

ARTICULO CIENTÍFICO

Recuperación de la vegetación en el dosel y sotobosque, después de los incendios forestales en bosques de la Chiquitania, Santa Cruz, Bolivia

Adriana Viruez-Villca^{1,2} y Bonifacio Mostacedo³

¹Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC)

²Carrera de Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno. Correo electrónico: adriana viruez805@gmail.com

³Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia. Correo electrónico: bonifaciomostacedo@uagrm.edu.bo

Autor de correspondencia: bonifaciomostacedo@uagrm.edu.bo

RESUMEN

La capacidad de recuperación después de una perturbación es un tema de interés amplio para entender la resiliencia que puedan tener los ecosistemas tropicales. El objetivo de este estudio fue estudiar la capacidad de recuperación del dosel y el sotobosque en dos tipos de bosque (bosque seco semideciduo y bosque subhúmedo), después de haber pasado 6 meses desde los incendios ocurridos en los años 2019 y 2020. Para medir la capacidad de recuperación del dosel, se compararon áreas quemadas y no quemadas y se evaluaron el porcentaje de apertura, luz directa, luz indirecta e índice de área foliar, a través de fotografías tomadas con una cámara fotográfica y posteriormente analizada con un software Gap Analyzer. La capacidad de recuperación del sotobosque se midió evaluando el porcentaje de cobertura de las diferentes formas de vida, además de incluir el porcentaje de suelo descubierto. Los resultados indican que los parámetros medidos en el dosel fueron similares tanto en el bosque quemado como en el no quemado. De igual manera, la cobertura de las diferentes formas de vida es parecida en áreas quemadas y no quemadas, aunque hay una leve tendencia de haber más cobertura de bejucos y hierbas en áreas quemadas. En conclusión, la capacidad de recuperación tanto del dosel como del sotobosque fue rápida después de la perturbación causada por el fuego.

Palabras clave: Chiquitania, cobertura del dosel, formas de vida, regeneración, recuperación de bosques, incendios forestales.

Recovery of canopy and understory vegetation following wildfires in the forests of Chiquitania, Santa Cruz, Bolivia

ABSTRACT

The ability to recover after a disturbance is a significant topic for understanding the resilience of tropical ecosystems. The aim of this study was to analyze the recovery capacity of the canopy and understory in two types of forests (semi-deciduous dry forest and sub-humid forest) following six months after the fires that occurred in 2019 and 2020. To assess the recovery capacity of the canopy, burned and unburned areas were compared, measuring the percentage of openness, direct light, indirect light, and leaf area index through photographs taken with a camera and subsequently analyzed using Gap Analyzer software. The recovery capacity of the understory was evaluated by measuring the coverage percentage of different

life forms, in addition to including the percentage of exposed soil. The results indicate that the parameters measured in the canopy were similar in both burned and unburned forests. Likewise, the coverage of various life forms is comparable in burned and unburned areas, although there is a slight tendency for more coverage of vines and grasses in the burned areas. In conclusion, the recovery capacity of both the canopy and understory was rapid following the disturbance caused by fire.

Keywords: canopy cover, Chiquitania, forest recovery, life forms, regeneration, wildfires.

INTRODUCCIÓN

La ecorregión de la chiquitania está conformada por diferentes ecosistemas que abarcan desde ambientes húmedos (hacia el norte) y secos (hacia el sur) (Beck et al., 1993; Ibisch & Mérida, 2003). Sin embargo, cuando llega la época seca, todos los ecosistemas tienen el riesgo de ser quemados, sea de manera natural o inducida, y esto se debe por la combinación de factores climáticos favorables para los incendios, disponibilidad de hojarasca y la inducción de fuego. En el año 2019, más de 5 millones de hectáreas fueron quemadas en Bolivia, de los cuales el 60% fue en formaciones boscosas (Anivarro et al., 2019). En algunos sitios, se produjeron los megaincendios que tuvieron efectos devastadores (Anivarro et al., 2019). Asimismo, en el año 2020, los incendios también fueron una amenaza, aunque en superficies menores.

