



Foto: Zona de usos múltiples, Petén, Guatemala (CONAP)

Así se Regeneran los Bosques en la Biósfera Maya

Recibido: 10/11/2023

Aceptado: 14/02/2024

Publicado: 01/03/2024

Jorge Cruz Bolaños

Magister Scientiae en Manejo Integrado de cuencas hidrigráficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

jorgecruzbolanos@gmail.com

Manuel Manzanero

Master en Ciencias de la Universidad panamericana, Rainforest Alliance

mamm002@hotmail.com

William Zac

Consultor Independiente especialista en manejo e investigación de bosques tropicales

wiliamzac@gmail.com

Resumen

En la Zona de Usos Múltiples de la Reserva de la Biósfera Maya, al norte de Guatemala, se realiza desde hace más de 20 años el manejo forestal maderable en las concesiones forestales como una estrategia para conservar los bosques y generar beneficios socioeconómicos a los pobladores locales. Estas operaciones forestales impactan directamente la vegetación donde se cortan y arrastran las trozas de las especies comerciales. En este estudio se evaluaron los sitios donde la vegetación es disturbada directamente, encontrando que después de 13 años, el área basal se recupera en al menos 29% de la que tienen los bosques en su estado natural, sin embargo, el crecimiento incremental del 67% respecto al área basal de los tres años y el 93% en relación a los ocho años, se podría suponer que con ciclos de corta de 25 y 40 años el área basal se recupera.

Palabras clave

Regeneración natural, manejo forestal, concesiones forestales, área basal.

Abstract

In the Multiple Uses Zone of the Maya Biosphere Reserve, in northern Guatemala, timber forest management has been carried out for more than 20 years in forestry concessions. These forestry operations are the basis of a strategy to conserve forests and generate socioeconomic benefits for residents. They directly impact the vegetation where the logs of commercial species are cut and dragged. In this study, the sites where the vegetation is directly disturbed were evaluated, finding that after 13 years of felling, the basal area recovers to at least 29% of that of the forests in their natural state. These results suggest that with felling cycles from 25 and 40 years the basal area recovers.

Key words

Natural regeneration, forest management, forestry concessions, basal area.

Introducción

La importancia de los bosques en la regulación del clima y sumideros de carbono radica en que estos pueden reducir las concentraciones de CO₂ atmosférico, (Houghton, *et al.*, 2015; Csillik, *et al.*, 2019), sin embargo, la deforestación y degradación han reducido su extensión y función.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2022) y Carter *et al.* (2018) la deforestación es la conversión de un bosque a diferentes usos de la tierra o la reducción permanente de cobertura del bosque debajo del 10%, mientras que la degradación se refiere a la pérdida de las funciones del bosque por la pérdida de la estructura y composición (Vásquez-Grandón *et al.*, 2018).

La deforestación en el trópico se da por el cambio de uso de la tierra de bosque a agricultura, por los cultivos altamente rentables o la ganadería (Austin, 2019), y es una fuente de emisores de dióxido de carbono a la atmósfera (Pearson, *et al.*, 2017), que pone en riesgo estos sumideros de carbono.

La correlación que hay entre pobreza, desigualdad y deforestación, (Andrée, B. P. J., *et al.*, 2019), es una limitante para la conservación de los bosques en los países con altos niveles de pobreza, no obstante, encontrar cómo los recursos del bosque pueden contribuir a mejorar los ingresos de las comunidades que dependen de estas áreas, puede ser una alternativa para conservar los sumideros de carbono.

El reto de conservar los bosques cada vez es más difícil ante factores socioeconómicos como la pobreza y demanda de otros productos que promueven la deforestación como la ganadería. Aunque no necesariamente la pobreza puede ser causa de la degradación de los bosques. (Khan, S. R., & Khan, S. R., 2009).

No obstante, los problemas socioeconómicos como la pobreza están vinculados con la deforestación Khan & Khan (2009) y Miyamoto (2020), no consideran la pobreza una causa de la degradación de los bosques. Sin embargo, los bosques pueden contribuir a reducir la deforestación y la pobreza mediante el manejo forestal (Oldekop *et al.*, 2019).

Las áreas protegidas cubren el 55% de las áreas terrestres; estas áreas fueron creadas para proteger los bosques, su diversidad biológica, y otras funciones ecosistémicas (Adams *et al.*, 2023), como la Reserva de la Biósfera Maya (RBM), que es la extensión más grande de bosque tropical conservado en Guatemala. Sin embargo, el estatus de área protegida no garantiza su conservación, debido a que 30 años después conserva el 70% del bosque, con tasas de deforestación variable en cada una de las tres grandes categorías de manejo que cuenta.

Aunque la tendencia de deforestación se ha reducido en los últimos años, actividades como el manejo forestal han logrado detener la deforestación en la zona de usos múltiples, a una tasa cercana a cero (Hodgdon *et al.*, 2015).

En este estudio se presentan los resultados de una evaluación realizada en las áreas perturbadas durante el

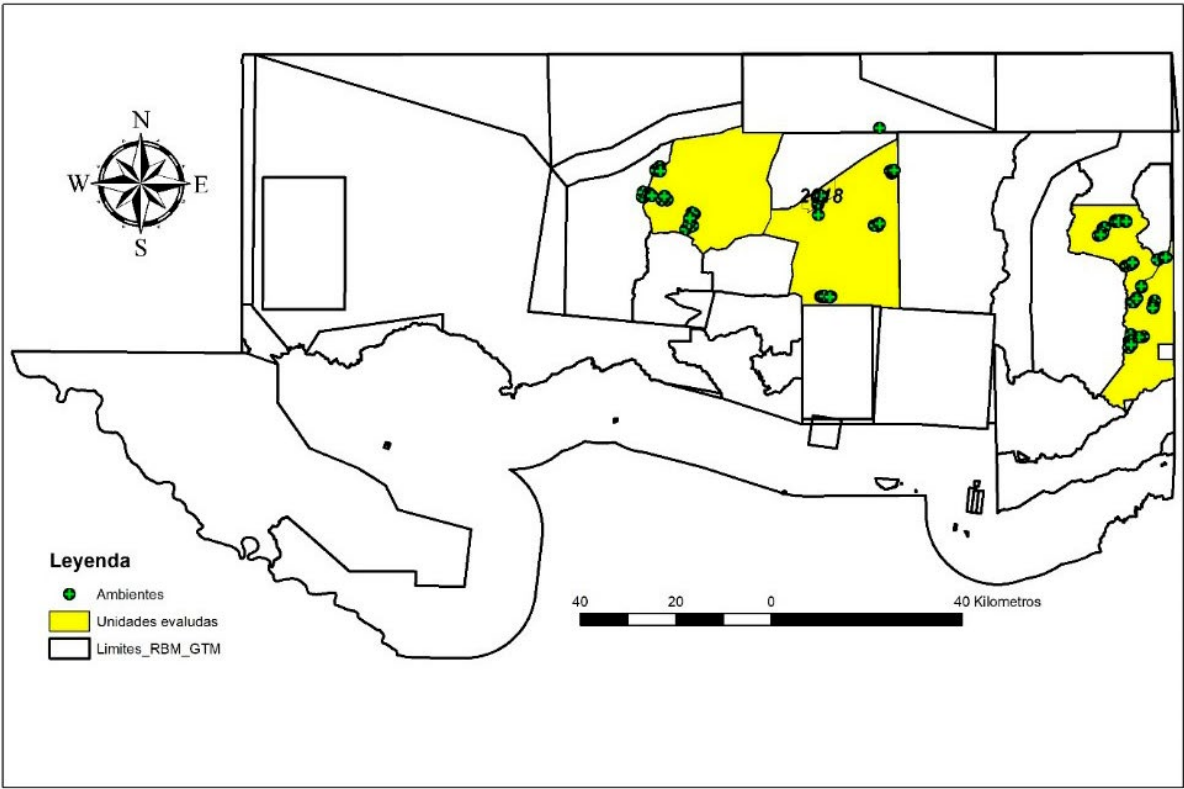
aprovechamiento forestal que realizan organizaciones comunitarias y privadas en la Zona de Uso Múltiple (ZUM) de la RBM, mostrando el proceso natural de regeneración en estos bosques que mantienen la cobertura forestal desde que fueron otorgadas.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en los ambientes de perturbados hasta el año 2018 por el aprovechamiento forestal sostenible en las concesiones forestales, que son extensiones de bosques tropicales en la Zona de Uso Múltiple de la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala, otorgadas desde 1994 (Consejo Nacional de Áreas Protegidas [CONAP], 1994) por el gobierno a organizaciones comunitarias y empresas privadas mediante un contrato por 25 años.

Figura 1

Ubicación geográfica de las concesiones forestales y los sitios de estudio, en la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala.



Nota. Elaboración propia, utilizando base de datos del Centro de Monitoreo y Evaluación de CONAP (CEMEC), CONAP.

Las áreas evaluadas se encuentran en las concesiones forestales de Carmelita, Yaloch, La Unión y La Gloria, la última es privada, mientras que las demás son administradas por organizaciones comunitarias como Carmelita, que es una concesión forestal con población residente de hace más de 100 años y las otras, sin población residente en las áreas de bosque.

Estas concesiones forestales administran el total de 166,907.34 ha de bosque, de la ZUM de la RBM, con planes de manejo forestal aprobados por el CONAP.

Carmelita fue otorgada como concesión forestal por el Estado de Guatemala en 1997, La Gloria en el 2000,

mientras que Yaloch y La Unión en el 2002. Todas han realizado como mínimo 15 aprovechamientos forestales maderables, en una extensión de aproximadamente 44,000 ha.

El aprovechamiento forestal se realiza en un área previamente definida, denominada como Área de Aprovechamiento de Anual (AAA), que varía según el plan de manejo de cada concesión forestal y las que se encuentra dentro de una extensión mayor regida por un plan quinquenal. Las AAA son intervenidas cada 25 o 40 años, según el ciclo de corta definido por el plan general de manejo.

Para el aprovechamiento forestal en la RBM, el CONAP requiere una planificación de AAA que incluye, un inventario total de árboles mayores de 30 cm de DAP de especies de interés comercial, de los cuales se eligen los árboles a cortar, las vías de arrastre de los árboles cortados, centros de acopio, de donde se transportan las trozas a los aserraderos localizados fuera de las concesiones forestales.

Los ambientes disturbados son aquellas áreas donde se elimina o afecta la vegetación natural por las operaciones

de aprovechamiento forestal maderable en el bosque tropical, y cuya área no debe exceder el 15% del área total del Área de Corta Anual, según el manual para la administración forestal en áreas protegidas (CONAP, 2012).

Unidades de muestreo

Las áreas disturbadas consideradas para este estudio, en donde se evaluó la vegetación fueron:

- **Bacadillas:** son sitios donde se elimina totalmente la vegetación natural para acopiar las trozas para su posterior traslado fuera de la concesión forestal como los aserraderos, estas no deben de ser mayores a 0.25 de ha. Las bacadillas fueron elegidas al azar en las áreas de aprovechamiento de los años 2005, 2010, 2015 y las unidades de muestreo fueron de 10 m x 10 m.
- **Caminos secundarios y terciarios:** son las pistas de arrastre para trasladar la troza del sitio de tumba a la bacadilla por el tractor forestal. Según el manual forestal del CONAP estos deben

ser clausurados o cerrados una vez finalizada la operación de extracción maderable. En estas áreas se deben realizar enriquecimientos para recuperar la cobertura forestal. Según el CONAP (2012), estos no deben ser mayores de cuatro metros de ancho. Para fines del estudio, la vegetación fue evaluada en un transecto sobre el camino de 25 metros de largo por cuatro metros de ancho.

- Sitios de tumba. Es el lugar o sitio en el cual estuvo el árbol aprovechado. La vegetación se evaluó en una parcela rectangular con largo definido por la distancia del tocón a los restos de la copa del árbol.

Las variables registradas en cada parcela fueron árboles de cinco a 25 cm de DAP, registrando las variables para cada árbol, la especie, el DAP y el nivel de iluminación. La vegetación se registró en 110 parcelas de muestreo con edades de tres, ocho y 13 años después del aprovechamiento forestal maderable.

Los datos analizados fueron: la densidad de árboles y área basal por hectárea por sitio evaluado según los años después del aprovechamiento, para estimar

promedios para cada edad de recuperación y realizar un contraste de medias. Los datos fueron analizados por el programa Rstudio (2023).

Resultados

El manejo forestal y su impacto directo en la vegetación en la RBM

Entre el periodo del año 1994 al 2022, el gobierno de Guatemala ha otorgado 582,379 hectáreas de bosque (Tabla 1) equivalente al 70% de la ZUM de la RBM en concesiones forestales (CONAP, 2015, 2023) a organizaciones comunitarias y privadas para que sean conservadas a través del manejo forestal, como el aprovechamiento forestal maderable, que estas organizaciones han realizado en menos de 150 mil hectáreas (CONAP, 2015, 2023) desde que iniciaron operaciones forestales.

Según las evaluaciones de monitoreo de las operaciones forestales maderables que realiza CONAP en las concesiones

forestales, las áreas disturbadas
directamente por caminos forestales,
bacadilla y claros de tumba, no han llegado
a superar al 4% del área total aprovechado

en los último 20 años, que equivale a
7,000.0 ha, este porcentaje es menor al
15% que define como máximo permisible el
sistema de monitoreo de CONAP (2019).

Tabla 1

Concesiones forestales otorgadas por el gobierno de Guatemala en la Zona de Uso Múltiple de la Reserva de la Biósfera Maya.

No.	Nombre de la Unidad de Manejo	Área (ha), contrato	Año Inicio de operaciones	Estado Actual	Tipo de concesión forestal
1	Cruce a La Colorada	20,469.00	2000	Activa	Residente
2	San Andrés	51,939.84	1999	Prorrogada	No Residente
3	Carmelita	53,797.00	1997	Prorrogada	Residente
4	Río Chanchich	12,658.02	1998	Prorrogada	No Residente
5	Chosquitán	19,390.00	2000	Prorrogada	No Residente
6	Uaxactún	83,558.00	2000	Prorrogada	Residente
7	Las Ventanas	64,973.37	2000	Prorrogada	No Residente
8	La Unión	21,176.34	2001	Prorrogada	No Residente
9	Yaloch	25,386.48	2002	Prorrogada	No Residente
10	San Bartolo	45,051.15	2022	Nueva	No Residente
11	La Colorada-El Molino	25,909.00	2022	Nueva	No Residente
12	San Miguel La Palotada	7,039.00	1994	Cancelada	Residente
13	La Pasadita	18,817.00	1997	Contrato vencido/2009	Residente
14	La Gloria	66,460.00	2,000	Prorrogada	No Residente
15	Paxban	65,755.00	2,000	Prorrogada	No Residente
Total		582,379.2			

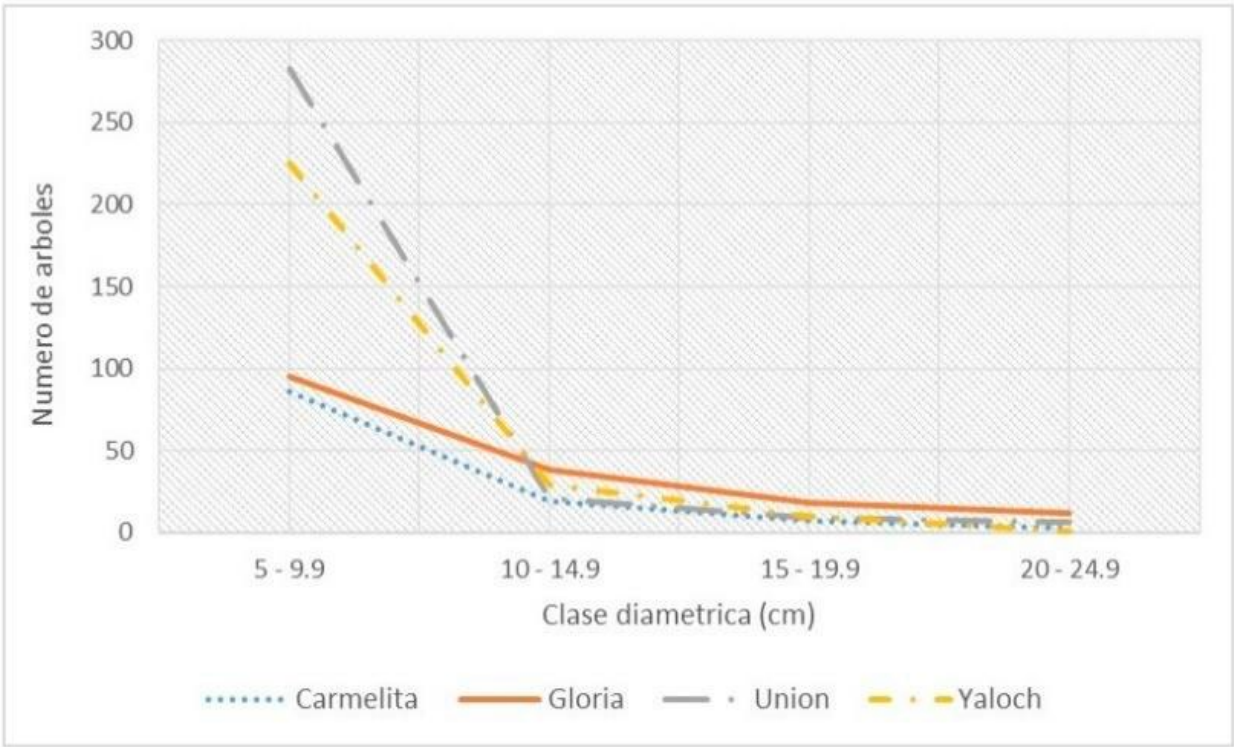
Nota: Fuente, CONAP, (2015, 2023).

Los sitios evaluados en las cuatro concesiones forestales muestran una distribución en forma de J invertida, cuando los árboles se distribuyen en función de

la clase diamétrica, como se muestra en la Figura 2, donde además se observa la diferencia de los bosques de Carmelita y La Gloria con los de Yaloch y La Unión.

Figura 2

Distribución de los árboles de los sitios evaluados en las concesiones forestales de la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala



Nota: Fuente, base de datos de la evaluación de los sitios en las cuatro concesiones forestales. Las líneas muestran la forma de “J” invertida que caracteriza a los bosques.

¿Cómo se recuperan las áreas donde se realiza el aprovechamiento forestal maderable?

Tomando como referencia el área basal de 24.02 m²*ha⁻¹ reportada en los planes de manejo de los bosques naturales en las concesiones de Carmelita, La Unión

y Yaloch, (Cooperativa Carmelita, 2021, CUSTOSEL, 2000; El esfuerzo, 2001), los sitios perturbados por el aprovechamiento forestal recuperan el 9% del área basal después de tres años, que equivale a 2.1628 m2*ha-1, y se incrementa en 67% y 93% cada cinco años equivalente a 3.6136 m2*ha-1y 6.9858 m2*ha-1, como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Área basal media por hectárea según sitios perturbados, en las unidades de manejo por años después de realizado el aprovechamiento forestal maderable en la RBM

Años	Concesión forestal	Bacadilla		Camino primario		Claro de tumba		Vías de arrastre		Totales	
		NP	AB*ha-1	NP	AB*ha-1	NP	AB*ha-1	NP	AB*ha-1	NP	AB*ha-1
3		9	2.2220	11	1.7464	6	0.9789	9	3.4018	35	2.1628
	Carmelita	2	0.3232	1	5.2903	2	0.6669	1	3.4607	6	1.7885
	Gloria	2	0.8220	3	2.0029	1	0.3999	2	6.0968	8	2.5308
	La Unión	3	3.7846	3	1.5346	2	0.4307	3	2.7176	11	2.2702
	Yaloch	2	3.1769	4	0.8269	1	3.2781	3	2.2696	10	1.9748
8		10	5.5284	9	2.3755	8	2.8189	11	3.4638	38	3.6136
	Carmelita	1	3.9985	1	0.4808	3	1.0084	3	2.1421	8	1.7414
	Gloria	3	3.6617	3	2.8096	3	4.8148	3	6.9620	12	4.5620
	La Unión	3	5.4642	2	3.7880	2	2.5408	3	2.4360	10	3.6358
	Yaloch	3	7.9692	3	1.6314			2	1.7407	8	4.0354
13		10	8.9399	10	6.1231	7	7.8748	10	5.2721	37	6.9858
	Carmelita	2	11.0254	2	5.7926	1	2.1819	2	3.6244	7	6.1524
	Gloria	3	7.2559	3	6.6656	1	4.1744	3	5.7262	10	6.3118
	La Unión	3	6.0697	3	5.4575	3	11.6669	3	5.8198	12	7.2535
	Yaloch	2	13.6856	2	6.6383	2	6.8833	2	5.4171	8	8.1561
Total		29	5.6786	30	3.3941	21	3.9785	30	4.0480	110	4.2863

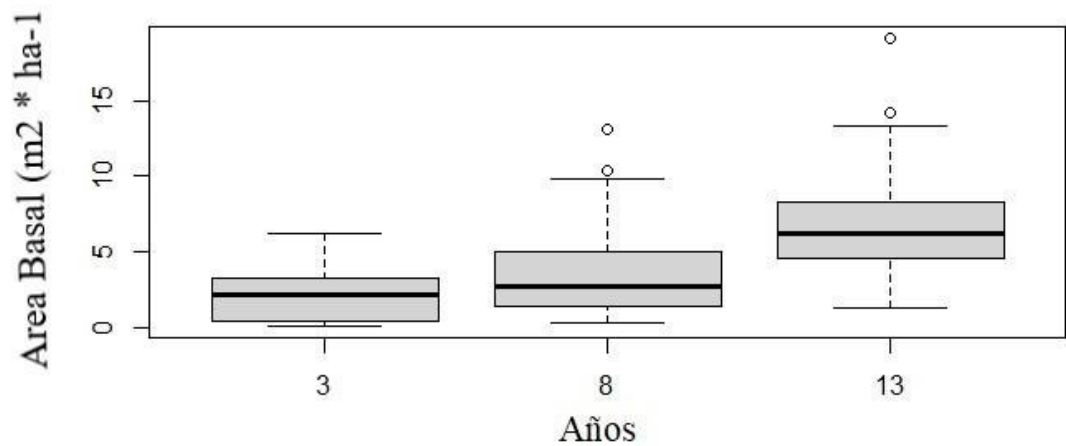
Nota: Elaboración propia, utilizando los datos obtenidos en las parcelas de muestreo de la evaluación de los sitios perturbados en las concesiones forestales de la RBM.

*NP: Número de Parcelas;

**AB: Área Basal

Figura 3

Área basal promedio por años de recuperación después del aprovechamiento forestal maderable en las concesiones forestales de la Reserva de la Biósfera Maya.



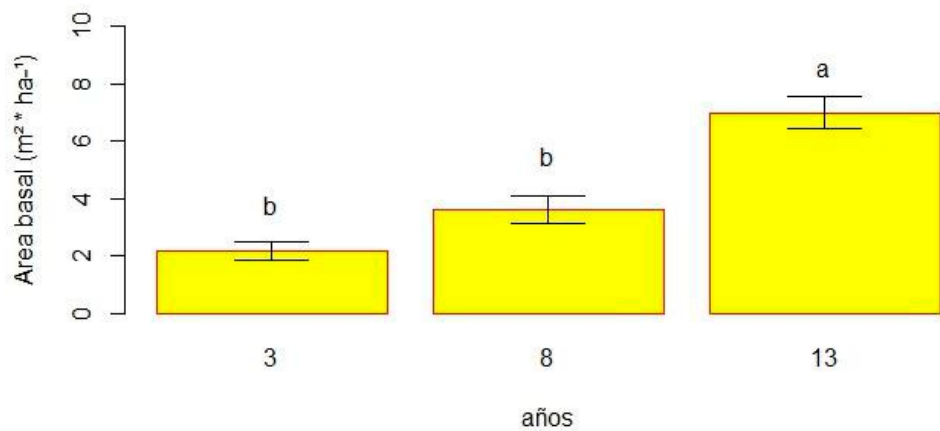
Nota: Elaboración propia, utilizando la base de datos de los sitios evaluados en las concesiones forestales de la RBM.

El comportamiento de la recuperación del área basal en los sitios mostró variabilidad cuando se consideraron los años de recuperación como un factor, así se aprecia en la Figura 3, que presenta las medianas y los valores mínimos y máximos

obtenidos en las parcelas de muestreo. La diferencia encontrada entre las medias por los años de recuperación fue significativa entre las edades ocho y 13, así como entre tres y 13 años, como se presentan en las figuras 4 y 5.

Figura 4

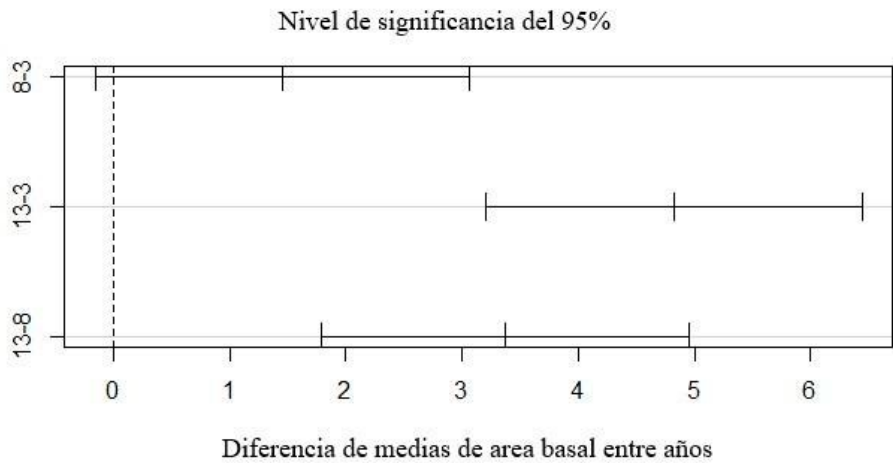
Área basal en $m^2 \cdot ha^{-1}$ en los sitios disturbados años después del aprovechamiento forestal maderable en la Reserva de la Biósfera Maya



Nota. Elaboración propia, utilizando la base de datos de la evaluación de campo, con el programa Rstudio. Las barras representan las medias del área basal en metros cuadrados por ha., las líneas con bigotes representan los límites superior e inferior. Las medias con letras iguales no muestran diferencia significativa a un nivel de 95% de confianza.

Figura 5

Área basal en $m^2 \cdot ha^{-1}$ en los sitios disturbados años después del aprovechamiento forestal maderable en la Reserva de la Biósfera Maya



Nota. Elaboración propia, utilizando la base de datos de la evaluación de campo, con el programa Rstudio. Las barras que no cruzan el cero muestran diferencia significativa. Los valores del eje «x» corresponde a diferencia de medias del área basal entre años, mientras que en el eje «y» los valores corresponden a los de pares de medias de los años contrastados.

En relación con el número de árboles por ha., que se presentan en la Tabla 3, los sitios evaluados mostraron diferencias

significativas entre años después del aprovechamiento, como se muestra en las figuras 6 y 7.

Tabla 3

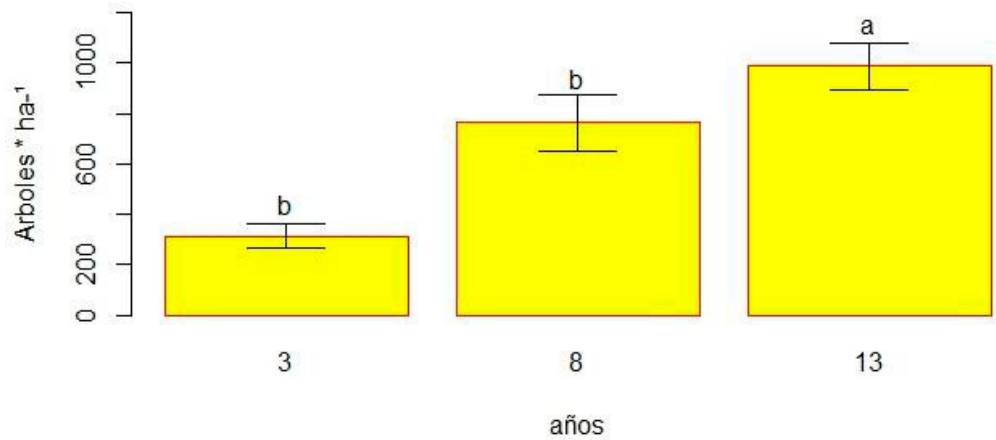
Árboles por hectárea en los sitios perturbados, unidad de manejo y años después del aprovechamiento forestal maderable en la Reserva de la Biósfera Maya

Años	Concesión Forestal	Bacadilla		Camino primario		claro de tumba		vías de arrastre		Totales	
		NP	arb*ha-1	NP	arb*ha-1	NP	arb*ha-1	NP	arb*ha-1	NP	arb*ha-1
3		9	544	11	249	6	182	9	251	35	314
	Carmelita	2	150	1	400	2	248	1	291	6	248
	Gloria	2	250	3	133	1	157	2	364	8	223
	La Unión	3	867	3	400	2	114	3	145	11	406
	Yaloch	2	750	4	186	1	213	3	267	10	326
8		10	1540	9	540	8	538	11	403	38	763
	Carmelita	1	1200	1	171	3	357	3	194	8	378
	Gloria	3	900	3	171	3	600	3	412	12	521
	La Unión	3	1433	2	1200	2	715	3	655	10	1009
	Yaloch	3	2400	3	590			2	327	8	1203
13		10	1510	10	646	7	1254	10	618	37	987
	Carmelita	2	1600	2	657	1	502	2	255	7	789
	Gloria	3	1133	3	305	1	379	3	606	10	651
	La Unión	3	1567	3	838	3	1281	3	630	12	1079
	Yaloch	2	1900	2	857	2	2026	2	982	8	1441
Total		29	1221	30	469	21	675	30	429	110	695

Nota: elaboración propia con base en datos de campo.

Figura 6

*Diferencia de medias de árboles * ha-1 en los años después del aprovechamiento forestal maderable en la Reserva de la Biósfera Maya.*

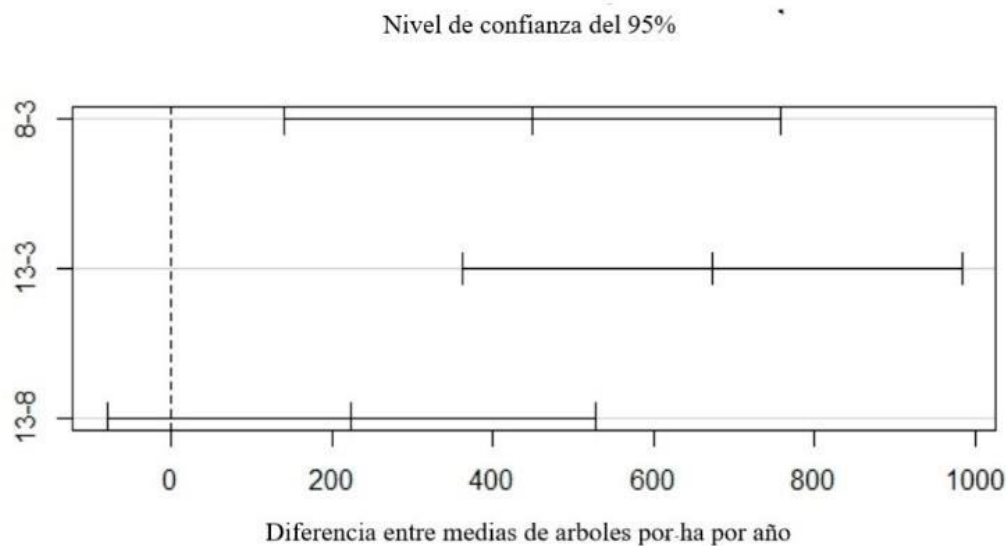


Nota. Elaboración propia, utilizando la base de datos de la evaluación de campo, con el programa Rstudio. Las barras representan las medias del número de árboles por ha., con límites de confianza. Las medias con letras iguales no muestran diferencia significativa a un nivel de 95% de confianza.

La Figura 7 muestra la diferencia significativa entre las medias de los años tres y ocho, así como tres y 13 años, no así después de los ocho años del aprovechamiento, estas diferencias contrastan con las diferencias en área

basal en esos años, debido a que los sitios muestran el mayor ingreso de árboles en los primeros ocho años y posteriormente estos se desarrollan y crecen en diámetro, área basal y altura.

Figura 7
*Contraste de medias de árboles * ha-1 en los años después del aprovechamiento forestal maderable en la Reserva de la Biósfera Maya.*



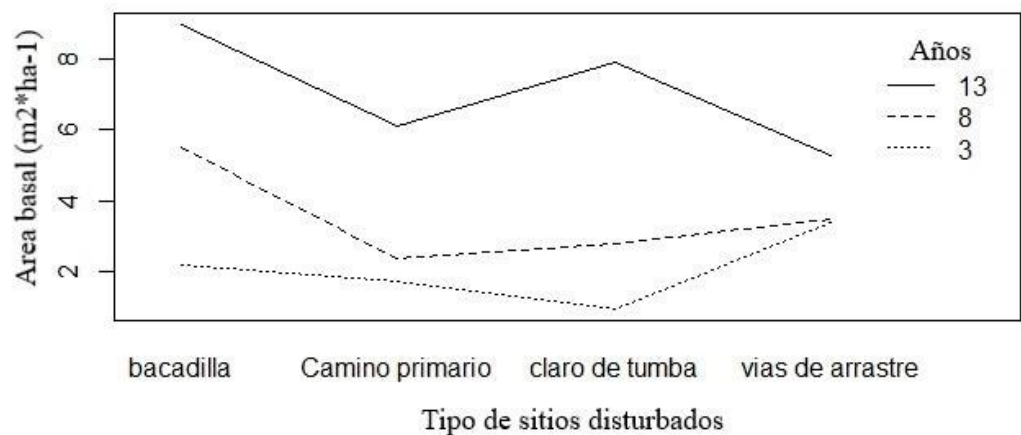
Nota. Elaboración propia, utilizando la base de datos de la evaluación de campo, con el programa Rstudio. Las barras que no cruzan el cero muestran diferencia significativa. Los valores del eje “x” corresponde a diferencia de las medias del número de árboles entre años, y en el eje “y” los pares corresponden a las medias de los años contrastados.

En un análisis del comportamiento del área basal entre sitios evaluados y los años después del aprovechamiento forestal, se encontró que las vías de arrastre reportaron los valores más altos en los primeros tres años, como se muestra en la Figura 8, aunque a los 13 años los

valores no muestran diferencia con los otros sitios, debido a que en estas áreas el daño ocasionado puede ser menor, porque el arrastre de la troza a la bacadilla por el tractor forestal no elimina completamente la vegetación.

Figura 8

Área basal en $m^2 \cdot ha^{-1}$ en los sitios disturbados años después del aprovechamiento forestal maderable en la Reserva de la Biósfera Maya.



Síntesis conclusiva

El aprovechamiento forestal maderable, como se ha venido realizando en la Reserva de la Biósfera Maya, permite la recuperación de la vegetación en las áreas disturbadas directamente por las operaciones forestales.

La recuperación del área basal reportada en este estudio, 13 años después del aprovechamiento forestal, fue de $6.9858 m^2 \cdot ha^{-1}$, equivalentes al 29% del promedio que los bosques de Carmelita, Yaloch, y La Unión tienen en su estado natural, que

corresponde a $24.02 m^2 \cdot ha^{-1}$. (Cooperativa Carmelita 2021, Sociedad Civil El Esfuerzo [SCEE], 2001; Sociedad Civil Custodios de la Selva [CUSTOSEL], 2000).

Considerando el crecimiento incremental del área basal en los sitios perturbados, que en el año ocho fue del 67% con respecto al año tres y en el año 13 fue el 97% en relación con el año ocho, hace suponer que los ciclos de corta de 25 y 40 años que proponen las concesiones forestales para el manejo forestal permiten recuperar el área basal del bosque en su estado natural.

Tomando en cuenta que el manejo forestal en la RBM no compromete la conservación de las cinco especies comerciales más aprovechadas como el caoba (*Swietenia macrophylla*), cedro (*Cedrela odorata*), pucté (*Bucida buceras*), manchiche *Lonchocarpus castilloi*, y Santa María (*Calophyllum brasiliense*), por las concesiones forestales para los próximos ciclos de corta, (Grogan, J., *et al.* 2015) y que los sitios disturbados pueden recuperar

su área basal a su estado natural, se puede considerar que el manejo forestal ha sido una herramienta útil para conservar los bosques en la ZUM de la RBM, sin embargo, se recomienda realizar estudios en áreas donde se ha cumplido un ciclo de corta, además de evaluar otros factores como la compactación del suelo, la biodiversidad y los aspectos socioeconómicos derivados del manejo forestal.

Referencias

- Adams, V. M., Chauvenet, A. L., Stoudmann, N., Gurney, G. G., Brockington, D., & Kuempel, C. D. (2023). Multiple-use protected areas are critical to equitable and effective conservation. *One Earth*, 6(9), 1173-1189. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.08.011>
- Andrée, B. P. J., Chamorro, A., Spencer, P., Koomen, E., & Dogo, H. (2019). Revisiting the relation between economic growth and the environment; a global assessment of deforestation, pollution and carbon emission. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109221. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.028>
- Alves, V. D. P., & Diniz, M. B. (2022). Reducing carbon emissions from avoided deforestation in the Brazilian Amazon: an approach based on the Business-as-Usual (BAU) scenario. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS)*, 11(1). 1-22. <https://doi.org/10.5585/geas.v1i1.19817>
- Aragão, L. E., Poulter, B., Barlow, J. B., Anderson, L. O., Malhi, Y., Saatchi, S., ... & Gloor, E. (2014). Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biological Reviews*, 89(4), 913-931. <https://doi.org/10.1111/brv.12088>

- Austin, K. G., Schwantes, A., Gu, Y., & Kasibhatla, P. S. (2019). What causes deforestation in Indonesia? *Environmental Research Letters*, 14(2), 024007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf6db>
- Bustamante, M. M., Roitman, I., Aide, T. M., Alencar, A., Anderson, L. O., Aragão, L., ... & Vieira, I. C. (2016). Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. *Global change biology*, 22(1), 92-109. <https://doi.org/10.1111/gcb.13087>
- Carter, S. (2018). Deforestation and agriculture in the tropics: carbon emissions and options for mitigation. (Doctoral dissertation, Wageningen University and Research).
- Carter, S., Herold, M., Avitabile, V., de Bruin, S., De Sy, V., Kooistra, L., & Rufino, M. C. (2017). Agriculture-driven deforestation in the tropics from 1990–2015: emissions, trends and uncertainties. *Environmental Research Letters*, 13(1), 1-13. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ea4>
- Csillik, O., Kumar, P., Mascaro, J., O'Shea, T., & Asner, G. P. (2019). Monitoring tropical forest carbon stocks and emissions using Planet satellite data. *Scientific reports*, 9(1), 17831. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-54386-6>
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas, CONAP, (2012). Manual para la administración forestal en áreas protegidas.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas, CONAP, (2015). Plan Maestro Reserva de la Biósfera Maya. 2da. actualización. Tomo I.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas, CONAP, (2023). <https://conap.gob.gt/prorrogas-y-nuevos-contratos-de-concesiones-forestales/>
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas, CONAP, (2019). Sistema de monitoreo y evaluación del desempeño de las unidades de manejo establecidas en la zona de uso múltiple de la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala. Documento técnicos No. 16-2019.

- Cooperativa Integral de Comercialización Carmelita, Responsabilidad Limitada, (2021). Actualización plan general de manejo integrado de recursos naturales, unidad de manejo Carmelita, San Andrés, Petén, Guatemala. 167.
- Drever CR, Peterson G, Messier C, Bergeron Y, Flannigan M (2006) ¿Puede la gestión forestal basada en perturbaciones naturales mantener la resiliencia ecológica? Can J para Res 36:2285–2299.
- FAO. (2022). El estado de los bosques del mundo 2022. Vías forestales hacia la recuperación verde y la creación de economías inclusivas, resilientes y sostenibles. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360es>
- Grogan, J., Free, C., Pinelo, G., Johnson, A., Alegria, R., & Hodgdon, B. (2015). Assessment of the conservation status of big-leaf mahogany, Spanish cedar, and three lesser-known timber species populations in the forestry concessions of the Maya Biosphere Reserve, Petén, Guatemala. *Community Forestry Case Studies*, (5/10), 19.
- Hodgdon, B. D., Hugell, D., Hugo Ramos, V., & McNab, R. B. (2015). Deforestation trends in the Maya Biosphere Reserve, Guatemala: 2000-2013.
- Houghton, R. A., Byers, B., & Nassikas, A. A. (2015). A role for tropical forests in stabilizing atmospheric CO2. *Nature Climate Change*, 5(12), 1022-1023.
- Jayathilake, H. M., Prescott, G. W., Carrasco, L. R., Rao, M., & Symes, W. S. (2021). Drivers of deforestation and degradation for 28 tropical conservation landscapes. *Ambio*, 50, 215-228.
- Khan, S. R., & Khan, S. R. (2009). Assessing poverty–deforestation links: Evidence from Swat, Pakistan. *Ecological Economics*, 68(10), 2607-2618.
- Miyamoto, M. (2020). Poverty reduction saves forests sustainably: Lessons for deforestation policies. *World Development*, 127, 104746.
- Oldekop, J. A., Sims, K. R., Karna, B. K., Whittingham, M. J., & Agrawal, A. (2019). Reductions in deforestation and poverty from decentralized forest management in os

- Pearson, T. R., Brown, S., Murray, L., & Sidman, G. (2017). Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. *Carbon balance and management*, 12, 1-11
- Equipo RStudio (2023). RStudio: Desarrollo integrado para R. RStudio, PBC, Boston, MA <http://www.rstudio.com/>
- Vásquez-Grandón, A., Donoso, P. J., & Gerding, V. (2018). Forest degradation: when is a forest degraded? *Forests*, 9(11), 726.
- Sociedad Civil El Esfuerzo, SCEE. (2001). Plan general de manejo integrado de la unidad de manejo Yaloch, Melchor de Mencos, Petén. Guatemala. 178.
- Sociedad Civil Custodios de la Selva, (CUSTOSEL). (2000). Plan general de manejo integrado de la unidad de manejo La Unión, Melchor de Mencos, Petén. Guatemala. 167.