



Artículo

Identificación de áreas prioritarias para la restauración asistida en bosques afectados por incendios forestales en el departamento de Santa Cruz, Bolivia

Identification of priority areas for assisted restoration in forests affected by wildfires in the department of Santa Cruz, Bolivia

Gerson Uyuni*, **Oswaldo Maillard**, **Huascar Azurduy**, **Marcio Flores-Valencia**,
Gilka Michme & Roberto Vides-Almonacid

Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano, Av. Ibérica calle 6 Oeste 95, Santa Cruz de la Sierra, Santa Cruz, Bolivia

*Autor de correspondencia: gumuriel@fcbc.org.bo, umgerson@gmail.com

Resumen

La restauración ecológica constituye un conjunto de acciones destinadas a restablecer la funcionalidad ecosistémica, contribuir al bienestar humano, conservar la biodiversidad y regular el clima del planeta. La restauración de ecosistemas degradados en Bolivia forma parte fundamental de las prioridades para revertir la pérdida de la biodiversidad y las emisiones de carbono, especialmente en áreas impactadas por los incendios forestales. El objetivo de este estudio fue establecer una metodología con enfoque holístico para la identificación de áreas potenciales para la aplicación de acciones en restauración asistida en sitios impactados por los incendios en el departamento de Santa Cruz entre los años 2019 y 2021. El método se basó en un análisis de decisión multicriterio que usó tres criterios de variables geográficas: impacto, biofísico y socioeconómico. El criterio de impacto incluyó el nivel de severidad y recurrencia de incendios, el criterio biofísico identificó la cobertura forestal afectada por incendios, en tanto que el criterio socioeconómico consideró la accesibilidad a centros poblados, áreas productivas y vías de accesos. Como resultado se identificaron tres categorías de prioridad: media, alta y muy alta, y estos datos se analizaron a nivel departamental, municipal y de áreas protegidas. Se identificó que la superficie categorizada como de muy alta prioridad cubre una superficie de 81.670 ha, representando el 0,3% de los bosques del departamento. Los municipios que presentaron las mayores superficies con prioridad muy alta fueron San Matías, San Ignacio de Velasco, San José de Chiquitos, San Rafael de Velasco y Charagua; y las áreas protegidas de San Matías y Ñembi Guasu, presentaron las mayores superficies potenciales para realizar restauración. Se concluye que el modelo aplicado puede servir de soporte para la toma de decisiones de cualquier programa de restauración y se recomienda incluir los sitios de muy alta prioridad en el plan de restauración departamental.

Palabras clave : Áreas protegidas, Análisis multicriterio, Chiquitania, Planificación territorial, Sensores remotos.

Abstract

Ecological restoration is a group of actions aimed at reestablishing ecosystem functionality, contributing to human wellbeing, biodiversity conservation and to regulating the planet's climate. The restoration of degraded ecosystems in Bolivia is a priority strategy to reverse the loss of biodiversity and carbon storage, especially in areas impacted by wildfires. The objective of this study was to establish a methodology with a holistic approach for the identification of potential areas for the application of assisted restoration actions in areas impacted by fires in the department of Santa Cruz between 2019 and 2021. The method was based on multi-criteria decision analysis in which geographic variables were categorized based on three criteria: impact, biophysical and socioeconomic. The impact criterion included the level of severity and recurrence of wildfires, the biophysical criterion identified the forest cover affected by wildfires, while the socioeconomic criterion considered accessibility to population centers, productive areas and access roads. As a result, three priority categories were identified: medium, high and very high, which were analyzed at the departmental, municipal and protected area levels. The area categorized as very high priority covers 81,670 ha, representing 0.3% of the department's forests. The municipalities with the largest areas with a high priority for restoration are San Matías, San Ignacio de Velasco, San José de Chiquitos, San Rafael de Velasco and Charagua; and the protected areas of San Matías and Ñembi Guasu have the largest potential areas for restoration. We conclude that the applied model can serve as a support for decision making in any restoration program and recommend the inclusion of very high priority sites in the departmental restoration plan.

Key words: Chiquitania, Multi-criteria analysis, Protected areas, Remote sensing, Territorial planning.

Introducción

La regeneración natural y la restauración ecológica de los ecosistemas y paisajes, especialmente en las zonas forestales deforestadas y degradadas, son procesos o medidas orientadas principalmente a restablecer la funcionalidad ecológica, mejorar el bienestar humano (Lamb 2014, Sabogal *et al.* 2015, Cesar *et al.* 2021), conservar la biodiversidad (IPBES 2019) y estabilizar el clima del planeta (IPCC 2019). Se entiende como restauración de bosques y paisajes al proceso que tiene como objetivo restablecer la integridad ecológica y mejorar el bienestar humano en paisajes forestales deforestados o degradados (WWF & IUCN 2000). Los procesos acelerados de deforestación e incendios forestales son uno de los principales impedimentos para lograr estos objetivos. Se han realizado notables esfuerzos a nivel mundial para detener y revertir la degradación de los ecosistemas y paisajes forestales mediante la restauración (FAO & PNUMA 2020). Aunque recientes estudios han demostrado el aumento de 22.400 millones de ha en la cubierta forestal a nivel global, atribuido tanto a la regeneración natural como al establecimiento de plantaciones forestales (Song *et al.* 2018), el incremento de la deforestación (Potapov *et al.* 2022) y la pérdida de áreas boscosas por los incendios forestales (Tyukavina *et al.* 2022) muestran un escenario preocupante.