El fuego tiene efectos negativos y positivos en la ecología de los ecosistemas. Los efectos negativos tienen relación con la pérdida de biodiversidad, el incremento de las emisiones de CO², cambios en la fertilidad del suelo, y efectos en la calidad de los cauces de agua (Vedovato et al., 2025). Sin embargo, el fuego también tiene efectos que pueden ser favorables en la ecología de un ecosistema y puede tener una dependencia, lo que hace que las especies puedan tener estrategias adaptativas al fuego (Parra-Lara & Bernal-Toro, 2010). En algunos ecosistemas, hay reportes sobre la estimulación de la floración y estimulación de la regeneración natural después del fuego (Coutinho, 1990; Kennard, 2004).

En la mayoría de los ecosistemas tropicales secos susceptibles a ser quemados, un porcentaje considerable de plantas han desarrollado estrategias de adaptación que permite la sobrevivencia de estos. Muchos árboles tienen cortezas gruesas y corchosas, otros tienen xilopodios, y también hay muchos que rebrotan ya sea de la raíz o tallo (Hoffmann & Solbrig, 2003; Rodrigues et al., 2004). Estas estrategias permiten una recuperación de la diversidad y la estructura de la vegetación.

Parte de la estructura del bosque que puede ser medida es la apertura o cobertura del dosel, que regula la entrada de luz hacia los diferentes estratos. Debido a las altas temperaturas, las plantas son consumidas por el fuego y muchos árboles mueren, por lo que generalmente el bosque queda inicialmente sin hojas y abierto que permite la entrada de un mayor porcentaje de luz comparado a lo habitual (Pereira et al., 2024). Esto sucede también en el sotobosque, que, por la quema de la hojarasca, las diferentes formas de vida son afectadas y muchas son quemadas y otras pueden ser muertas. Pero también, se conoce que hay varias especies que germinan una vez quemadas ya que se debilita la testa de las semillas, lo que hace que con las primeras lluvias puedan emerger rápidamente.

La pregunta de investigación que guió este estudio fue: ¿Cuál es la capacidad de recuperación de la vegetación en el dosel y el suelo después del fuego, en dos tipos de bosque en la ecorregión de la Chiquitania? En la revisión bibliográfica no se ha podido encontrar información específica relacionada a este tema. Por ello, el objetivo fue determinar la capacidad de recuperación de la vegetación del dosel y suelo después de los incendios forestales, para explorar el potencial de resiliencia que tienen dos tipos de bosque más importantes y representativos de la ecorregión chiquitana.

MÉTODOS

Sitios de estudio

El estudio se realizó en dos sitios dentro de la región chiquitana, en Santa Cruz, Bolivia: 1) Centro de Estudios del bosque seco tropical Alta Vista y 2) Reserva del Patrimonio Natural y Cultural de Copaibo, Concepción (Figura 1).

El Centro de estudios del bosque seco tropical Alta Vista se encuentra ubicado a 17 km del municipio de Concepción, provincia Ñuflo de Chávez del departamento de Santa Cruz, Bolivia. Perteneciente a la ecorregión del Bosque Semideciduo Central (Garzón 2000). El sitio de estudio presenta una altitud no superior a los 500 m y tiene una temperatura media anual de 24,2 °C. La precipitación anual llega a alcanzar 1288 mm. Este sitio de estudio corresponde al bosque semideciduo sobre suelos bien drenados. La vegetación de Alta Vista está conformada en su mayor parte por el bosque subhúmedo semideciduo y el bosque semideciduo hidrofítico y freatófilo. También, está la vegetación del Cerradao (o pampa monte) y vegetación acuática (Catari et al., 2010). El bosque subhúmedo semideciduo tiene árboles hasta 20-25 m de altura, con especies características como *Acosmium cardenasii*, *Centrolobium microchaete*, *Simira catappifolia* y *Pisonia zapallo*. En el bosque semideciduo hidrofítico las especies características son *Capparidastrum coimbranum*, *Gallesia integrifolia*, *Syagrus sancona*, *Attalea phalerata* y *Cariniana estrellensis* (Catari et al., 2010).

