6

Mejoramiento de los datos disponibles para el manejo a largo plazo

- **Mejorar el conocimiento de las tasas dinámicas por especie, especialmente el crecimiento y la mortalidad, que dependen del tamaño de planta.**

Si se tuviera mejor información sobre el crecimiento y la mortalidad de las cinco especies se podría entender mejor los resultados del manejo y, en consecuencia, el cálculo de la intensidad de corta. Estudios a largo plazo de las tasas de incremento diamétrico y mortalidad para árboles de todos los tamaños son relativamente baratos pero requieren atención durante el año y una implementación cuidadosa.

Entre las preguntas relevantes que se deben considerar están las siguientes:

- ¿Deberían agruparse los árboles individuales por concesión o por sitio?
- ¿Son las diferencias de sitio (p.e., tipo de suelo) entre diferentes poblaciones de una misma especie suficientes para justificar muestras estratificadas con el objetivo de crear múltiples plataformas de modelación?
- ¿Qué variables adicionales deberían tomarse en cuenta en estudios de tasas dinámicas (p.e., patrones de precipitación anual y estacional, posición de la copa en el dosel y densidad circundante, cobertura de lianas, patrones de fructificación)?
- ¿Cómo es posible compartir y procesar datos en algoritmos de mortalidad y crecimiento para especies maderables de la RBM?

Las parcelas permanentes de monitoreo a largo plazo ya existentes en las concesiones en la RBM deberían complementarse con:

- Más individuos de las especies evaluadas deberían ser monitoreados; en las parcelas evaluadas para este estudio no se encontraron árboles de *Cedrela*.
 - Se debiera continuar con las mediciones anuales, y usar metodologías estandarizadas rigurosamente controladas para asegurar la exactitud; el personal de campo debiera recibir capacitación para entender los diferentes patrones e idiosincrasias que los árboles vivos presentan en el campo.
 - Se debe incluir la gama completa de clases de tamaño que una especie muestra, desde brinzales hasta adultos.
 - Supervivencia y mortalidad deben incluirse en las observaciones anuales regulares.
 - Se deben incorporar los protocolos de control de calidad para asegurarse de que la calidad de los datos responda al importante papel que estos datos jugarán en la determinación del aprovechamiento sostenible.
- **El muestreo sistemático de juveniles (brinzales, latizales y fustales) debiera ser parte de las operaciones anuales de manejo.** No es posible pensar en más de un ciclo de corta si no cuantificamos las clases de tamaños que pasarán a engrosar la clase comercial para la tercera y cuarta cosecha, solo por pensar en el más corto horizonte de largo plazo.

Los esfuerzos de muestreo entre mayo y junio 2014, que produjeron los datos necesarios para las simulaciones presentadas en este informe, fueron bastante arduos (265 transectos de 1 ha en 33 POAF) y caros. Esto se debió a que no se tenía mucho tiempo para aplicar un protocolo de campo muy elaborado en POAF ubicados en toda la RBM. Sería más barato si la evaluación de transectos fuera parte del protocolo operativo estándar para la preparación del plan quinquenal o del plan anual; las cuadrillas serían más pequeñas, los gastos de transporte serían más bajos, la logística sería más fácil y, a la larga, más eficiente a medida que evolucionan los métodos de muestreo. El modelo NetLogo es una versión amigable para la simulación de la recuperación de las poblaciones de *Swietenia* después del aprovechamiento y bajo los parámetros de manejo forestal de Guatemala. Esto ayudaría al CONAP, a los regentes y concesionarios a tomar decisiones mejor informadas en cuanto a la intensidad de corta y otros parámetros de manejo.