La conservación y restauración del paisaje forestal forma parte de la agenda climática mundial y es una parte fundamental de los ambiciosos objetivos nacionales e internacionales (Strassburg *et al.* 2020), como el Plan Estratégico para la Biodiversidad, la Meta 15 de Aichi para la Biodiversidad, el Desafío de Bonn y la Meta cinco de la Declaración de Nueva York sobre los Bosques. Así, la restauración de los bosques es necesaria a gran escala para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas (FAO & PNUMA 2020). Sin embargo, aún existen desafíos en las etapas de conceptualización, planificación y evaluación de la restauración forestal (Marshall *et al.* 2022).

En Sudamérica, Bolivia se encuentra entre los países con mayor actividad de incendios forestales registrada en los últimos años (Bilbao *et al.* 2020, Lizundia-Loiola *et al.* 2020) y entre las naciones a nivel global que perdió más bosques por estos incendios (Tyukavina *et al.* 2022). Anualmente, las áreas afectadas por los incendios en el país oscilan entre 1,1 y 9,2 millones de ha (Maillard *et al.* 2022a) con un total de 24 millones de ha impactadas en 21 años (Maillard 2023). A nivel nacional, una de las regiones más impactadas por los incendios forestales en Bolivia es la Chiquitania, ubicada en las tierras bajas orientales y en la cual se ubica el Bosque Seco Chiquitano, uno de los bloques más extensos de bosques secos tropicales de

Sudamérica (Vides-Almonacid *et al.* 2007). En el año 2019, estos bosques fueron severamente impactados (3,7 millones de ha, Maillard *et al.* 2020a), ocasionando una serie de problemas socioambientales de gran magnitud (p.ej., pérdida de madera, pérdida de producción agrícola, impactos sobre la calidad del aire). Se han realizado estudios conjuntos multidisciplinarios para comprender mejor el impacto de los incendios forestales sobre los ecosistemas (p.ej., Pacheco *et al.* 2021, Villaruel *et al.* 2021) y el proceso de recuperación en la Chiquitania (p.ej., Maillard *et al.* 2022b, Mostacedo *et al.* 2022, Maillard 2023). Sin embargo, entre el 2020 (2.2 millones de ha, Flores-Valencia & Maillard 2021) y 2021 (2.3 millones de ha, datos del Observatorio del Bosque Seco Chiquitano, <https://observatoriochiquitano.org>), varios de estos sitios se volvieron a quemar o registraron nuevos incendios.

Como respuesta a los incendios forestales de magnitud, el Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz, juntamente con el Gobierno Nacional de Bolivia, desarrolló el Plan de Recuperación de las Áreas Afectadas por los Incendios (GADSC 2020). La implementación de este plan presentó debilidades en su aplicación, debido a su alto costo y factibilidad operativa y logística. Además, este plan consideraba la priorización de áreas potenciales para realizar restauración asistida con una superficie aproximada de 57 mil ha, considerando solo los sitios afectados por incendios durante el 2019. Posteriormente, se realizó una actualización de esta superficie en la que se identificaron 106.000 ha, considerando los incendios de 2019 y 2020 (Rebolledo & Villaruel 2021).

En este escenario, urge la necesidad de identificar y proponer metodologías holísticas que permitan identificar las áreas donde se necesitan realizar acciones de restauración asistida. Una de las herramientas más usadas para el monitoreo, procesos de planificación, decisión y priorización de restauración forestal a escala de paisaje, son los sistemas de información geográfica y las evaluaciones con enfoque multicriterio, las que al integrarse forman una herramienta valiosa para la toma de decisiones (Chadourne *et al.* 2012, Veluk *et al.* 2012, Hanson *et al.* 2015, Posada 2015, González *et al.* 2016).

El presente estudio tiene como objetivo principal la identificación de los sitios potenciales para la realización de acciones de restauración forestal después de los incendios en el departamento de Santa Cruz, sus municipios y áreas protegidas. Esta información es crucial para la implementación de estrategias de restauración urgentes y a largo plazo, la asignación de recursos de manera más efectiva a las políticas socioeconómicas y ambientales, así como también el mejoramiento de la gestión del territorio.

Área de estudio

El departamento de Santa Cruz en Bolivia tiene una superficie de 369.006 km² y está ubicado entre los 13°40'–20°20' S y los 57°30'–64°40' W, limitando por el norte con el departamento del Beni, el departamento de Cochabamba al oeste, el departamento de Chuquisaca al sur oeste y las repúblicas de Paraguay al sur y Brasil al este. Proporcionalmente, los bosques cubren un área de 25 millones de hectáreas en el departamento de Santa Cruz, equivalente al 68.3% de su superficie, en tanto que el 34.9% está representado por otras formaciones no boscosas (pastizales, matorrales, afloramientos rocosos y otros), el

0.5% por cuerpos de agua (ríos y lagunas) y el 19.9% de Santa Cruz se caracteriza por presentar áreas productivas o urbanas (Maillard *et al.* 2020b). Además, en Santa Cruz convergen diferentes formaciones boscosas prioritarias para la conservación a nivel global como el amazónico, boliviano-tucumano, chaqueño, chiquitano (y sus zonas de transición entre bosque amazónico y chaqueño) y yungueño (FAN 2015). Muchos de estos bosques han sido impactados por los incendios forestales (Fig. 1), especialmente el chiquitano (Maillard 2023), debido a las malas prácticas en el uso de fuego en la agricultura y ganadería (McDaniel *et al.* 2005).