La Reserva del Patrimonio Natural y Cultural (RMPNyC) Copaibo de Concepción, ubicado en la Provincia Ñuflo de Chávez a 180 km al Noreste del Municipio de Concepción, cuenta con 16 comunidades, ubicada en el Distrito 5 y tiene una extensión territorial de 347.037 hectáreas. Se tiene acceso por la población de Santa Rosa de Roca por el camino que lleva a la población de San Martín, Florida y Piso Firme, entre las más importantes. El clima en la zona de la reserva es subhúmedo y cálido estacional con un gradiente de temperaturas medias de 26,2 °C. El bosque subhúmedo es una transición entre el bosque seco chiquitano y el bosque amazónico. Los árboles llegan a tener entre 25 a 35 m de altura, con diámetros de algunas especies que pueden sobrepasar a 1 metro. Especies comunes de este tipo de bosque son: *Ampelocera ruizii*, *Cariniana ianeirensis*, *Combretum leprosum*, *Hura crepitans*, *Gallesia integrifolia*, *Jacaratia spinosa*, *Swietenia macrophylla*, *Schizolobium amazonicum*, entre otras (Beck et al., 1993; Villegas et al., 2008). Varias especies arbóreas se comparten entre el bosque seco chiquitano y el bosque subhúmedo.

Diseño de muestreo

El trabajo de campo se realizó entre febrero y marzo de 2021. La Reserva de Copaibo (bosque subhúmedo) fue quemada en octubre del 2020, mientras que los bosques de Alta Vista (bosque seco semideciduo) se quemaron en el 2019. La evaluación se hizo en los meses de febrero y marzo del año 2021, 5-6 meses después de haber sido quemados. En total se hicieron 20 líneas de 50 m, de las cuales 10 líneas se colocaron en el bosque semideciduo y el restante en bosque subhúmedo. En cada tipo de bosque, el 50% de las líneas se colocaron en áreas quemadas y las otras 50% en áreas no quemadas. Las líneas fueron ubicadas mínimamente a 100 m de distancia entre líneas y tomando en cuenta la accesibilidad. En cada línea se ubicaron 6 puntos de muestreo. En cada punto de muestreo, en el suelo se midió la cobertura (en porcentaje) de las diferentes formas de vida en cuadros de 2x2 m. En el dosel se tomaron fotografías para medir la apertura, índice de área foliar y luz directa y difusa.

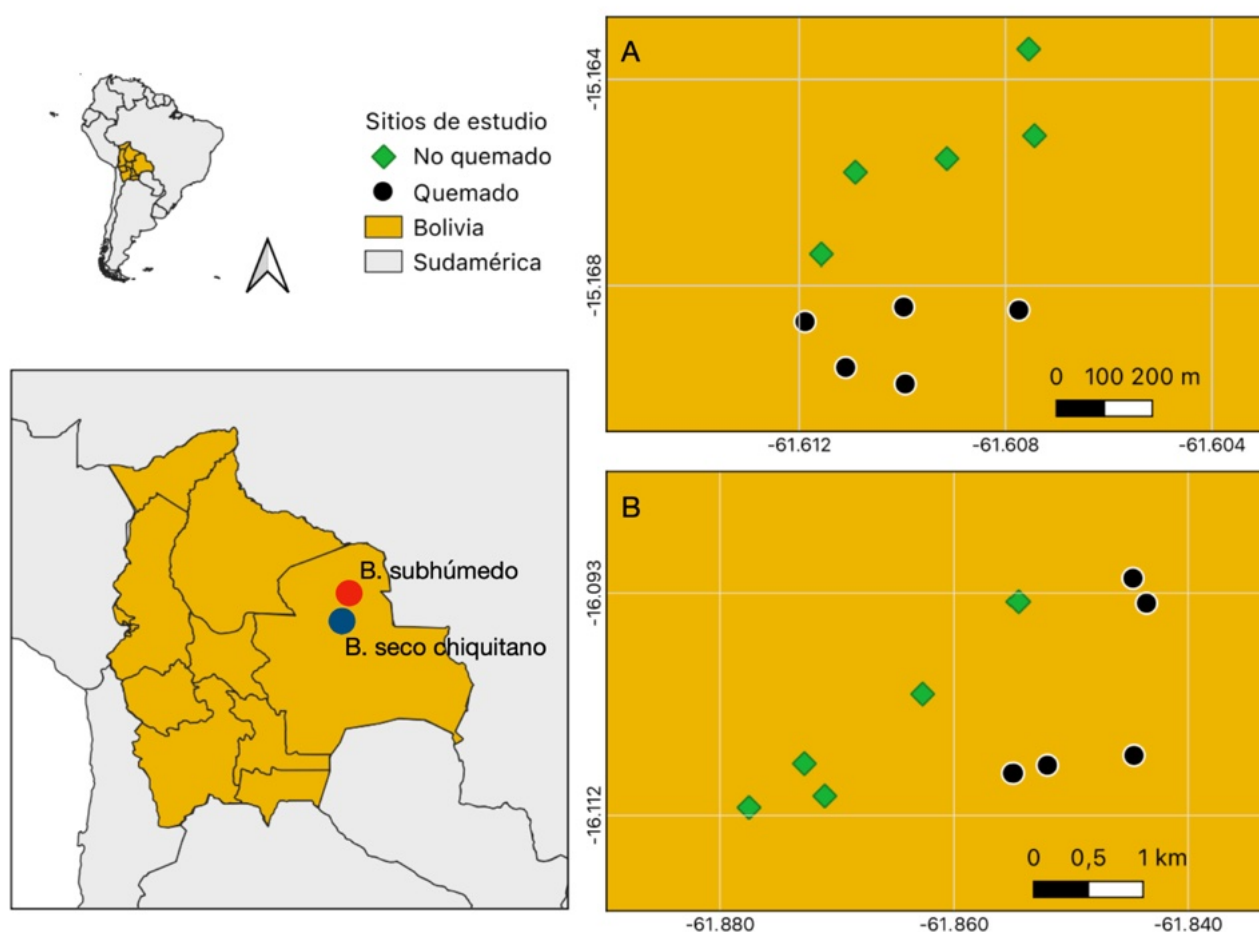


Figura 1. Ubicación de los sitios de estudio A) bosque sub-húmedo en la Reserva Municipal del Copiabo y B) bosque seco chiquitano en el Centro de Estudios del Bosque Seco Chiquitano de Alta Vista.

Toma de datos

Para determinar la apertura del dosel, en cada línea de muestreo y cada 10 m de distancia, se tomaron 2 fotografías del dosel, lo cual significó un total de 12 tomas por línea. En total se tomaron 240 fotografías. Las fotos se tomaron a una altura de 1,50 m sobre el nivel del suelo, utilizando un celular marca Huawei P Smart 2019. Las fotografías se analizaron con el software Gap Light Analyzer (GLA) (<https://www.caryinstitute.org/science/our-scientists/dr-charles-d-canham/gap-light-analyzer-gla>), a través del cual se determinó: porcentaje de apertura del dosel, índice de área foliar, porcentaje de radiación directa y porcentaje de radiación difusa. Para medir la cobertura de la vegetación en el suelo, en cada línea se utilizaron 6 cuadrantes de 2x2 m, en los cuales se registró el porcentaje de cobertura de diferentes formas de vida, entre ellas: árbol, arbusto, palmera, hierba, bejuco, gramíneas y bromelias. También se midió el porcentaje de cobertura de suelo abierto.

Análisis de datos

Para determinar las diferencias estadísticas entre áreas quemadas y no quemadas, de las variables medidas se calcularon los promedios y error estándar. Adicionalmente, se hicieron análisis de Mann-Whitney, tomando en cuenta que el número de réplicas era reducido. Posteriormente se hicieron gráficos (mediciones del dosel) y un cuadro (cobertura del suelo). Para realizar los análisis estadísticos se utilizó el programa InfoStat.

RESULTADOS

Las mediciones tomadas en el dosel mostraron similitud entre áreas quemadas y no quemadas. Tanto en el bosque seco semideciduo como en el bosque subhúmedo, los porcentajes de apertura del dosel, porcentaje de radiación directa y difusa y los índices de área foliar fueron estadísticamente similares entre áreas quemadas y no quemadas (Figura 2).

Con relación a la cobertura de formas de vida en el suelo del bosque seco semideciduo no quemado y quemado, los árboles (26,8%, 23,5%), bejucos (15,6%, 23,7%) y hierbas (15,2%, 22,8%) tuvieron la tendencia a predominar en cobertura. En las áreas no quemadas el 27% del suelo estaba libre de cualquier forma de vida. Al comparar las formas de vida entre áreas no quemadas y quemadas, estadísticamente hubo similitudes en todos los casos (Tabla 1). En las áreas no quemadas del bosque subhúmedo, hubo una tendencia de tener mayor cobertura de árboles (21,7 %) y gramíneas (28%). En cambio, en las áreas quemadas las formas de vida con tendencia a tener mayor cobertura fueron gramíneas (26,2%) y hierbas (23,7%). Al comparar entre áreas no quemadas y quemadas, los porcentajes de cobertura de todas las formas de vida fueron estadísticamente similares (Cuadro 1).

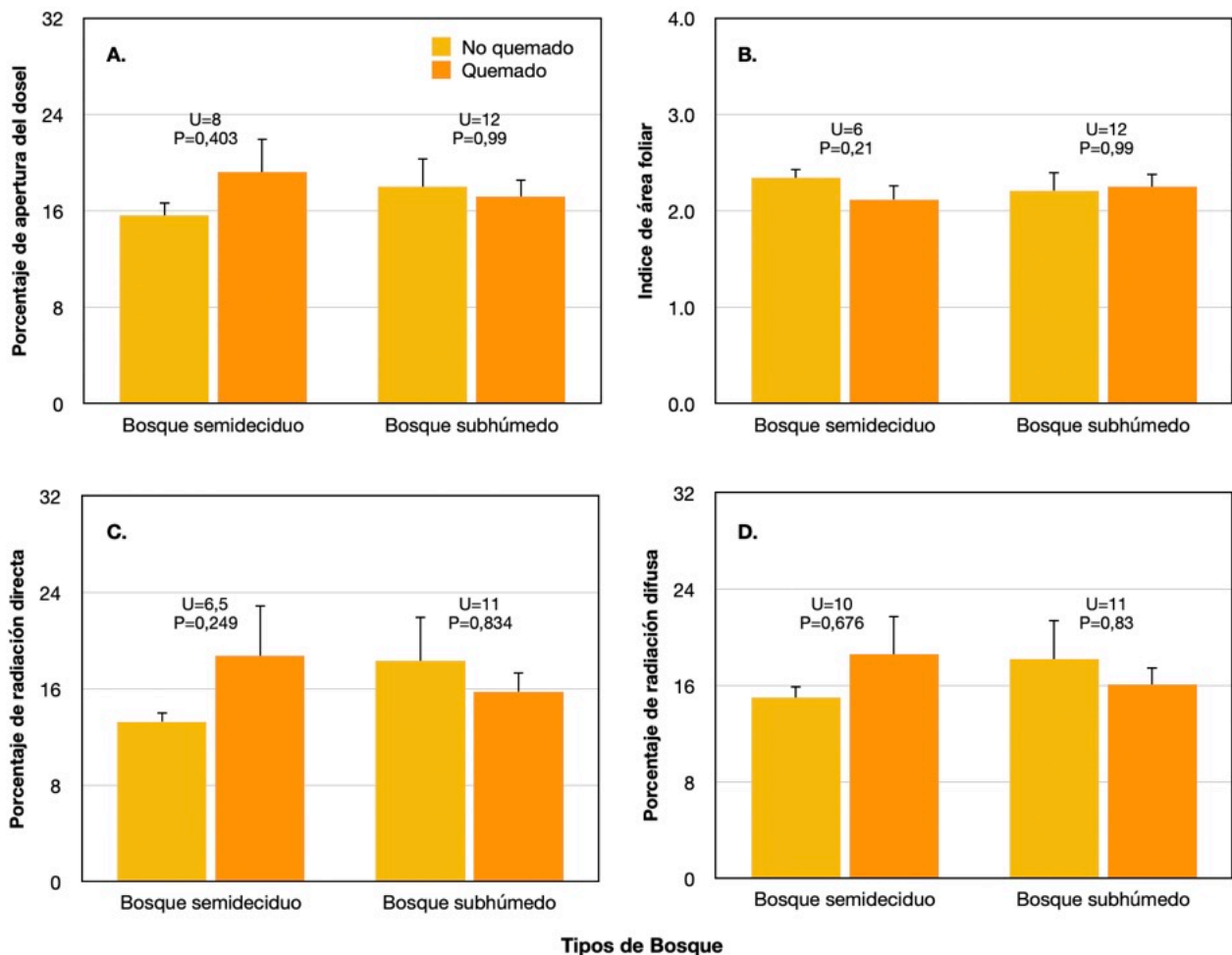


Figura 2. Valores promedio de los parámetros estructurales y de microambiente lumínico en porcentaje. Las barras horizontales representan el error estándar, mostrando la variabilidad de los resultados de cada parámetro. U = Prueba de Mann-Whitney, P = probabilidad.

DISCUSIÓN

La capacidad de regeneración tanto en el sotobosque como en el dosel es signo de la resiliencia que puede tener un ecosistema a las perturbaciones como son los incendios forestales. En este estudio se ha querido analizar la capacidad de recuperación de la estructura del dosel y la cobertura del suelo, después de un disturbio fuerte como son los incendios forestales. Varios estudios en bosques parecidos a los estudiados han mostrado alta capacidad de sobrevivencia de árboles después del fuego. Sin embargo, hay poca información sobre la capacidad de recuperación de la vegetación en el dosel del bosque y sotobosque.

Cuadro 1. Promedio (\pm error estándar) del porcentaje de cobertura de las formas de vida encontradas en el suelo en dos tipos de vegetación en áreas quemadas y no quemadas (U = valores de Mann-Whitney, P = valores de probabilidad).

Formas de vida	No quemada				Quemada			U	P
	Promedio		EE		Promedio		EE		
<u>Bosque seco semideciduo</u>									
Arbol	26,83	±	2,69		23.50	±	3,27	12,5	916
Arbusto	5,50	±	0,91		7.83	±	1,47	7,0	293
Bejuco	15,67	±	2,61		23.67	±	2,69	6,5	249
Bromelia	6,67	±	2,29		0.69	±	0,69	5,0	118
Graminea	12,00	±	2,27		15.67	±	2,19	9,0	521
Hierba	15,20	±	2,03		22.83	±	2,15	4,0	94
Palmera	0,03	±	0,03		0.48	±	0,48	12,0	1
Suelo	26,57	±	3,51		16.67	±	2,18	6,5	247
<u>Bosque subhúmedo</u>									
Arbol	21,70	±	2,28		16,53	±	2,54	9,0	531
Arbusto	8,00	±	1,11		7,97	±	1,41	10,0	672
Bejuco	14,00	±	1,83		15,23	±	2,02	10,5	753
Bromelia	0,00	±	0,00		0,00	±	0,00	-	-
Graminea	28,00	±	4,66		26,2	±	3,80	7,0	296
Hierba	16,37	±	1,65		23,67	±	2,75	6,0	210
Palmera	1,93	±	1,40		2,20	±	1,99	11,0	830
Suelo	15,50	±	1,70		18,00	±	2,36	10,0	676

En los primeros dos meses, se puede notar cambios producto de los incendios, ya sea por la mortalidad parcial o total de árboles o simplemente debido a la caída de hojas por el efecto del calor que se genera (Barlow & Peres, 2008; Mostacedo et al., 2022). También se eliminan las plantas en el sotobosque por las

mismas razones mencionadas anteriormente. Sin embargo, a los pocos meses después de haberse quemado, los árboles empiezan a rebrotar y a tener hojas nuevas.

Respecto a la apertura del dosel y otros parámetros relacionados (Figura 3), los resultados indican que no se encontró diferencias entre áreas quemadas y no quemadas. Esto se hace más notorio en el bosque subhúmedo. En un bosque de transición entre la Amazonía y la Chiquitania, igualmente se encontró que la apertura del dosel fue similar entre áreas quemadas y no quemadas, aunque en combinación con el aprovechamiento de árboles, la apertura del dosel tiende a incrementarse (Pinto & Alvarado, 2007). Si bien inmediatamente después de la quema, usualmente el dosel queda más abierto que aquellas áreas no quemadas, los resultados indican que el proceso de recuperación de follaje es rápido. En estudios relacionados al cierre de los claros indican que las copas tienden a crecer rápidamente en las áreas que están abiertas, y de esa manera cerrar el dosel abierto producto de una perturbación (Muth & Bazzaz, 2002). A pesar de la capacidad de recuperación que pueden tener los árboles, al parecer en bosques más húmedos, es más notoria una mayor apertura del dosel, debido al alto porcentaje de árboles muertos, más aún si estos son quemados dos o más veces (Barlow & Peres, 2008).

En relación al sotobosque, es evidente que después de un incendio, el suelo queda descubierto casi en su totalidad. El desarrollo de la vegetación después del fuego varía dependiendo de la intensidad e historia de fuego, el tipo de bosque, sus adaptaciones, disponibilidad de propágulos, y características de sitio (Zyryanova et al., 2010). A pesar de los factores que pudieran afectar, generalmente con las primeras lluvias las semillas de las diferentes formas de vida empiezan a germinar, algunas que cayeron después de los incendios y otras que necesitaron ser escarificados por el fuego. También, otras especies empiezan a rebrotar. Al comparar la cobertura de las diferentes formas de vida entre áreas quemadas y no quemadas, se puede evidenciar que después de 6 meses de haberse quemado, las coberturas vienen a ser similares. Hay una tendencia que los bejucos y hierbas tienden a tener mayor porcentaje de cobertura, especialmente en el bosque seco chiquitano. Esto demuestra que la capacidad de regeneración del sotobosque después del fuego es rápida, cubriendo casi totalmente el suelo. En el bosque seco semideciduo hubo la tendencia de que las áreas quemadas tuvieran menos suelo descubierto comparado a las áreas no quemadas.

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra que tanto la cobertura del dosel como del sotobosque pueden recuperarse en hasta 6 meses después de haberse incendiado. El bosque subhúmedo tiende a regenerarse más rápido que el bosque seco semideciduo. Los resultados de este estudio demuestran la capacidad de resiliencia que tienen los bosques estudiados a los incendios forestales tanto en el dosel del bosque como la cobertura del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue posible gracias al apoyo financiero y logístico de la Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC) en el marco del Proyecto NRCan: Bases del conocimiento para la restauración.

LITERATURA CITADA

- Anivarro, R., H. Azurduy, O. Maillard y A. Markos. 2019. Diagnóstico por teledetección de áreas quemadas en la Chiquitania. Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC).
- Barlow, J. Y C. A. Peres. 2008. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1498), 1787-1794. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0013>

- Beck, S. G., T. J. Killeen, T. J. y E. E. García. 1993. Vegetación de Bolivia. In T. J. Killeen, E. E. García, & S. G. Beck (Eds.), *Guía de árboles de Bolivia* (pp. 6-23). Herbario Nacional de Bolivia y Missouri Botanical Garden.
- Catari, J. C., J. Villagomez, J. Y M. Saavedra. 2010. Vegetación de la hacienda Alta Vista: composición, estructura, diversidad de áreas importantes para la conservación. Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano.
- Coutinho, L. M. 1990. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In J. G. Goldammer (Ed.), *Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges* (pp. 82-105). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_6
- Hoffmann, W. A. y O. T. Solbrig. 2003. The role of topkill in the differential response of savanna woody species to fire. *Forest Ecology and Management*, 180(1), 273-286. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00566-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00566-2)
- Ibisch, P. L. y G. Mérida. (Eds.). 2003. Biodiversidad: La riqueza de Bolivia. Editorial FAN.
- 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>
- Mostacedo, B. A. Viruez, Y. Varon, A. Paz-Roca, V. Parada y V. Veliz. 2022. Tree survival and resprouting after wildfire in tropical dry and subhumid ecosystems of Chiquitania, Bolivia. *Trees, Forests and People*, 10, 100327. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100327>
- Muth, C. C. y F. A. Bazzaz. 2002. Tree canopy displacement at forest gap edges. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(2), 247-254. <https://doi.org/10.1139/x01-196>
- Parra-Lara, A. y F. E. Bernal-Toro. 2010. Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada de los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. *El Hombre y la máquina*, 35, 67-81.
- Pereira, C. A., J. Barlow, M. Tabarelli, A. L. Giles, A. E. Ferreira y I. C. G. Vieira. 2024. Recurrent wildfires alter forest structure and community composition of terra firme Amazonian forests. *Environmental Research Letters*, 19(11), 114051. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad77e6>
- Pinto, C. y E. Alvarado. 2007. Efectos del fuego en bosques de producción forestal en Bolivia [Informe Técnico]. Instituto Boliviano de Investigación Forestal.
- Rodrigues, R. R., R. B. Torres, L. A. F. Matthes y A. S. Penha. 2004. Tree species sprouting from root buds in a semideciduous forest affected by fires. *Brazilian Archives Of Biology And Technology*, 47(1), 127-133. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132004000100017>
- Vedovato, L. B., L. E. O. C. Aragão, D. R. A. Almeida, D. C. Bartholomew, M. Assis, R. Dalagnol, E. B. Gorgens, C. H. L. Silva-Junior, J. P. Ometto, A. Pontes-Lopes, C. A. Silva, R. Valbuena y T. R. Feldpausch. 2025. Impacts of fire on canopy structure and its resilience depend on successional stage in Amazonian secondary forests. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 11(4), 394-410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/rse2.431>
- Villegas, Z., B. Mostacedo, M. Toledo, C. Leñaño, J. C. Licona, A. Alarcón, V. Vroomans y M. Peña-Claros. 2008. Ecología y manejo de los bosques tropicales del Bajo Paragvá, Bolivia. Instituto Boliviano de Investigación Forestal. Santa Cruz, Bolivia.
- Zyryanova, O. A., A. P. Abaimov, T. N. Bugaenko y N. N. Bugaenko. 2010. Recovery of Forest Vegetation After Fire Disturbance. In A. Osawa, O. A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, & R. W. Wein (Eds.), *Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests* (pp. 83-96). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9693-8_5