- **Mejorar el conocimiento acerca de los requisitos de regeneración y reclutamiento de las especies.** La ecología de la regeneración de *Swietenia* es bastante bien entendida; el modelo R usado en este estudio incorpora información empírica en cuanto a la producción de semilla, dispersión, germinación, establecimiento de la regeneración, crecimiento y mortalidad a nivel de brinzales, latizales y fustales. Sin embargo, para *Cedrela*, *Lonchocarpus*, *Bucida* y *Calophyllum* no se cuenta con suficiente información. Tal información es vital para la predicción de la recuperación de poblaciones después de la segunda cosecha. Al igual que los estudios de mortalidad y crecimiento antes mencionados, los estudios de regeneración no son caros, pero requieren atención constante y una buena implementación para que los resultados sean aplicables.
- **Mejorar el conocimiento acerca del régimen de disturbios en la ZUM-RBM.** El modelo *Swietenia* usado presupone la creación de claros en el dosel a partir de la combinación de la intensidad de corta (cada árbol cortado crea un claro) y un algoritmo

creado con datos de Brasil. No se toman en cuenta incidentes en gran escala, como tormentas o incendios. Dada la importancia de la disponibilidad de luz para el reclutamiento y crecimiento de *Swietenia*, la incorporación de información específica de sitio sobre el régimen de disturbios a la modelación en el futuro ayudará a mejorar la precisión. Otra consideración útil sería si la tala de especies menos conocidas contribuye significativamente a la apertura de claros que promuevan el reclutamiento de la caoba.

- **Agregar y armonizar tanta información del censo como sea posible.** CONAP debe dar seguimiento a su trabajo con las concesiones para estandarizar los códigos de árboles aplicados en el censo comercial y el plan quinquenal, para asegurar que las bases de datos sean uniformes, comparables, combinables y utilizables para los análisis.

Mejoramiento de las prácticas de manejo forestal en la RBM

- **Implementación consistente de intensidades de corta calculadas.** No es de extrañarse que las simulaciones disparen las alarmas cuando el aprovechamiento excede la intensidad de corta calculada, lo cual provocaría la reducción del volumen para la segunda cosecha. La práctica habitual de realizar ajustes sobre la intensidad de corta calculada es probable que, con el tiempo, reduzca las poblaciones. Se debiera ser muy cautelosos en la aprobación de ajustes y asegurarse de que se implementen tratamientos silviculturales que aceleren la recuperación del área basal.
- **Énfasis en prácticas silviculturales diseñadas para reducir la mortalidad y aumentar la tasa de crecimiento en árboles comerciales, de futura cosecha y juveniles.** Por ejemplo, la corta de lianas antes y después del aprovechamiento para liberar las copas de árboles de especies comerciales es la forma más efectiva de reducir la mortalidad y acelerar el incremento diamétrico a largo plazo. Para las especies demandantes de luz,

la liberación del dosel en parches de regeneración podría mejorar el crecimiento y el reclutamiento con un costo razonable. Un cuidado regular de las condiciones de crecimiento durante los primeros diez años después de que los brinzales se hayan establecido puede ser suficiente para que los juveniles alcancen el dosel.

- En contraste con *Swietenia*, *Cedrela* es simplemente rara y *Lonchocarpus*, aunque con altas densidades de brinzales, tiene poca capacidad para persistir y crecer a través de las distintas clases de tamaño. *Bucida* y *Calophyllum* son las que tienen mayores posibilidades de persistir y crecer una vez establecidas y, en consecuencia, las que mejor responderían a las prácticas silviculturales para reducir la mortalidad y acelerar el crecimiento. En el caso de *Cedrela*, se recomienda inducir la regeneración (realizar enriquecimientos) en los sitios adecuados para esta especie, por ejemplo en sitios con topografía ondulada que presentan suelos bien drenados.
- **Uso de un modelo NetLogo en la toma de decisiones, específico para las condiciones locales.** El equipo hizo una serie de ajustes al modelo original NetLogo durante la fase de análisis del estudio, incluyendo la incorporación del cálculo de la intensidad de corta y una modalidad que permite el uso de simulaciones para aplicar intensidades de corta hipotéticas a los datos reales de los POAF. Se sugirieron ajustes adicionales durante la presentación de resultados preliminares, tales como resultados basados en el área basal y no en la densidad de árboles. Es probable que se requieran otros ajustes para automatizar la preparación de los datos antes de ingresarlos, de manera que los usuarios poco entrenados puedan utilizar la herramienta sin problema. De momento, no es posible ajustar el modelo NetLogo a las condiciones del Petén, ya que no se cuenta con la información necesaria de los parámetros de población antes descritos;

sin embargo, el uso del modelo con los ajustes mencionados ayudará a CONAP, regentes y concesionarios a tomar mejores decisiones informadas en cuanto al DMC, ciclos de corta y, en especial, intensidad de corta.