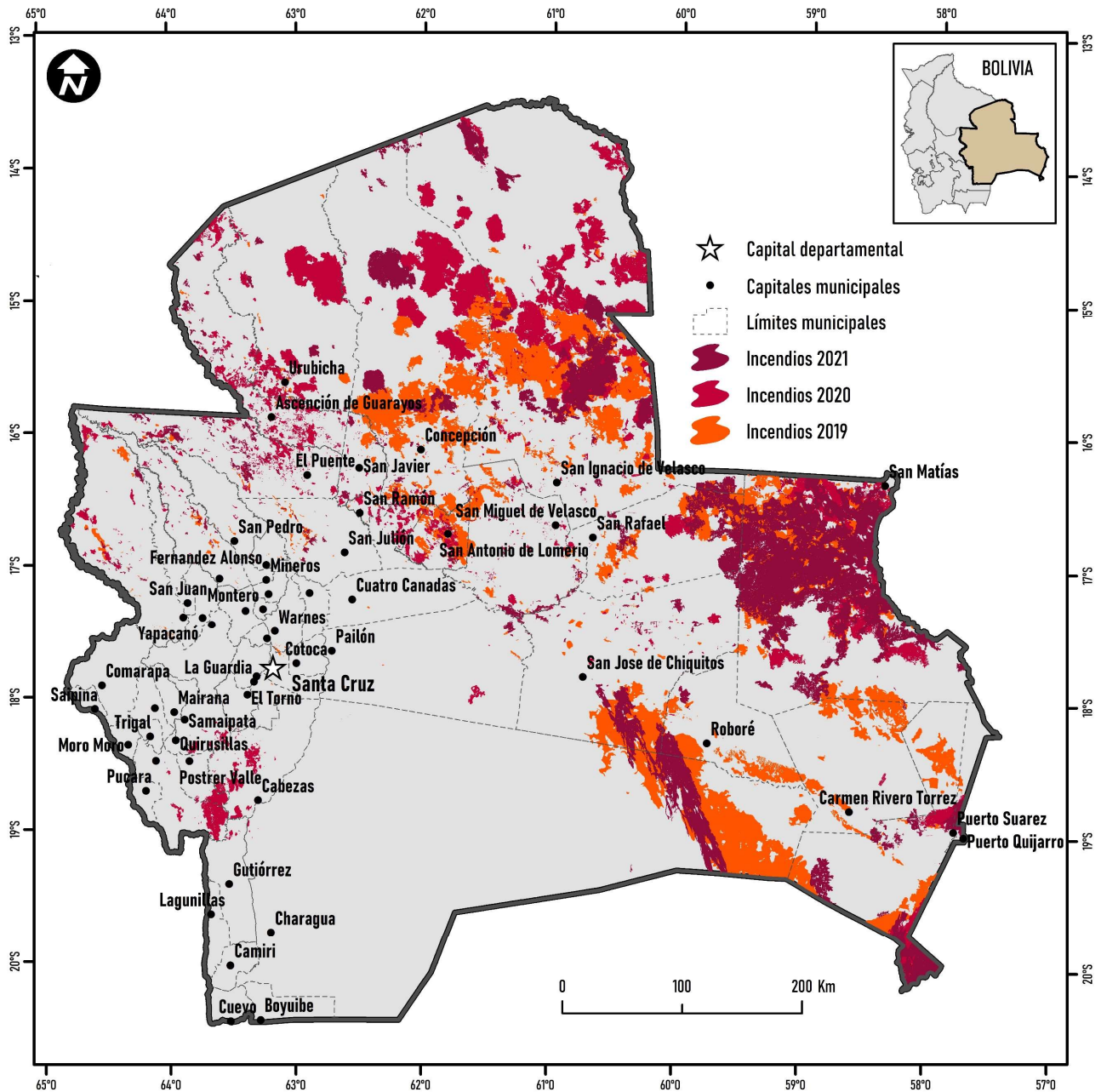


Figura 1. Cicatrices de incendios en el periodo 2019-2021 en el departamento de Santa Cruz, Bolivia.

Métodos

Recopilación y sistematización de la geodatabase

Para la estructura de la información geográfica (ver tabla 1), se utilizaron los datos socioeconómicos correspondientes al uso antrópico del suelo, centros poblados mayores y menores, vías de acceso principales y secundarias, límites administrativos y la tenencia de la tierra provistos por GeoBolivia (<https://geo.gob.bo>), Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano (FCBC) y el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA). Para las variables biofísicas, se utilizó la cobertura natural y la deforestación hasta el año 2020 (datos no publicados FCBC), en base a la clasificación de imágenes Landsat (resolución espacial de 30 m). Además, para el cálculo de elevación y pendiente se trabajó con los modelos digitales de elevación en base a las escenas del sensor Aster GDEM versión 2 (<https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html>) con una resolución espacial de 30 m. Para la identificación y clasificación de áreas impactadas por los incendios forestales se tomaron en cuenta los niveles de severidad de los incendios del año 2021 y las cicatrices de quemaduras de los periodos 2019, 2020 y 2021 generados por la FCBC. Para ajustar y complementar las vías de acceso, áreas agrícolas, pecuarias, centros poblados y otras actividades humanas se utilizaron imágenes Landsat 8 y Sentinel-2 (resolución de 20 m), con las bandas de color visible para el año 2021. Estas escenas fueron descargadas por medio de la plataforma Google Earth Engine y la página de Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>). La escala operacional y el sistema de referencia de la base geográfica o la cartografía del estudio fue ajustada a la resolución espacial de 30 m (Tabla 1).

Proceso metodológico para la identificación de áreas de restauración asistida

La metodología fue definida en base a experiencias desarrolladas por Veluk *et al.* (2012), que emplearon los

criterios de paisaje de cobertura forestal y los medios de vida de las comunidades; González *et al.* (2016) que utilizaron los criterios de topografía, cobertura vegetal y perturbación; Vanegas (2016) que usó los criterios degradación y estructura de bosque; y Chazdon & Guariguata (2018) con criterios que integran la conexión biológica, geográfica y humana para maximizar los beneficios socioecológicos para las comunidades.

El método se basó en un modelo predictivo mediante el análisis de decisión con múltiples criterios espaciales (ADMCE), usando información geográfica cualitativa y cuantitativa a través del programa ArcMap 10.8. La identificación de los criterios fue realizada de manera participativa, en consulta con expertos locales, y la definición de las variables espaciales dentro de un entorno SIG. En base a la estructuración de los criterios se definieron tres factores principales en el modelo de ADMCE: impacto, socioeconómico y biofísico (Fig. 2).

El factor de impacto fue estimado a partir de la identificación de recurrencia de incendios y a los niveles de severidad (Fig. 2). El factor socioeconómico fue calculado en base a la distancia o accesibilidad a centros poblados, áreas productivas y vías de acceso (Fig. 2). Por último, el factor biofísico fue obtenido mediante los análisis de la cobertura vegetal, niveles altitudinales y las pendientes (Fig. 2). La integración de las variables se realizó a través de la función algebraica entre los tres factores, cada factor se multiplicó con los valores de importancia de priorización que va de 0 a 1, esto definido en base a estudios de priorización realizados por expertos ecólogos en restauración ambiental, monitoreo y registro de incendios forestales. Por último, cada factor integrado se sobrepuso para sumar los valores de prioridad y así identificar los valores más altos que serían los sitios de distribución de las áreas prioritarias para la restauración asistida.

Tabla 1. Información y fuentes de acceso.

Información	Fuente	Escala operacional
Área de uso antrópico 2021	FCBC (no publicado)	1:25.000
Centros poblados mayores y menores	GeoBolivia (https://geo.gob.bo)	1:15.000
Vías de acceso primarias y secundarias	GeoBolivia (https://geo.gob.bo)	1:25.000
Tenencia de la tierra	INRA (no publicado)	1:25.000
Límites administrativos municipales	GeoBolivia (https://geo.gob.bo)	1:100.000
Niveles de severidad	FCBC (no publicado)	1:25.000
Cicatrices de incendios	FCBC (no publicado)	1:25.000
Modelo de elevación digital	Aster GDEM versión 2 (https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html)	1:25.000
Imagen satelital Landsat 8	Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov)	1:25.000
Imagen satelital Sentinel-2	Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov)	1:25.000

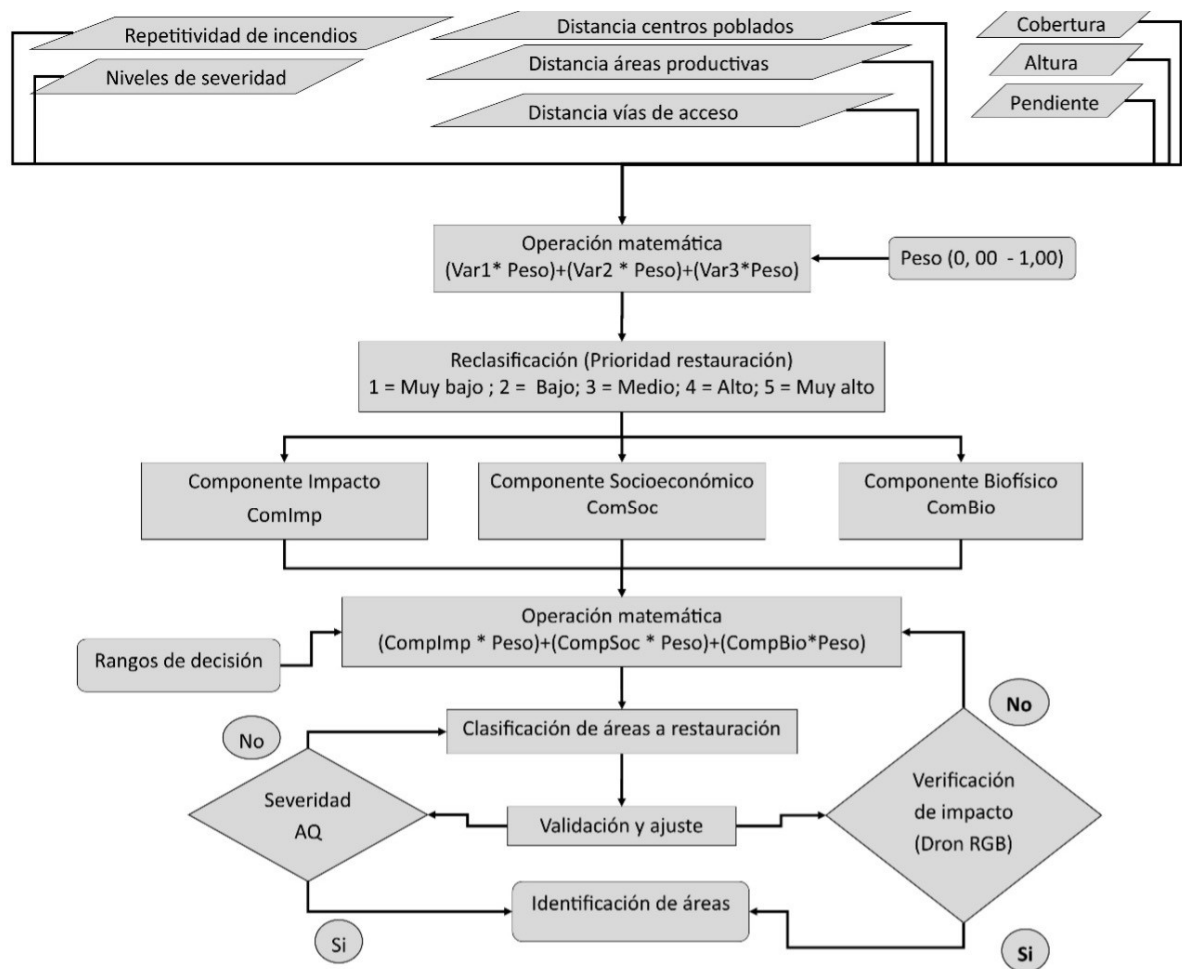


Figura 2. Flujograma del proceso metodológico para la identificación de las áreas de restauración asistida.

Estandarización del factor socioeconómico, biofísico e impacto

El proceso de la estandarización consistió en generar la prioridad numérica de acuerdo a los valores de importancia que van de 1 para los sitios de baja prioridad a 5 para aquellos de muy alta prioridad para restauración asistida. Estos valores se asignaron a las variables geográficas categóricas en formato ráster. En los puntos posteriores se explica el procedimiento por cada factor.

Estandarización y definición de los factores de impacto

Los factores de impacto están definidos por los niveles de severidad y la repetitividad de incendios en una misma zona (Tabla 2). La severidad y repetitividad de un incendio depende principalmente de las condiciones locales, como la carga de combustible, el tipo de combustible, la temperatura, la humedad y la topografía. Para la obtención de los niveles de severidad a nivel departamental se usó la plataforma de Google Earth Engine (GEE, Gorelick *et al.* 2017), en el que se utilizó el índice NBR (Normalized Burn Ratio, Key & Benson 2006) usando imágenes de Landsat 8

para el periodo pre-incendio (2020) y post-incendio (2021). Se utilizaron las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR) dando como resultado valores entre 0 y 1. Los valores de severidad fueron obtenidos mediante la diferencia de los valores de pre y post-incendio, siguiendo el método propuesto por Key & Benson (2006). En el caso de la repetitividad de incendios, se usaron los datos vectoriales de incendios acumulados en 2019, 2020 y 2021. Estos datos vectoriales fueron convertidos a datos ráster y a cada variable se asignaron valores de 1, para que en el proceso de función estadística se puedan sumar aquellos píxeles con coincidencia en algunos sectores. El resultado es una capa categórica, donde el valor 1 corresponde a las áreas que no fueron afectadas de incendios, valor 2 corresponde a las áreas afectadas un año, 3 a dos años y el valor 4 para tres años consecutivos de incendios. Para la estandarización de la repetitividad de incendios, se realizó la reclasificación y se asignó los valores en base a los subcriterios de la Tabla 2. Los valores se multiplicaron con el peso asignado y se sumaron entre las variables para obtener el componente de impacto final.

Tabla 2. Definición de criterios para la estandarización de variables del factor de impacto.

Factor	Criterios	Subcriterio (Prioridad de restauración)	Valor
Impacto	Niveles de severidad	Alta severidad (Muy alto)	5
		Moderada - Alta severidad (Alto)	4
		Moderada - Baja severidad (Moderado)	3
		Baja severidad (Bajo)	2
	Recurrencia de incendios	No quemado (Muy bajo)	1
		3 años (Muy alto)	5
		2 años (Alto)	4
		1 año (Moderado)	3

Estandarización y definición del componente socioeconómico

Los factores socioeconómicos son fundamentales en la definición de áreas a restauración asistida post-incendio, esto se debe a la cercanía y accesibilidad para la participación social. Dichas cualidades hacen posible también el control y monitoreo, siendo de este modo referencias elementales en los procesos de planificación y logística en reforestación. En este sentido, se definió como criterio principal la distancia a centros poblados, distancia a áreas productivas y, distancia a vías de acceso. El subcriterio de cada una de las variables socioeconómicas corresponde a la categorización de acuerdo con la proximidad de las actividades humanas, en el que una mayor proximidad a una actividad humana tendrá una mayor prioridad de restauración. En este entendido la definición final del factor socioeconómico se asignó valores muy altos (5) a áreas afectadas por incendios forestales cercanas a caminos, áreas agropecuarias o centros comunales y muy bajos (1) a sitios distantes de una actividad humana (Tabla 3). Estas variables fueron generadas en base a la distancia euclidiana y con la herramienta de reclasificación se asignaron los valores de prioridad en base a los criterios mencionados en la Tabla 3. Por último, se realizó la operación matemática, donde se

multiplicó la variable geográfica por el peso definido por el equipo de especialistas y posteriormente se sumó cada variable socioeconómica, dando como resultado las áreas de mayor prioridad a restauración asistida con rangos de prioridad de 1 a 5, en relación a la proximidad.

Estandarización y definición de las variables del factor biofísico

Los factores biofísicos representan la distribución de áreas con cobertura boscosa, no bosque, antrópico y cuerpos de agua, además de los sitios que presentan diferentes rangos altitudinales y la distribución de las pendientes. Esta variable es un factor muy importante, ya que define las áreas con cobertura boscosa y accesibles por el terreno para operaciones y logística en restauración asistida. Los criterios tomados en cuenta son la cobertura vegetal, elevación de terreno y la pendiente, la mayor priorización asignada en la cobertura de vegetación son los bosques, debido a que presentan mayor combustible por la variedad de especies y son más vulnerables a un incendio. En cuanto a los desniveles altitudinales, las áreas bajas presentan condiciones para restauración, en tanto que, las pendientes planas son prioritarias para restauración (Tabla 4).

Tabla 3. Definición de criterios para la estandarización de las variables socioeconómicas.

Factor	Criterios	Subcriterios (Prioridad de restauración)	Valor
Socioeconómico	Poblacional	0-1.000 m de periferia (Muy alto)	5
		1.000-2.000 m (Alto)	4
		2.000-3.000 m (Moderado)	3
		3.000-5.000 m (Bajo)	2
		> 5.000 m (Muy bajo)	1
	Áreas productivas	0-500 m de periferia (Muy alto)	5
		500-1000 m (Alto)	4
		1.000-1.500 m (Moderado)	3
	Vías de acceso	1.500.000 m (Bajo)	2
		> 3.000 m (Muy bajo)	1
		0-500 m de periferia (Muy alto)	5
		500-1.000 m (Alto)	4
		1.000-1.500 m (Moderado)	3
		1.500-2.000 m (Muy bajo)	2
		> 5.000 m (Muy bajo)	1

Tabla 4. Definición de los factores y criterios para la estandarización de las variables biofísicas.

Factor	Criterio	Subcriterios (Prioridad de restauración)	Valor
Biofísico	Cobertura	Bosque	5
		Sabanas, matorrales y afloramiento rocoso	3
		Actividad antrópica	2
	Altura	Cuerpos de agua	1
		273-527 m	3
		223-273 m	4
	Pendiente	155-223 m	5
		Plano a casi plano, pendiente entre 0-6%	5
		Moderadamente ondulado, entre 6-15%	4
		Ondulado, cóncavo entre 15-45%	3
		Escarpado, entre 45-65%	1
		Fuertemente escarpado, mayor a al 65%	1

Para la estandarización geográfica del criterio de cobertura se realizó el proceso de reclasificación asignando los valores de prioridad de acuerdo con los subcriterios indicados en la Tabla 4. El resultado es una imagen categorizada en valores de prioridad con rangos de 1 y 5. En cuanto a los criterios de elevación y la pendiente, se realizó la reclasificación con las variables y subcriterios indicados en la tabla 4. En este factor se asigna mayor peso a la variable de la cobertura de vegetación, para que el modelo se enfoque en priorizar las áreas con cobertura boscosa, ubicado en áreas de menor pendiente y por lo tanto de mayor accesibilidad en el terreno.

Integración de los factores impacto, socioeconómico y biofísico

El proceso final para obtener la distribución de las áreas prioritarias de restauración asistida fue el análisis de compatibilidad numérica y descriptiva, mediante la operación algebraica entre los factores socioeconómicos, impacto y biofísico. Para la integración de las variables, cada una se encuentra en función de prioridad, la combinación de las variables es el resultado de la clasificación de las áreas prioritarias.

En la matriz de compatibilidad numérica (Tabla 5), se muestra la intersección entre las variables. El factor de impacto es la que presenta mayor valor en el rango de

decisión y es la que mayor integra con las otras dos variables, si el valor de prioridad es bajo (1), la integración indica que esta área no es prioritaria para la restauración, debido a que no existió impacto por incendios en esta zona, además que no está dentro de un área boscosa o está distante a una actividad antrópica. Si el valor de prioridad es muy alto (5), indica una alta integración de las variables (alto impacto, vegetación alta y alta accesibilidad antrópica), por lo tanto, el valor de prioridad de restauración será muy alto. Si la integración de los factores indica que existe un alto impacto de los incendios al bosque, pero se ubica en un zona no accesible y distante a una actividad humana, esta se considera como prioridad moderada a baja. Esto se debe a las condiciones naturales del territorio, ya el área puede restaurarse naturalmente y no está sometido a una presión antrópica.

El resultado final de priorización se realizó con los tres factores estandarizados, para ello se definió el mayor rango de prioridad a la variable de impacto y a las demás de un rango equitativo. Posteriormente se realizó el cálculo algebraico donde se multiplicaron los factores con el peso establecido y la suma cada una de las variables para tener la distribución final de los sitios potenciales para la restauración asistida.

Tabla 5. Matriz de compatibilidad numérica con valores de muy bajo (1) a muy alto (5). *= Prioridad media. **= Prioridad alta. ***= Prioridad Muy alta.

		Factores biofísico y socioeconómico				
Valor #		1. Muy baja	2. Baja	3. Media	4. Alta	5. Muy alta
Factor de impacto	1. Muy baja	1	2	3	4	5
	2. Baja	2	4	6	8	10
	3. Media	3	6	9*	12*	15**
	4. Alta	4	8	12*	16**	20***
	5. Muy alta	5	10	15**	20***	25***

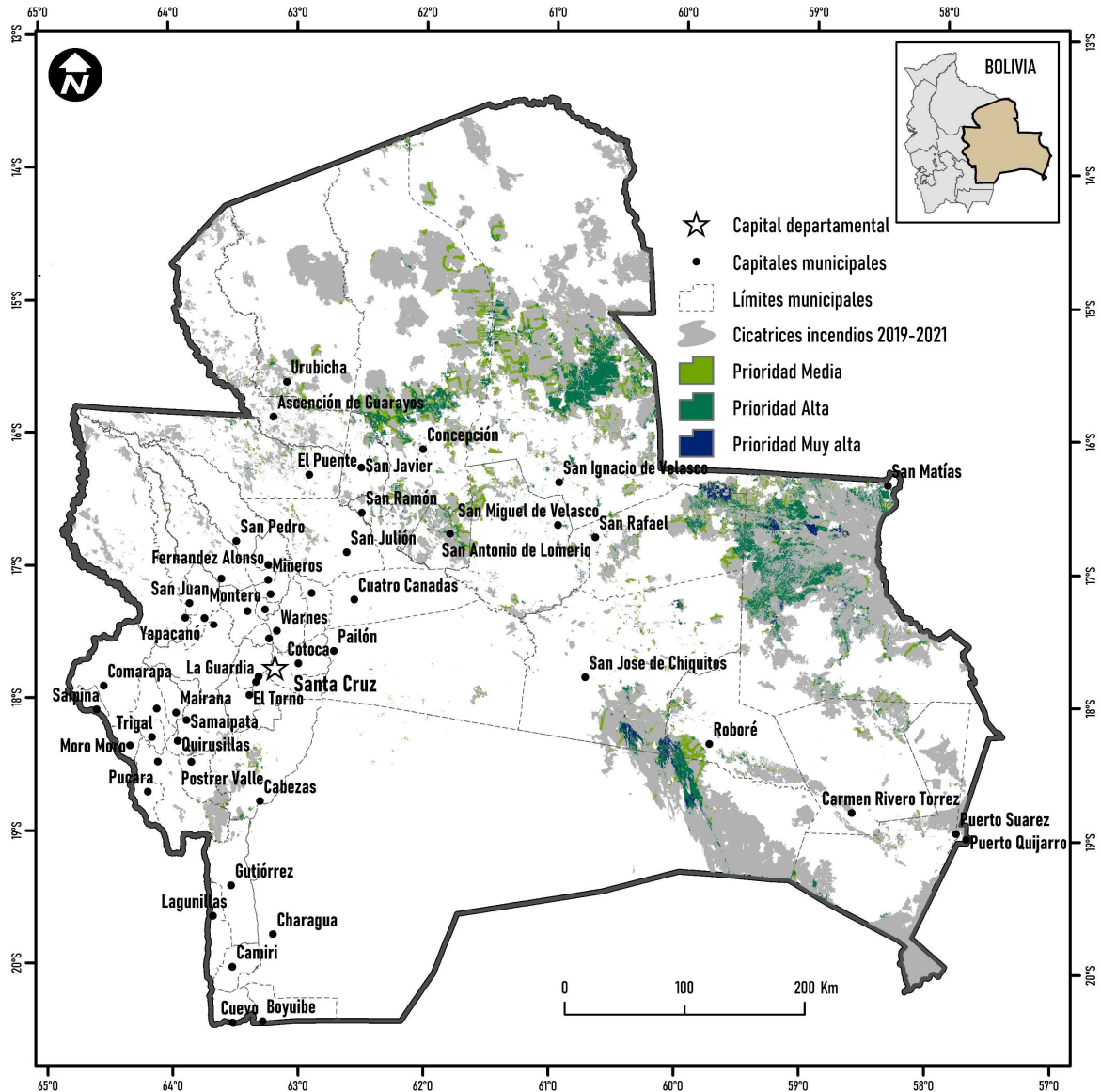


Figura 3. Distribución geográfica de las áreas de prioritarias para la restauración asistida en el departamento de Santa Cruz, Bolivia.

Resultados

Áreas prioritarias para la restauración a nivel departamental

En este estudio identificamos tres categorías de priorización (media, alta, muy alta) para realizar acciones potenciales de restauración asistida en las áreas afectadas por los incendios forestales en el departamento de Santa Cruz. Los sitios identificados como de muy baja a baja prioridad corresponden a cicatrices de quemas en áreas donde se desarrollan actividades productivas como la agricultura y ganadería, además ecosistemas no boscosos caracterizados por presentar sabanas naturales y ambientes rupestres (Fig. 3).

Las áreas identificadas como de prioridad media cubren un total de 577.748 ha y representan el 8.4% del total de superficie absoluta de las cicatrices de los incendios registrados entre 2019 y 2021; y además equivale al 2,3%

de los bosques a nivel departamental. Estas áreas fueron afectadas por incendios en dos años continuos, pero los daños en el bosque fueron menos severos y se encuentran en proceso de regeneración natural.

Las áreas de alta prioridad tienen una superficie de 713.644 ha, representando un 10.4% de las áreas afectadas por los incendios y 2.9% de los bosques de Santa Cruz. Estas áreas se ubican en sitios con recurrencia de incendios de tres años consecutivos y con altos niveles de severidad. Esta categoría de priorización se ubica principalmente en sitios distantes a las actividades humanas por lo que califican para la restauración pasiva y con alta prioridad de monitoreo.

Las áreas de muy alta prioridad presentan una superficie de 81.670 ha representado un 1.2% de los bosques afectados y un 0.3% de los bosques en el departamento (Tabla 6). Estas áreas presentan afectación en los tres años consecutivos,

altos niveles de severidad y se ubican colindantes a vías de acceso y sitios con actividad humana, cumpliendo

condiciones para la implementación de acciones en restauración asistida.

Tabla 6. Cuantificación de las categorías de priorización (media, alta, muy alta) a nivel departamental. %Bosque: en relación a todo el departamento. %Cicatrices de incendios: en relación a los años 2019, 2020 y 2021.

Prioridad en restauración	Superficie (ha)	% Bosque	% Cicatrices de incendios
Media	577.748	2.3	8.4
Alta	713.644	2.9	10.4
Muy alta	81.670	0.3	1.2

Áreas prioritarias para restauración a nivel municipal

Las áreas identificadas en la categoría de prioridad muy alta para restauración asistida se distribuyen en 15 municipios del departamento de Santa Cruz (Tabla 7), de los cuales San Matías (27.057 ha), San Ignacio de Velasco (11.119 ha), San José de Chiquitos (15.293 ha), San Rafael (10.094 ha) y Charagua (9.963 ha), son los que presentan las mayores superficies para la restauración asistida.

Áreas prioritarias para restauración en áreas protegidas

Considerando las áreas protegidas existentes en Santa Cruz (Tabla 8), se identificaron doce espacios de interés para la restauración asistida con 24.392 ha. Entre las áreas protegidas de carácter nacional, el Área Natural de Manejo Integrado San Matías (11.529 ha), fue la que presentó la mayor superficie de alta prioridad para la restauración,

seguida por el Parque Nacional Noel Kempff Mercado (142 ha), Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Otuquis (70 ha) y el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Kaa-Iya (52 ha). En cuanto a las áreas protegidas departamentales, Laguna Concepción, Serranía de Sararenda y Valle de Tucabaca, presentaron superficies inferiores a 4 ha que podrían calificar para la restauración asistida. Por último, el área protegida municipal con mayor superficie de prioridad muy alta para la restauración asistida corresponde al área protegida Bajo Paraguá de San Ignacio (330 ha), Serranía San Lorenzo (306 ha), Laguna Marfil (196 ha), seguida por Copaibo (81 ha). Las áreas protegidas de autonomía indígena están representadas por el Área de Conservación e Importancia Ecológica Ñembi Guasu (11.680 ha).

Tabla 7. Superficie de muy alta prioridad para realizar acciones de restauración asistida en los municipios del departamento de Santa Cruz, Bolivia.

Municipios	Superficie (ha)
Ascensión de Guarayos	139
Charagua	9.963
Concepción	930
El Carmen Rivero Torrez	77
El Puente	450
Pailón	72
Puerto Suarez	417
Roboré	7.171
San Antonio de Lomerío	54
San Ignacio de Velasco	11.119
San Javier	595
San José de Chiquitos	15.293
San Matías	25.057
San Miguel	184
San Rafael	10.094

Discusión

La implementación de acciones efectivas en el ámbito del restablecimiento de los bosques en Bolivia tiene como uno de sus factores determinantes la escala a la que se pretende realizar. Consideramos que se deben realizar acciones de restauración activa y restauración pasiva, en el que la población local interviene para ayudar a que los árboles y la vegetación nativa se recuperen de forma natural, apoyándose en su conocimiento de la tierra y en tradiciones ancestrales (Chazdon *et al.* 2022). Sin embargo, las acciones de restauración asistida a gran escala en general no son

efectivas por lo que las herramientas de evaluación espacial que orienten la identificación a áreas prioritarias pueden ayudar al desarrollo de esfuerzos enfocados y costo-efectivos, como un insumo para la planificación y toma de decisiones. El objetivo del presente trabajo fue proponer una metodología que, basada en análisis multicriterio, priorice las áreas para restauración asistida, en base a la cual se genere un trabajo adaptativo de corroboración y validación de campo, planificación e implementación a nivel departamental, municipal y en áreas protegidas.

Los análisis a nivel departamental obtenidos en este estudio indican que 81.670 ha representan áreas potenciales para realizar la restauración asistida, debido a que se distribuyen principalmente en áreas boscosas cercanas a caminos o centros poblados que han tenido un alto impacto de incendios forestales en el año 2019 y 2021. A pesar de estas diferencias notables en las superficies y sitios en comparación con otras priorizaciones (57.147 ha, GADSC 2020; 106.000 ha, Rebolledo & Villaroel 2021), los resultados presentados en este estudio tienen un argumento sólido debido a los criterios usados en un enfoque holístico (impacto, biofísico y socioeconómico) basado en la magnitud del daño y la condición del sitio afectado. Además, el estudio identificó a 15 de los 56 municipios que componen administrativamente el departamento de Santa Cruz, y en los que se tienen que realizar acciones de restauración asistida, especialmente en San Matías, San Ignacio de Velasco, San José, San Rafael y Charagua. En este sentido, los gobiernos locales deben priorizar la

actualización de información en cuanto a los sitios prioritarios de restauración forestal en su Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI), así como en otras herramientas de ordenamiento territorial para la toma de decisión, en concordancia con la planificación de los diferentes niveles de gobierno.

Las áreas protegidas de Bolivia representan sitios de alto interés para la conservación de la biodiversidad natural y cultural (Boillat *et al.* 2022). Por lo tanto, evitar los incendios y restaurar los ecosistemas impactados por el fuego en las áreas protegidas son de alta prioridad. El estudio ha identificado áreas potenciales para la restauración asistida en San Matías, Ñembi Guasu, Kaa-Iya, