

Respuesta de la regeneración natural a los incendios forestales y limpieza de bejucos en un Bosque Tropical Seco Chiquitano en Santa Cruz, Bolivia

Response of natural regeneration to wildfire and liana clearing, in a tropical dry Chiquitano Forest in Santa Cruz, Bolivia

Bonifacio Mostacedo^{1,2,3*}, José Bily Aucachi^{2,3} & Alex Saca^{2,3}

¹ Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Facultad de Ciencias Agrícolas
ORCID: 0000-0003-3806-2445,

²Carrera de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia

³Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC), Santa Cruz, Bolivia

*bonifaciomostacedo@uagrm.edu.bo

Resumen: La regeneración natural es un proceso importante para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas, especialmente en procesos de restauración de áreas degradadas. El objetivo de este estudio fue analizar la respuesta de la regeneración natural, en relación a dos factores: el fuego ocurrido en 2019 y la limpieza de bejucos en 2022. Para ello, en 2022 se instalaron 20 parcelas de 5x5 m en áreas quemadas y no quemadas, y en la mitad de ellas se cortaron los bejucos. En los años 2022 y 2023 se evaluó la abundancia, riqueza, diversidad y crecimiento de plantines de altura menor o igual a 2 m. Los resultados mostraron que la abundancia de individuos fue similar, tanto en sitios quemados como no quemados, y en sitios con limpieza de bejucos y sin limpieza. En las dos evaluaciones, la riqueza y diversidad de especies fue mayor en sitios quemados y sitios con limpieza de bejucos. No hubo interacciones entre los tratamientos de quema y limpieza, para la riqueza de especies ni para la abundancia de individuos. Los resultados indican que hay un recambio de especies originado principalmente por el fuego, con un incremento de especies demandantes de luz. El crecimiento de plantines es afectado por el fuego, especialmente en plantines de 80 a 100 cm. Se ha encontrado una gran variación en cuanto al crecimiento de plantines, inclusive dentro de la misma especie. En conclusión, el fuego y la limpieza de bejucos favorecen a la regeneración, principalmente en la diversidad de especies. Acciones de restauración pueden contribuir en aumentar la diversidad de especies de manera natural.

Palabras clave: Alta Vista, bosque quemado, crecimiento de plantines, prácticas silviculturales, restauración.

Abstract: Natural regeneration is an important process to ensure the sustainability of ecosystems, especially in restoration processes of degraded areas. The objective of this study was to analyze the response of natural regeneration in relation to two factors: the fire that occurred in 2019 and the cleaning of vines in 2022. To do this, 20 plots of 5x5 m were installed in burned and unburned areas in 2022, and in half of them the vines were cut. In the years 2022 and 2023, the abundance, richness, diversity and growth of seedlings with a height less than or equal to 2 m were evaluated. The results showed that the abundance of individuals was similar, both in burned and unburned sites, and in sites with and without cleaning of vines. In both evaluations, species richness and diversity was greater in burned sites and sites with vine clearing. There were no interactions between burning and clearing treatments for species richness or abundance of individuals. The results indicate that there is a turnover of species caused mainly by fire, with an increase in light-demanding species. The growth of seedlings was affected by fire, especially in seedlings of 80 to 100 cm. A great variation in the growth of seedlings has been found, even within the same species. In conclusion, fire and the cleaning of vines favor regeneration, mainly in the diversity of species. Restoration actions can contribute to increasing the diversity of species in a natural way.

Key words: Alta Vista, burned forest, growth of seedlings, restoration, silvicultural practices.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales en Bolivia han sido frecuentes en los últimos años (Maillard *et al.* 2022). En los años 2019, 2020 y 2021, el país ha tenido intensas quemadas y en grandes extensiones. Por ejemplo, en el año 2019 se quemaron 5,3 millones de hectáreas, de las cuales 3,9 millones correspondieron al departamento de Santa Cruz (Anivarro *et al.* 2019). Este tipo de perturbaciones ha generado varias preguntas a resolver, y una de ellas está relacionada a la regeneración de la vegetación luego del fuego.

La regeneración natural es uno de los aspectos estudiados en el terreno para ver la respuesta de la vegetación a los incendios forestales. Muchos estudios muestran cambios en la abundancia o diversidad de especies en la regeneración del bosque luego del fuego, y uno de los pocos estudios realizados en Bolivia (Mostacedo *et al.* 2001) encontró que a cinco años del incendio del bosque subhúmedo de Guarayos la regeneración presentó menor riqueza de especies arbóreas y mayor infestación con lianas en el bosque quemado con relación al no quemado, mientras que en el bosque seco chiquitano la riqueza arbórea y de lianas no cambió en la regeneración luego del fuego. Otros estudios realizados en el bosque seco chiquitano de Lomerío (Gould *et al.* 2002, Kennard 2000) encontraron mayor regeneración de especies maderables comerciales en áreas quemadas, pero vieron que la composición de especies podía cambiar según la intensidad de fuego. A escala de todo el país, un estudio de sensores remotos analizó para los últimos 20 años la tendencia del índice de vegetación (NDVI) como indicador de la regeneración natural en las áreas quemadas (Maillard 2023), y encontró un incremento significativo de la regeneración en

53,6 % de las áreas quemadas y un decremento en el 15,9 % de ellas, mientras que el resto no tuvo tendencias significativas. Este enfoque abre nuevas posibilidades de análisis, y con una resolución más fina de los sensores y el vínculo a datos de la regeneración en el terreno podría explicar mejor los efectos de varios factores.

La proliferación de lianas y bejucos afecta la reproducción, sobrevivencia y crecimiento de los árboles en sus diferentes etapas de vida, por lo que existen varios estudios sobre la corta o remoción de bejucos aplicados al manejo forestal (Estrada-Villegas & Schnitzer 2018, Mostacedo 2011, Mostacedo *et al.* 2009). En el Bajo Paraguá, Bolivia, Perez-Salicrup (2001) realizó un estudio sobre el efecto del corte de bejucos en la sobrevivencia y crecimiento de la regeneración de algunas especies arbóreas. En bosques tropicales de África, el corte de lianas es considerado como una opción para la restauración después de perturbaciones como el fuego (Marshall *et al.* 2017). Sin embargo, son pocos o casi nulos en el país, los estudios sobre los efectos del fuego y del corte de bejucos en el crecimiento de plantines de especies arbóreas.

Estudios sobre regeneración natural después de los incendios forestales son importantes porque pueden ayudar a entender las acciones que se podrían realizar desde el punto de vista de la regeneración natural asistida o restauración. Sin duda, el conocimiento de la abundancia, diversidad y tasas de crecimiento de plántulas y árboles juveniles en la regeneración es necesario para planear acciones de restauración (Griscom & Ashton 2011). En los últimos años, se ha intentado hacer diversos esfuerzos para restaurar el bosque después del fuego o ayudar a su regeneración, pero hay pocos elementos que puedan ayudar a tomar decisiones acertadas en la recuperación de las características del ecosistema original. En Santa Cruz se elaboró un plan de restauración de los bosques afectados por el fuego en 2019 y 2020 (Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz 2020). Este plan requiere ajustarse e implementarse y para ello se necesita generar conocimiento, por lo que este estudio es un aporte para considerar la regeneración natural como elemento básico para la restauración. Quizás solo hay que invertir en apoyar o eliminar factores de tensión que afectan a la regeneración natural.

En este sentido, las preguntas que se hicieron para realizar esta investigación fueron: ¿Cómo responde la regeneración natural en términos de abundancia, riqueza, diversidad y crecimiento, al fuego y la limpieza de bejucos? Para resolver la pregunta se planteó el siguiente objetivo: determinar la respuesta en abundancia, diversidad y crecimiento de plántulas y juveniles (hasta 2 m de altura) al fuego y a los tratamientos de limpieza de bejucos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Esta investigación se realizó en el Centro de Estudios del Bosque Seco Tropical Alta Vista, ubicado a 17 km al este de la localidad de Concepción (16° 05' 10" S, 61° 54' 28" W), en el municipio, Santa Cruz, Bolivia (Figura 1). Se caracteriza por tener una representación de los bosques de la región chiquitana, dentro de un predio de más de

3360 ha de bosques con pasturas para la ganadería eco amigable, el desarrollo de actividades forestales sostenibles, entre otras actividades productivas y cuenta con la infraestructura necesaria para la realización de investigaciones, eventos de capacitación, educación ambiental y ecoturismo. Por otro lado, la estación meteorológica reporta para el área de Alta Vista, una temperatura media de 25,2 ° C, una precipitación media de 1117 mm/año, humedad relativa del 73 % y vientos predominantes del noroeste con una velocidad promedio de 13 km/hora. La época seca oscila entre 4-5 meses al año, entre los meses de mayo a septiembre (FCBC 2015).

La vegetación de Alta Vista está conformada en su mayor parte por el bosque subhúmedo semidecuido y el bosque semidecuido hidrofítico y freatófilo (Navarro 2011). El bosque subhúmedo semidecuido está conformado por árboles que alcanzan entre 20-25 m de altura, con especies características como *Acosmium cardenasii*, *Centrolobium microchaete*, *Simira catappifolia* y *Pisonia zapallo*. En el bosque semidecuido hidrofítico las especies características son *Capparidastrium coimbranum*, *Gallesia integrifolia*, *Syagrus sancona*, *Attalea phalerata* y *Cariniana estrellensis* (Catari *et al.* 2010). Los suelos son principalmente francos (66%) y arenosos (34%), la mayor parte ácidos y con baja fertilidad y baja capacidad de intercambio catiónico (Terrazas 2010).

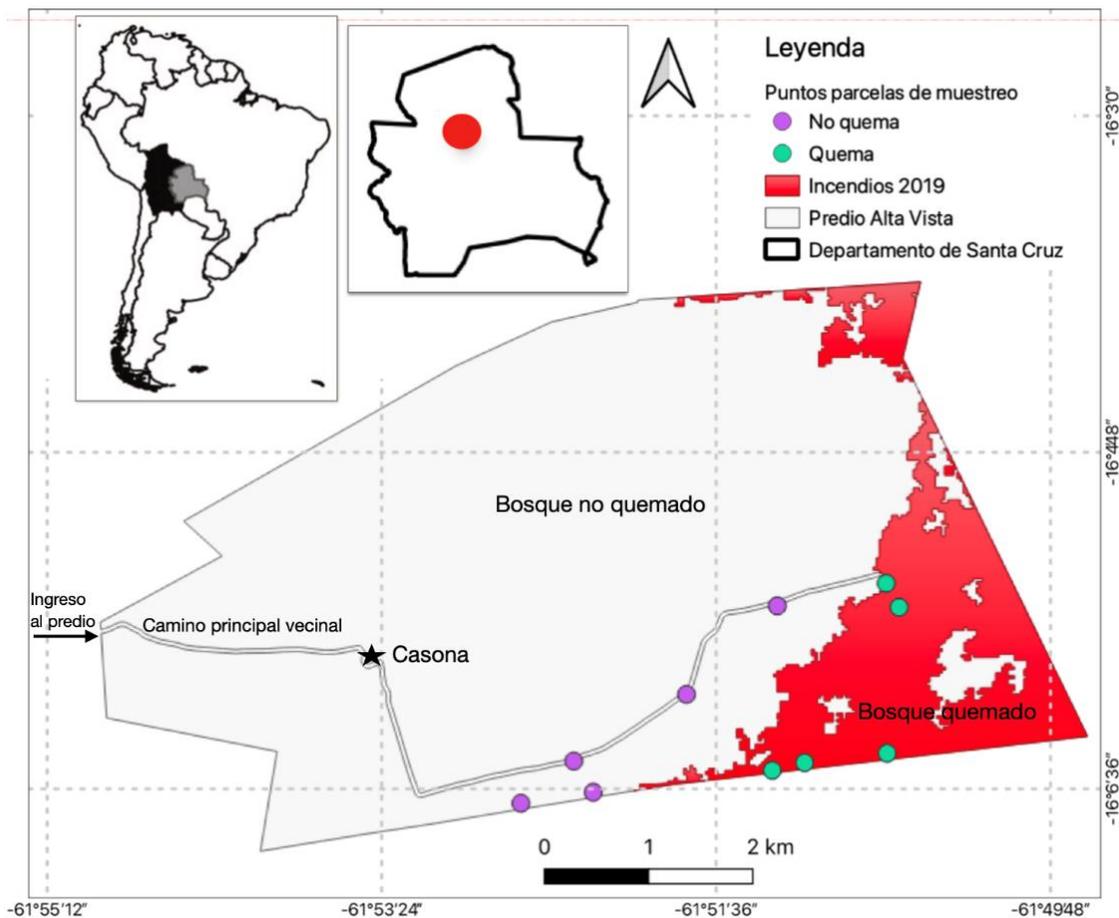


Figura 1. Ubicación del sitio de estudio Alta Vista, con las áreas incendiadas en 2019 y los puntos de muestreo de regeneración.

Diseño del estudio y toma de datos

Entre enero y marzo del 2022 se instalaron 20 parcelas permanentes de 25 m² (5x5 m) en el bosque seco chiquitano de Alta Vista, separadas según el factor fuego: 10 parcelas en las áreas quemadas en 2019 y 10 en las no quemadas (Figura 1). En áreas quemadas, 5 parcelas tuvieron limpieza de bejucos al momento de instalación y 5 mantuvieron todas sus plántulas, al igual que en áreas no quemadas donde las 5 parcelas sin limpieza de bejucos constituyeron el testigo. La limpieza consistió en cortar y extraer los tallos de bejucos y otras hierbas del sotobosque, dejando sólo la regeneración de especies arbóreas. En cada parcela de 5x5 m se identificaron, numeraron y plaquetearon las plántulas y juveniles de especies arbóreas de hasta 2 metros de altura, y se realizó la medición inicial (2022) de diámetro basal y altura de cada una. Para registrar los cambios después de un año se realizó la segunda medición (2023) y también se plaquetearon, numeraron y midieron los nuevos individuos.

Análisis de datos

Para analizar la respuesta de la abundancia, riqueza y diversidad de la regeneración natural a los tratamientos de quema y limpieza de bejucos, se hicieron análisis de varianza de dos vías, que permitieron comparar los valores promedio y la variabilidad entre los diferentes tratamientos. Para comparar entre los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey al 5% de error. Asimismo, se obtuvieron los parámetros descriptivos de promedio y error estándar para cada tratamiento/factor, y se calcularon los índices de Shannon para estimar la diversidad. Finalmente, se hicieron gráficos de rango-especies que ayudaron a interpretar el recambio de especies durante la etapa de regeneración natural y cuya identidad queda oculta en el índice de diversidad. Los análisis de rango, abundancia y riqueza de especies por tratamiento, y del porcentaje de individuos por categorías de altura, se hicieron para los dos años evaluados. La pérdida de dos parcelas de áreas quemadas (con y sin limpieza de bejucos) en la remediación de 2023 se resolvió adecuando el análisis estadístico.

Para evaluar el crecimiento de las plántulas en los diferentes tratamientos de quema y limpieza de bejucos, se determinaron las tasas de crecimiento absoluto de la altura y del diámetro basal de cada planta entre los datos iniciales y finales. Los cálculos se hicieron a nivel general como también a nivel de cada especie. Todas las plántulas y juveniles medidos en 2022 y 2023 fueron categorizados por su altura en intervalos de 20 cm y comparados en porcentaje de individuos. Se calcularon los promedios, los máximos y mínimos de crecimiento. A nivel de cada especie, se compararon los tamaños en 2022 y 2023 con la prueba de t de Student de datos pareados. Los datos se procesaron inicialmente en el programa Excel y posteriormente se utilizaron programas estadísticos como el PAST 4.11 (Hammer *et al.* 2001) e Infostat (<https://www.infostat.com.ar/>).

RESULTADOS

Cambios en la abundancia, riqueza y diversidad de la regeneración natural

La riqueza de especies y la abundancia de plántulas y juveniles (hasta 2 m de altura) variaron entre algunos tratamientos y aumentaron del 2022 al 2023 (Tabla 1). Con

relación a la abundancia, los sitios quemados y no quemados tuvieron valores similares en 2022 y también en 2023. Al comparar entre sitios con limpieza y sin limpieza de bejucos tampoco hubo una variación significativa de abundancia en 2022 ni en 2023 (Tabla 1). Respecto a la riqueza de especies, hubo un incremento general entre las dos mediciones, pero por separado y de manera significativa se encontró mayor riqueza de especies en las áreas quemadas que en las no quemadas, tanto en 2022 como en 2023. Asimismo, las áreas con limpieza de bejucos tuvieron en promedio y significativamente mayor número de especies que las áreas sin limpieza (Tabla 1).

Tabla 1. Promedio (y error estándar) de abundancia y riqueza de especies de plántulas y juveniles (hasta 2 m de altura) evaluados en dos tratamientos: quema y limpieza de bejucos. Letras distintas (a, b) indican diferencias significativas entre tratamientos (test de Tukey, con un error del 5%). F=Valor de F de Fisher, P=probabilidad.

Tratamientos	N	Año 2022			Año 2023		
		Prom. (EE)	F	P	Prom. (EE)	F	P
<u>Abundancia</u>							
No quemado	10	17,5 (2,96)a	0,23	0,64	29,4 (5,13)a	0,32	0,57
Quemado	10	19,5 (2,96)a			33,5 (5,13)a		
Sin limpieza	10	15,2 (2,96)a	2,48	0,13	27,5 (5,13)a	1,19	0,29
Con limpieza	10	21,8 (2,96)a			35,4 (5,13)a		
<u>Riqueza de especies</u>							
No quemado	10	3,7 (0,74)a	21	0,0003	5,1 (1,1)a	13,47	0,002
Quemado	10	8,5 (0,74)b			10,6 (1,1)b		
Sin limpieza	10	4,7 (0,74)a	7,13	0,02	6,2 (1,1)a	4,85	0,04
Con limpieza	10	7,5 (0,74)b			9,5 (1,1)b		

La diversidad de especies (índice de Shannon en promedio) en sitios quemados fue significativamente mayor que en los sitios no quemados ($F=20,34$; $P=0,0003$; Figura 2a). Por otro lado, el índice de diversidad no tuvo una diferencia significativa entre sitios con limpieza y sin limpieza ($F=3,95$; $P=0,06$; Figura 2b). La interacción del efecto de la quema y de los tratamientos de limpieza de bejucos mostró una tendencia positiva (la diversidad aumentó con sitios quemados y con la limpieza), pero que no fue estadísticamente significativa ($F=0,022$; $P=0,88$; Figura 2c).

Considerando la riqueza y abundancia de especies de manera conjunta, según los análisis de rango especies, en los sitios no quemados y con limpieza, que hubo una gran variación en cuanto al número de especies y el porcentaje de abundancia, tanto en los sitios con limpieza como sin limpieza. El número de especies ha sido reducido, pero con una predominancia de una o dos especies. También, se pudo observar que en los sitios quemados y con limpieza, no hubo recambio de especies entre los años 2022 y 2023. La especie más abundante fue *Acosmium cardenasii* (Fabaceae), seguida de *Neea hermaphrodita* (Nyctaginaceae) y *Capparidastrum coimbranum* (Capparaceae) (Figura 2c). Asimismo, en los sitios no quemados y sin limpieza, tampoco hubo recambio de

especies entre los años evaluados (Figura 3a). En este caso, la especie más abundante fue *A. cardenasii*, seguida de *Machaerium acutifolium* y *Amaioua* sp. (Figura 3a).

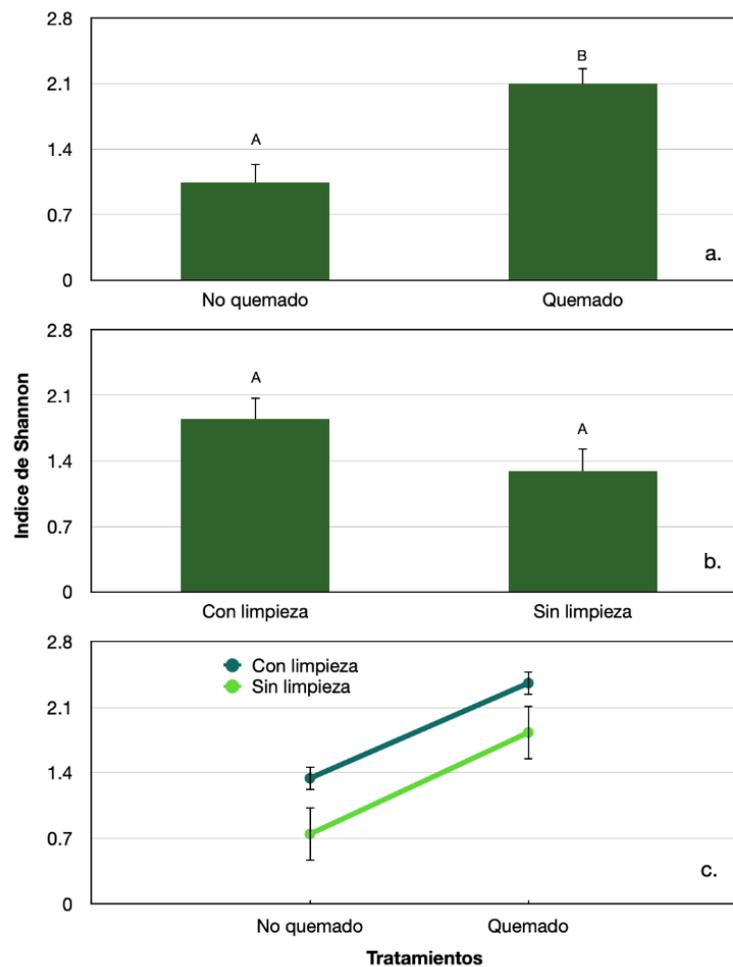


Figura 2. Promedio y error estándar del índice de diversidad de Shannon en sitios quemados vs. no quemados, sitios con limpieza vs. sin limpieza de bejucos, y su interacción entre estos factores. Letras diferentes (A, B) indican diferencias significativas entre los promedios aplicando LSD Fisher con un error de 5%.

En el caso de los sitios quemados y con limpieza, si se pudo notar un recambio de especies, además fueron diferentes a los sitios no quemados. Las especies más abundantes en el 2022 fueron *Zanthoxylum monogynum*, seguidas de *Z. rhoifolium*, *Trichilia pallida* y *Aspidosperma quirandy*. En el 2023, las más abundantes fueron *Z. rhoifolium*, *Z. monogynum*, *A. cardenasii* y *Amaioua* sp. (Figura 4c). También, al analizar parcela por parcela, que hubo mucha variación en cuanto al número de especies y porcentaje de abundancia, siendo algunas parcelas que llegaron a 17 especies, mientras que otras parcelas tuvieron hasta solo 2-3 especies (Figura 4d). En los sitios quemados y sin limpieza, en el 2022, las más abundantes fueron: *Z. rhoifolium*, *Z. monogynum*, *A. quirandy* y *Myracrodruon urundeuva*. En el 2023, las abundantes fueron: *Z. rhoifolium*, *A. cardenasii* y *Anadenanthera colubrina* (Figura 4a). Asimismo, se observó que hubo mucha variación en el número de especies y su abundancia al analizar parcela por parcela. Hay parcelas que tuvieron hasta 3 especies y otras hasta 14 (Figura 4b).

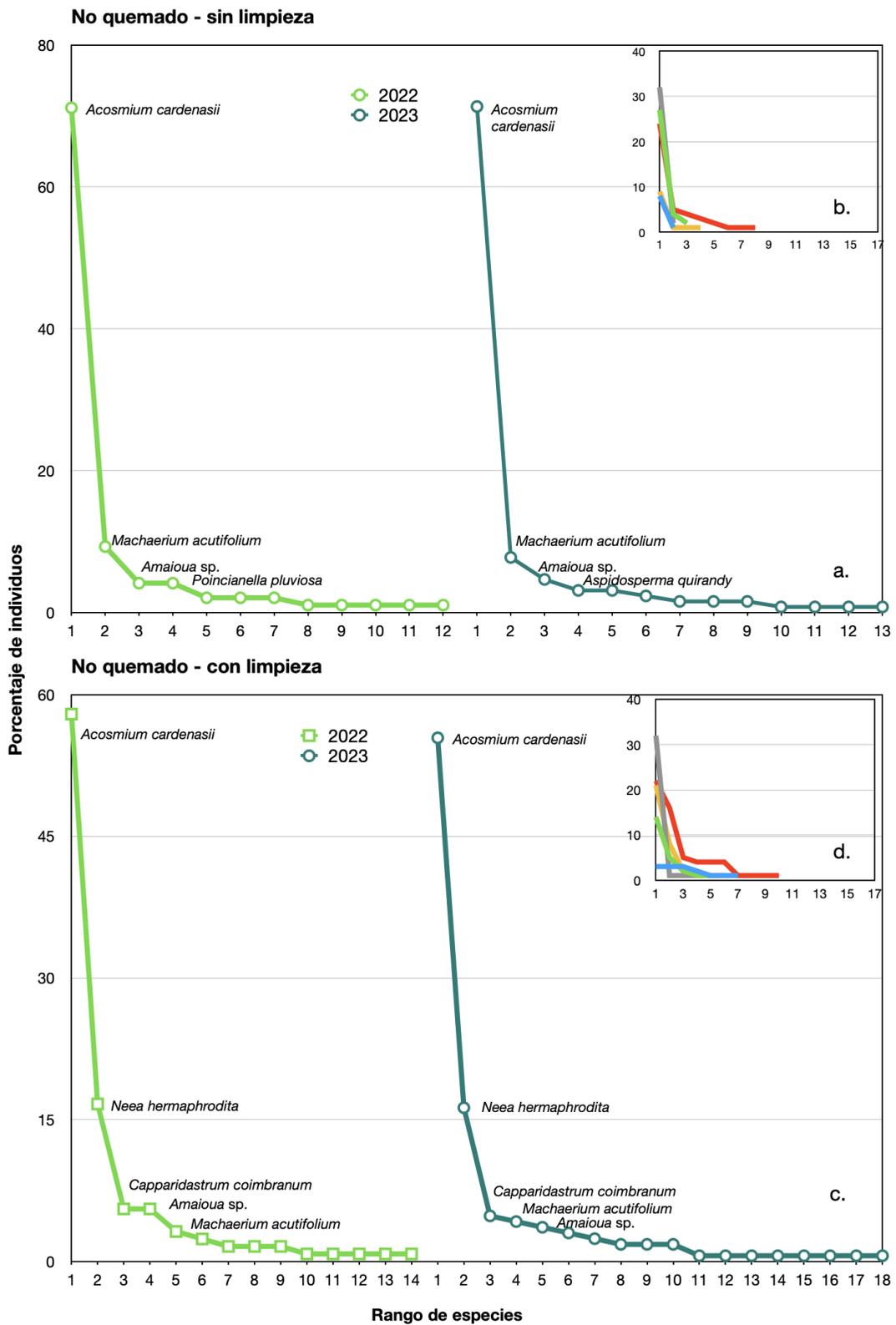


Figura 3. Gráficas de rango-especies de sitios no quemados, tanto en parcelas sin limpieza y con limpieza de bejucos. Las gráficas **a** y **c** muestran las relaciones generales de abundancia vs. número de especies en los dos años de evaluación y el recambio de especies. Las gráficas **b** y **d** muestran las variaciones específicas entre parcelas dentro de cada tratamiento de quema y limpieza de bejucos.

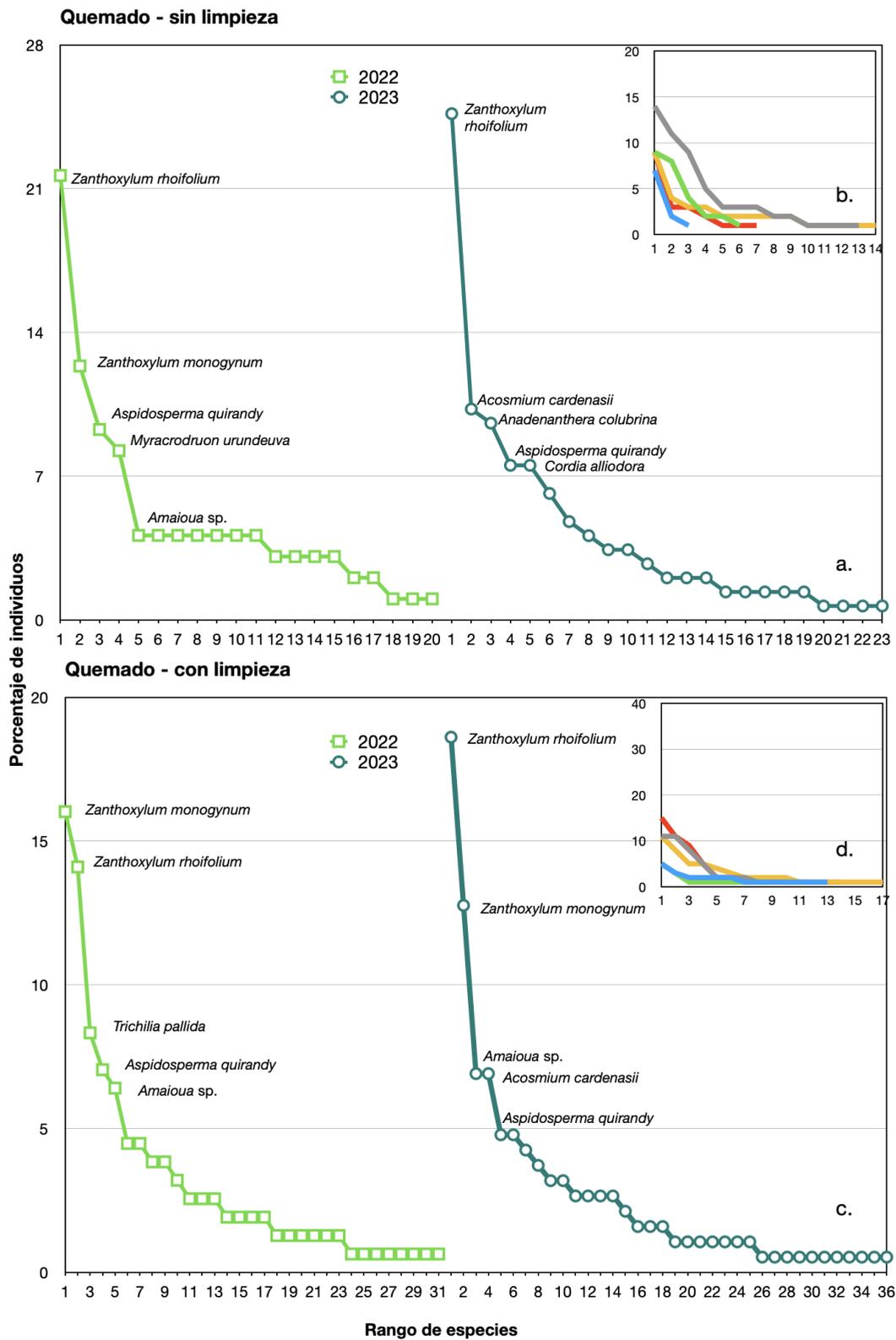


Figura 4. Gráficas de rango-especies de sitios quemados, tanto en parcelas sin limpieza y con limpieza de bejucos. Las gráficas **a** y **c** muestran las relaciones generales de abundancia vs. número de especies en los dos años de evaluación y el recambio de especies. Las gráficas **b** y **d** muestran las variaciones específicas entre parcelas dentro de cada tratamiento de quema y limpieza de bejucos.

Crecimiento de la regeneración natural

La mayoría de los individuos evaluados oscilaron entre 20 a 80 cm de altura (Figura 5). Entre las categorías de altura hubo cambios en algunos casos, entre el año 2022 y 2023. En los sitios no quemados sea con limpieza o sin limpieza, las categorías de altura no variaron en gran magnitud entre ambos años de evaluación. En los sitios quemados y con limpieza, en el año 2022 hubo un alto porcentaje entre los 20 y 80 cm de altura. En cambio, en el año 2023 hubo un notorio incremento de individuos entre 80 a 100 cm de altura. En los sitios quemados y sin limpieza, se notó un descenso de individuos en la categoría de 20 a 40 cm entre los años 2022 y 2023 (Figura 5).

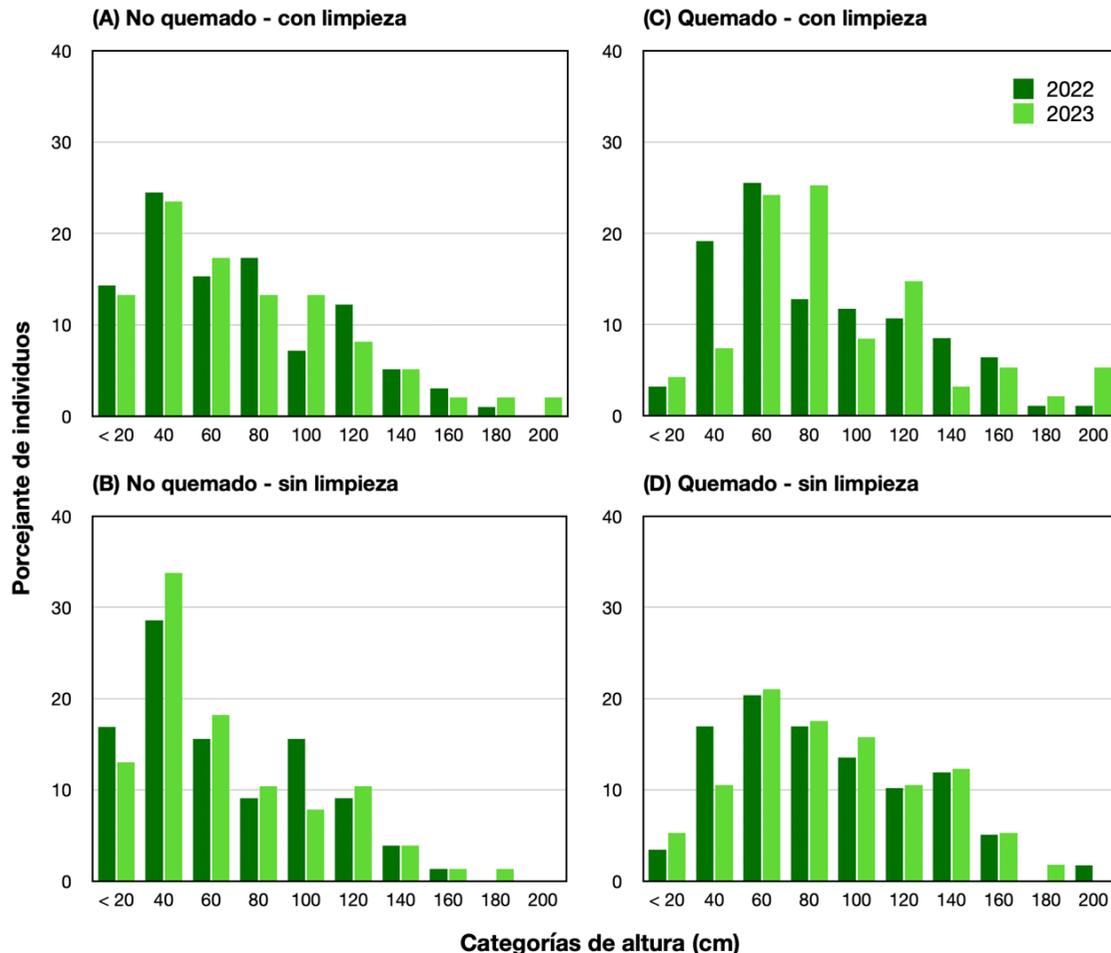


Figura 5. Porcentaje de individuos juveniles de hasta 2 m de altura divididos por intervalos de 20 cm de altura y evaluados en 2022 y 2023.

El crecimiento absoluto varió de acuerdo con los tratamientos aplicados. En términos generales, el crecimiento absoluto anual en diámetro fue bajo entre 2022 y 2023, además que se ve una gran variación tomando en cuenta los valores máximos y mínimos. El mayor crecimiento absoluto promedio fue dado en los sitios quemados y sin limpieza (0,17 cm), seguido de sitios quemados y con limpieza (0,08 cm), con los que coincidieron los crecimientos máximos (Tabla 2). Respecto al crecimiento absoluto anual promedio en altura, el mayor valor fue dado en los sitios quemados, tanto sin

limpieza (9,68 cm) como con limpieza (6,02 cm). Los valores máximos de crecimiento encontrados están entre 80 a 119 cm/año, pero también se registraron valores mínimos negativos (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de crecimiento absoluto tanto en diámetro como en altura de plántulas y juveniles menores a 2 m de altura.

Tratamientos	Nro. de Individuos	Diámetro (cm)			Altura (cm)		
		Promedio	Maximo	Mínimo	Promedio	Maximo	Mínimo
No quemado							
Con limpieza	98	0,017	0,8	-0,98	2,56	80	-55
Sin limpieza	77	-0,011	0,75	-0,35	2,86	119	-50
Quemado							
Con limpieza	97	0,080	1,14	-0,7	6,02	80	-100
Sin limpieza	65	0,175	3,4	-0,5	9,68	90	-49

Con relación al crecimiento en diámetro basal de los plantines, de manera general, la mayoría de las especies no tuvieron un crecimiento significativo de un año a otro, especialmente en áreas no quemadas sea con o sin limpieza de bejucos (Tabla 3). En áreas quemadas, con limpieza, solo *Myracrodruon urundeuva* tuvo un crecimiento significativo con una diferencia anual de 2,91 cm. Para *Zanthoxylum monogynum* el crecimiento en diámetro fue negativo y de manera significativa. En áreas quemadas y sin limpieza, las únicas especies que tuvieron un crecimiento significativo fueron *Casearia gossypiosperma* (0,58 cm) y *Copaifera chodatiana* (1,09 cm) (Tabla 3).

Tabla 3. Crecimiento absoluto en diámetro (cm) de plántulas y juveniles de especies arbóreas en sitios quemados y no quemados, con y sin limpieza de bejucos. Las familias se identifican con las 5 letras iniciales de su nombre. Los valores dentro de corchetes se refieren a los resultados de t de Student de datos pareados: ns = diferencias no significativas, * = diferencias significativas con $p < 0,05$; ** = diferencias altamente significativas con $p < 0,01$; [din]=datos insuficientes.

Nombre científico	Familia	No quemado		Quemado	
		Con limpieza	Sin limpieza	Con limpieza	Sin limpieza
<i>Acosmium cardenasii</i>	FABAC	0,63 [0,39 ns]	-1,13 [0,97 ns]		-0,03 [din]
<i>Amaioua corymbosa</i>	RUBIA	-0,33 [1,22 ns]	0,24 [0,55 ns]	1,3 [2,14 ns]	0,65 [din]
<i>Anadenanthera colubrina</i>	FABAC		-0,22 [0,55 ns]		1,93 [din]
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	APOCY			0,67 [din]	
<i>Aspidosperma quirandy</i>	APOCY	-0,02 [din]		0,73 [1,87 ns]	1,37 [1,7 ns]
<i>Bougainvillea modesta</i>	NYCTA		0,1 [din]		
<i>Capparidastrium coimbranum</i>	CAPPA	0,37 [1,31 ns]			
<i>Casearia gossypiosperma</i>	SALIC	0,72 [0,97 ns]	0,2 [din]	-0,66 [din]	0,58 [29,0 *]

Cont. Tabla 3.

Nombre científico	Familia	No quemado		Quemado		
		Con limpieza	Sin limpieza	Con limpieza	Sin limpieza	
<i>Ceiba samauma</i>	MALVA	0,03 [0,42 ns]				
<i>Celtis iguanaea</i>	ULMAC	-0,02 [din]				
<i>Centrolobium microchaete</i>	FABAC	1,0 [din]				
<i>Copaifera chodatiana</i>	FABAC	0,28 [din] 1,09 [4,38 *]				
<i>Cordia alliodora</i>	CORDIA	-0,03 [din]				
<i>Gallesia integrifolia</i>	PETIV	0,8 [din]				
<i>Hexachlamys edulis</i>	MYRTA	0,3 [din]				
<i>Lueheopsis duckeana</i>	MALVA	1,62 [din] 0,05 [din]				
<i>Machaerium acutifolium</i>	FABAC	-0,16 [1,9 ns]	0,08 [0,19 ns]	-0,15 [din]	0,48 [din]	
<i>Machaerium scleroxylon</i>	FABAC	1,14 [din]				
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	ANACA	2,91 [3,69 *] -0,25 [din]				
<i>Neea hermaphrodita</i>	NYCTA	0,91 [1,05 ns] -0,7 [din]				
<i>Poincianella pluviosa</i>	FABAC	-0,08 [din]	0,05 [0,17 ns]	0,87 [1,76 ns]		
<i>Prockia crucis</i>	SALIC	0,06 [din]	-0,86 [2,11 ns] 0,1 [din]			
<i>Sweetia fruticosa</i>	FABAC	-0,08 [din]				
<i>Talisia esculenta</i>	SAPIN	-0,02 [din]				
<i>Trichilia pallida</i>	MELIA	0,66 [din] 0,07 [7,0 ns]				
<i>Urera baccifera</i>	URTIC	-0,37 [din]				
<i>Zanthoxylum monogynum</i>	RUTAC	-0,1 [din]	-0,08 [din]	-1,3 [2,7 *]	3,94 [1,72 ns]	
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	RUTAC	-0,08 [1,0 ns] 0,23 [din] 0,45 [din]				

Respecto al crecimiento absoluto en altura de los plantines las respuestas a nivel de especies fueron variadas, aunque para la mayoría de las especies la diferencia de crecimiento no fue significativo desde el punto de vista estadístico. También, para varias especies no se tuvo suficientes datos como para realizar el análisis estadístico. En áreas no quemadas y con limpieza de bejucos, no se registró para ninguna especie un crecimiento absoluto en altura entre las dos evaluaciones realizadas. Para áreas no quemadas y sin limpieza de bejucos, sólo *Acosmium cardenasii* tuvo un crecimiento absoluto de 6,8 cm de altura estadísticamente significativa. En las áreas quemadas y con limpieza de bejucos, solo *Poincianella pluviosa* (16,2 cm) y *Zanthoxylum monogynum* (7,6 cm) tuvieron crecimientos absolutos altamente significativos. En el caso de las áreas quemadas y sin limpieza de bejucos, *Cordia alliodora* (19 cm) y *Zanthoxylum rhoifolium* (9,5 cm) tuvieron crecimientos altamente significativos en el lapso de un año (Tabla 4).

Tabla 4. Crecimiento absoluto en altura de plántulas y juveniles de especies arbóreas, en sitios quemados y no quemados, con y sin limpieza de bejucos. Las familias se identifican con las 5 letras iniciales de su nombre. Los valores dentro de corchetes se refieren a los resultados de t de Student de datos pareados: ns = diferencias no significativas, * = diferencias significativas con $p < 0,05$; ** = diferencias altamente significativas con $p < 0,01$; [din]=datos insuficientes.

Especies	Familia	No quemado		Quemado	
		Con limpieza	Sin limpieza	Con limpieza	Sin limpieza
<i>Acosmium cardenasii</i>	FABAC	3,6 [1,3 ns]	6,8 [2,14 *]		-49,0 [din]
<i>Amaioua corymbosa</i>	RUBIA	3,5 [1,39 ns]	-6,3 [1,26 ns]	4,0 [1,39 ns]	6,8 [din]
<i>Anadenanthera colubrina</i>	FABAC		-40,0 [8,0 ns]		11,3 [din]
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i>	APOCY			0,01 [din]	
<i>Aspidosperma quirandy</i>	APOCY			16,5 [1,86 ns]	4,4 [1,85 ns]
<i>Bougainvillea modesta</i>	NYCTA		-5,0 [din]		
<i>Capparidastrum coimbranum</i>	CAPPA	-1,7 [0,98 ns]			
<i>Casearia gossypiosperma</i>	SALIC	-6,0 [0,44 ns]	6,0 [din]	-4,7 [din]	26,0 [din]
<i>Ceiba samauma</i>	MALVA	8,5 [0,81 ns]			
<i>Celtis iguanaea</i>	ULMAC			12,0 [din]	0,01 [din]
<i>Centrolobium microchaete</i>	FABAC				39,0 [din]
<i>Copaifera chodatiana</i>	FABAC			7,7 [din]	14,3 [din]
<i>Cordia alliodora.</i>	CORDI			24,0 [din]	19,0 [4,71 *]
<i>Gallesia integrifolia</i>	PETIV			-5,0 [din]	
<i>Hexachlamys edulis</i>	MYRT			-30,0 [din]	
<i>Lueheopsis duckeana</i>	MALVA			4,3 [din]	-2,0 [din]
<i>Machaerium acutifolium</i>	FABAC	-6,5 [0,89 ns]	-12,0 [1,77 ns]	10,0 [1,85 ns]	-6,5 [4,33 ns]
<i>Machaerium scleroxylon</i>	FABAC			65,0 [din]	
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	ANAC			15,0 [din]	-32,0 [din]
<i>Neea hermaphrodita</i>	NYCTA	1,5 [1,05 ns]		0,5 [din]	
<i>Poincianella pluviosa</i>	FABAC	0,01 [din]	10,5 [1,26 ns]	16,2 [2,96 *]	
<i>Prockia crucis</i>	SALIC	10,0 [din]		3,3 [din]	1,7 [din]
<i>Sweetia fruticosa</i>	FABAC			-50,0 [din]	12,0 [din]
<i>Talisia esculenta</i>	SAPIN	-1,0 [din]		0,01 [din]	
<i>Trichilia pallida</i>	MELIA		4,0 [din]	0,4 [din]	25,5 [din]
<i>Urera baccifera</i>	URTIC	25,0 [din]			
<i>Zanthoxylum monogynum</i>	RUTAC	10,0 [din]	0,01 [din]	7,6 [3,4 **]	22,6 [1,78 ns]
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	RUTAC		0,01 [0,01 ns]	6,1 [2,14 ns]	9,5 [3,94 **]

DISCUSIÓN

El fuego y los bejucos son factores que afectan significativamente la regeneración natural de los árboles. El fuego puede tener efectos negativos y positivos, mientras que los bejucos generalmente suprimen la regeneración natural. En estudios realizados en un ecosistema similar en Lomerío, se encontró que la regeneración natural de especies comerciales fue favorecida después de 6 años de evaluación (Kennard 2004). En otros estudios, se encontró que la abundancia fue favorecida por el fuego en el bosque seco chiquitano de Lomerío, mientras que, en el bosque subhúmedo de Guarayos, la abundancia fue similar a mayor entre áreas quemadas y no quemadas (Gould *et al.* 2002, Mostacedo *et al.* 2001). En otro estudio realizado en un bosque seco chiquitano, INPA Parket, la abundancia de regeneración natural fue similar entre tratamientos de quema y aprovechamiento de madera (Grootemaat 2008). Nuestro estudio muestra el bajo efecto del fuego en la abundancia después de 4 años de ocurrido los incendios. En términos de abundancia total, los valores han sido similares, pero dominados, en áreas no afectadas por el fuego, por especies tolerantes a la sombra, como *Acosmium cardenasii*. En cambio, en áreas afectadas por el fuego en términos generales la abundancia fue similar al de sitios no quemados, pero fueron otras especies las que dominaron, y entre ellas destacan especies demandantes de luz.

Respecto a la diversidad de especies, al parecer hay diferentes respuestas que pueden tener los bosques en relación con la quema. En un estudio realizado en un bosque seco chiquitano, la diversidad de especies en áreas quemadas fue similar al de áreas no quemadas (Mostacedo *et al.* 2001), pero este mismo estudio muestra menor diversidad en áreas quemadas en un bosque subhúmedo de Guarayos. En un bosque seco en la India, se encontró que parcelas de 2-5 años y de 15 años tuvieron mayor diversidad de especies que parcelas recién quemadas (Verma *et al.* 2017), lo que indica que el fuego puede ayudar en el aumento de la diversidad en el largo plazo. En nuestro estudio, después de 4 años de ocurrido el fuego, se pudo encontrar mayor diversidad de especies en parcelas quemadas, esto se incrementó levemente con la limpieza de bejucos. Además, se encontró un recambio de especies, es decir que hubo otras especies, mayormente demandantes de luz, en áreas quemadas, aunque se mantuvieron la mayoría de las especies tolerantes a la sombra. Algo interesante que se vio también, es el recambio de especies desde el 2022 hasta el 2023. Esto muestra el dinamismo que tienen los bosques perturbados en términos de su sucesión ecológica.

En relación con la limpieza o remoción de bejucos, este tratamiento ha sido estudiado en varios ecosistemas. Se tiene una recopilación de los estudios realizados, especialmente en Latinoamérica, y los efectos generalmente son positivos en la abundancia, diversidad y crecimiento en la fase de regeneración (Estrada-Villegas & Schnitzer 2018). En el Bajo Paraguá se encontró que la remoción de bejucos favorece la regeneración de algunas especies maderables (Pérez-Salicrup 1998). Nuestro estudio también corrobora este resultado encontrado por otros, sin embargo, no ha sido tan contundente como se esperaba. Es posible que hay que esperar un tiempo para ver el efecto final. Sin embargo, en varias parcelas se ha visto que, si bien los bejucos ya no colonizan otra vez, hay otras

especies como las hierbas y gramíneas que pueden sobreabundar y perjudicar el desarrollo de los plantines de especies arbóreas (Scheper *et al.* 2021).

Respecto al crecimiento de los plantines, sitios quemados favorecen el crecimiento de ciertos tamaños, y al parecer no hace mucha diferencia el hecho de hacer la limpieza de bejucos. En este caso, los más favorecidos fueron los plantines de 80 a 10 cm. Solo algunas especies demandantes de luz son las que más han crecido, en áreas quemadas. En la mayoría de las especies hubo una gran variación en el crecimiento de diámetro o altura, lo que hizo que hubiera diferencias significativas solo para algunas pocas especies, que son más o menos demandantes de luz. Al respecto, en un estudio realizado en un bosque seco chiquitano, se encontró que plántulas de *Anadenanthera colubrina* son favorecidas en su crecimiento con una alta intensidad de fuego (Kennard & Gholz 2001). Hay que hacer notar que se encontraron varias especies con crecimiento absoluto negativo, tanto en diámetro como en altura. Al parecer esto está relacionado con el estrés hídrico que sufren los plantines en la época seca y la depredación que pueden sufrir estos (Marod *et al.* 2004). Hay varias especies que, al sufrir estrés hídrico o ramoneo por mamíferos, reducen en tamaño, pero posteriormente rebrotan. Aun no se conoce el grado que sufren los plantines, pero es posible que sea muy frecuente.

CONCLUSIONES

Este estudio permite concluir que tanto el fuego como la limpieza de bejucos afectan positivamente en la riqueza y diversidad de especies de la regeneración natural, mas no en la abundancia. También, hay una tendencia de recambio de especies en los sitios quemados y con limpieza. Asimismo, hay un patrón que las especies tolerantes a la sombra sobreabundan en sitios poco perturbados, mientras que las especies demandantes de luz sobreabundan en sitios perturbados. El crecimiento de la regeneración natural tiene una tendencia de crecer mayormente en sitios perturbados, especialmente en sitios quemados y con limpieza, sin embargo, las tasas de crecimiento son moderadas. A nivel de especies, hay mucha variación en su crecimiento, pero las especies demandantes de luz tienden a tener mayor crecimiento. Con los resultados de esta investigación se puede recomendar la limpieza de bejucos, después de fuego, para aumentar principalmente la diversidad de especies arbóreas en la fase de juveniles. Este estudio permitió avanzar en el conocimiento para tomar acciones de restauración ecológica que se pueden realizar dentro del marco de la regeneración natural asistida.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado por el gobierno de Canadá administrado por la Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC). Agradecemos el apoyo del personal de campo de Alta Vista por apoyar en la remediación de las parcelas de regeneración natural. Mario Saldías y Daniel Villarroel aportaron en la identificación de varias especies a través de muestras de herbario. Agradecemos al Museo de Historia Natural Noel Kempff Mercado por el acceso al Herbario para la revisión de muestras botánicas.

LITERATURA CITADA

- Anivarro, R., H. Azurduy, O. Maillard & A. Markos. 2019. Diagnóstico por teledetección de áreas quemadas en la Chiquitania. Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC). Santa Cruz, Bolivia.
- Catari, J. C., J. Villagomez & M. Saavedra. 2010. Vegetación de la hacienda Alta Vista: composición, estructura, diversidad de áreas importantes para la conservación. Santa Cruz, Bolivia: Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano.
- Estrada-Villegas, S. & S. A. Schnitzer. 2018. A comprehensive synthesis of liana removal experiments in tropical forests. *BIOTROPICA* 50 (5): 729-739. <https://doi.org/10.1111/btp.12571>
- FCBC. 2015. Plan de ordenamiento predial, Centro de Estudios del Bosque Seco Tropical Alta Vista (memoria descriptiva). Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano. Santa Cruz, Bolivia.
- Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz. 2020. Plan estratégico para la implementación del plan de recuperación de las áreas afectadas por los incendios forestales en el Departamento de Santa Cruz. Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz / FCBC / PNUD. Santa Cruz, Bolivia.
- Gould, K. A., T. S. Fredericksen, F. Morales, D. Kennard, F. E. Putz, B. Mostacedo & M. Toledo. 2002. Post-fire tree regeneration in lowland Bolivia: implications for fire management. *Forest Ecology and Management* 165 (1): 225-234. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00620-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00620-X)
- Griscom, H. P. & M. S. Ashton. 2011. Restoration of dry tropical forests in Central America: A review of pattern and process. *Forest Ecology and Management* 261 (10): 1564-1579. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.027>
- Grootemaat, S. 2008. "Burn to be wild": Effects of fire and logging on the regeneration in a dry tropical forest of Bolivia. Tesis de maestría. Wageningen University / Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Wageningen, Holanda.
- Hammer, Ø., D. A. T. Harper & P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistic software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* 4 (1): 9.
- Kennard, D. 2004. Commercial tree regeneration 6 years after high-intensity burns in a seasonally dry forest in Bolivia. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere* 34 2199-2207. <https://doi.org/10.1139/x04-100>
- Kennard, D. K. 2000. Regeneration of commercial tree species following controlled burns in a tropical dry forest in Eastern Bolivia. Tesis de doctorado. University of Florida. Gainesville, Florida, USA.
- Kennard, D. K. & H. L. Gholz. 2001. Effects of high- and low-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. *Plant and Soil* 234 (1): 119-129. <https://doi.org/10.1023/A:1010507414994>
- Maillard, O. 2023. Post-fire natural regeneration trends in Bolivia: 2001-2021. *Fire* 6

- (1): 18. <https://doi.org/10.3390/fire6010018>
- Maillard, O., S. K. Herzog, R. W. Soria-Auza & R. Vides-Almonacid. 2022. Impact of Fires on Key Biodiversity Areas (KBAs) and Priority Bird Species for Conservation in Bolivia. *Fire* 5 (1): 4. <https://www.mdpi.com/2571-6255/5/1/4>
- Marod, D., U. Kutintara, H. Tanaka & T. Nakashizuka. 2004. Effects of drought and fire on seedling survival and growth under contrasting light conditions in a seasonal tropical forest. *Journal of Vegetation Science* 15 (5): 691-700. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2004.tb02311.x>
- Marshall, A. R., M. A. Coates, J. Archer, E. Kivambe, H. Mnendendo, S. Mtoka, R. Mwakisoma, R. J. R. L. de Figueiredo & F. M. Njilima. 2017. Liana cutting for restoring tropical forests: a rare palaeotropical trial. *African Journal of Ecology* 55 (3): 282-297. <https://doi.org/10.1111/aje.12349>
- Mostacedo, B. 2011. Silviculture of Tropical Dry Forests: Bolivian case study. pp. 285-295. En S. Günter, M. Weber, B. Stimm & R. Mosandl (eds), *Silviculture in the Tropics*. Springer-Verlag. Berlin, Alemania.
- Mostacedo, B., T. S. Fredericksen, K. Gould & M. Toledo. 2001. Responses of community structure and composition to wildfire in dry and subhumid tropical forests in Bolivia. *Journal Of Tropical Forest Science* 13 (3): 488-502. <https://www.jstor.org/stable/43582347>
- Mostacedo, B., Z. Villegas, J. C. Licona, A. Alarcón, D. Villarroel, M. Peña-Claros & T. S. Fredericksen. 2009. *Ecología y silvicultura de los principales bosques tropicales de Bolivia*. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia.
- Navarro, G. 2011. *Clasificación de la vegetación de Bolivia*. Centro de Ecología Difusión, Fundación Simón I. Patiño. Santa Cruz, Bolivia.
- Perez-Salicrup, D. R. 2001. Effect of liana cutting on tree regeneration in a liana forest in Amazonian Bolivia. *Ecology* 82 (2): 389-396. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[0389:EOLCOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[0389:EOLCOT]2.0.CO;2)
- Pérez-Salicrup, D. R. 1998. Effects of liana cutting on trees and tree seedlings in a tropical forest in Bolivia. Ph. D. Thesis. University of Missouri. St. Louis.
- Scheper, A. C., P. A. Verweij & M. van Kuijk. 2021. Post-fire forest restoration in the humid tropics: A synthesis of available strategies and knowledge gaps for effective restoration. *Science of the Total Environment* 771 144647. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144647>
- Terrazas, J. 2010. Diagnóstico de suelos de la Propiedad Alta Vista. Santa Cruz, Bolivia: Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano, pp. 100.
- Verma, S., D. Singh, S. Mani & S. Jayakumar. 2017. Effect of forest fire on tree diversity and regeneration potential in a tropical dry deciduous forest of Mudumalai Tiger Reserve, Western Ghats, India. *Ecological Processes* 6 (1): 32. <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0098-0>

Manuscrito recibido en mayo de 2024

Aceptado en septiembre de 2024