- **Aprobación de contratos de concesión para varios ciclos de corta con el fin de incentivar el manejo a largo plazo⁹.** Este estudio ha demostrado el peso de las decisiones actuales en el bosque futuro. Una alta intensidad de corta en la primera cosecha tiene consecuencias. Sin embargo, los concesionarios buscarán que se les permita aumentar la intensidad de corta por encima del área basal recuperable debido a la falta de incentivos para que recolecten información adicional a largo plazo y a la poca certeza de que sus contratos sean prorrogados más allá de la primera cosecha. Un modelo legal armonizado con incentivos a largo plazo daría a los concesionarios la garantía legal para el aprovechamiento durante múltiples ciclos de corta.

Mejoramiento del manejo forestal más allá de la RBM

Diseminación de los resultados de este estudio en diferentes foros. Como antes dijimos, el cálculo de la intensidad de corta basado en criterios ecológicos es rara vez visto en el manejo de los bosques tropicales. Podemos afirmar que el modelo de manejo forestal del Petén es un ejemplo que merece reconocimiento y replicación. Hay publicaciones en español, inglés y francés que describen las prácticas usadas en la RBM que, junto con los resultados de este estudio, debieran darse a conocer en foros científicos, técnicos y públicos. Asimismo, la Secretaría, el Comité de Plantas y los miembros del CITES debieran conocer esta información y su relevancia para la formulación del aprovechamiento no perjudicial en las poblaciones de *Swietenia* y *Cedrela*.

⁹ Según el Artículo 97. Cláusulas obligatorias, Título IX. Capítulo único contratos y concesiones sobre servicios públicos. Numeral 1 Que el plazo de duración no podrá ser superior a veinticinco (25) años. Ley de contrataciones del estado Decreto 57-92.



Bibliografía consultada

- Argüelles, LAS; Román, FSB; Rodríguez, AC; Ramírez, ES. 1998. Programa de manejo forestal para el bosque tropical del ejido Noh-Bec. Informe, Noh-Bec, Quintana Roo, México. 102 p.
- Baima, AMV. 2001. O Status de *Swietenia macrophylla* King (Mogno) em duas florestas exploradas no Estado do Pará: O caso de Marabá e Rio Maria. Mestrado em Ciências Florestais. Belém, Para, Brazil, Universidade Federal do Pará/FCAP.
- Conap (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala). 1999. Manual para la administración forestal en áreas protegidas. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 96 p.
- Conap (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Guatemala). 1999. Normas para el otorgamiento de concesiones de aprovechamiento y manejo de recursos naturales renovables en la zona de uso múltiple de la Reserva de Biosfera Maya. Diario de Centro América, No. 8:23-26. 30 jul. Disponible en: <http://faolex.fao.org/docs/pdf/gua17249.pdf>
- Conap (Consejo Nacional en Áreas Protegidas, Guatemala). 2012. Manual para la Administración Forestal en Áreas Protegidas. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 337 p. (Manuales No. 03(01-2012).
- Free, CM; Landis, RM; Grogan, J; Schulze, MD; Lentini, M; Dünisch, O. 2014. Management implications of long-term tree growth & mortality rates: a modeling study of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 330:46-54.
- Grogan, J; Ashton, MS; Galvão, J. 2003a. Big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedling survival and growth across a topographic gradient in southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 186:311-326.
- Grogan, J; Blundell, AG; Landis, RM; Youatt, A; Gullison, RE; Martínez, M; Kometter, RF; Lentini, M; Rice, RE. 2010. Over-harvesting driven by consumer demand leads to population decline: big-leaf mahogany in South America. *Conservation Letters* 3:12-20.
- Grogan, J; Free, C; Pinelo Morales, G; Johnson, A; Alegría, R. 2016. Estado de conservación de las poblaciones de cinco especies maderables en las concesiones forestales de la Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala. *Swietenia macrophylla, Cedrela odorata, Lonchocarpus castilloi, Bucida buceras, Calophyllum brasiliense* (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/8286>
- Grogan, J; Galvão, J. 2006a. Factors limiting post-logging seedling regeneration by big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) in southeastern Amazonia, Brazil and implications for sustainable management. *Biotropica* 38:219-228.
- Grogan, J; Galvão, J. 2006b. Physiographic and floristic gradients across topography in transitional seasonally dry evergreen forests of southeastern Amazonia, Brazil. *Acta Amazonica* 36:483-496.
- Grogan, J; Galvão, J; Simões, L; Veríssimo, A. 2003b. Regeneration of big-leaf mahogany in closed and logged forests of southeastern Pará, Brazil. *In* Lugo, A; Figueroa Colón, JC; Alayón, M. (Eds.). Big-leaf mahogany: genetics, ecology, and management. New York, NY, USA, Springer Verlag. p. 193-208.
- Grogan, J; Jennings, S; Landis, RM; Schulze, M; Baima, A; Carmo, J; Norghauer, J; Oliveira, R; Pantoja, F; Pinto, D; Silva, J; Vidal, E; Zimmerman, B. 2008. What loggers leave behind: impacts on big-leaf mahogany commercial populations and potential for recovery in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 255:269-281.
- Grogan, J; Landis, RM. 2009. Growth history and crown vine coverage are principal factors influencing growth and mortality rates of big-leaf mahogany *Swietenia macrophylla* in Brazil. *Journal of Applied Ecology* 46:1283-1291.
- Grogan, J; Landis, RM; Ashton, MS; Galvão, J. 2005. Growth response by big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) advance seedling regeneration to overhead canopy release in southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 204:399-412.

- Grogan, J; Landis, RM; Free, CM; Schulze, MD; Lentini, M; Ashton, MS. 2014. Big-leaf mahogany *Swietenia macrophylla* population dynamics and implications for sustainable management. *Journal of Applied Ecology* 51(3):664-674.
- Grogan, J; Schulze, M. 2012. Impact of annual and seasonal rainfall patterns on growth and phenology of emergent tree species in southeastern Amazonia, Brazil. *Biotropica* 44:331-340.
- Grogan, J; Schulze, M; Lentini, M; Zweede, J; Landis, RM; Free, CM. 2013. Managing big-leaf mahogany in natural forests: Lessons learned from an ITTO-CITES Programme project. *Tropical Forest Update, ITTO Newsletter* 22(1):12-15, 19.
- Jennings, S; Baima, AMV. 2005. The influence of population and forest structure on fruit production in mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and their consequences for sustainable management. *International Forestry Journal* 7:363-369.
- Kommetter, RM. 2011. Tablas nacionales de conversión volumétrica de madera en pie a madera aserrada por calidades según las reglas internacionales de clasificación de madera–NHLA–de la especie de caoba (*Swietenia macrophylla*) para Guatemala. Brasilia, DF, Brasil, Intercooperation.
- Manzanero, MC. 2005. Ciclo de corta, incrementos e intensidad de corta. Informe. Petén, Guatemala, CONAP. 16 p.
- Manzanero, MC; Pinelo, GM. 2014. Guía para la evaluación del estado de conservación de la caoba (*Swietenia macrophylla*), cedar (*Cedrela odorata*) y otras especies maderables menos conocidas en las Concesiones de la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Petén, Guatemala, Rainforest Alliance/CONAP/ACOFOP/CATIE. 25 p.
- Mize, CW; Negreros-Castillo, P. 2007. Stand and species growth of a tropical forest in Quintana Roo, Mexico. *Journal of Sustainable Forestry* 23(3):83-95.
- Negreros-Castillo, P; Mize, CW. 2014. Mahogany growth and mortality and the relation of growth to site characteristics in a natural forest in Quintana Roo, Mexico. *Forest Science* 60:907-913.
- Norghauer, JM; Nock, C; Grogan, J. 2011. The Importance of Tree Size and Fecundity for Wind Dispersal of Big-Leaf Mahogany. *PLoS ONE* 6(3):doi:10.1371/journal.pone.0017488.
- Schulze, M; Grogan, J; Landis, RM; Vidal, E. 2008. How rare is too rare to harvest? Management challenges posed by low-density timber species in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 256:1443-1447.
- Snook, LK, Cámara-Cabrales, L; Kelty, MJ. 2005. Six years of fruit production by mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King): patterns of variation and implications for sustainability. *Forest Ecology and Management* 206:221-235.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Estado de Acre en Brasil.



ISBN: 978-9977-57-669-5

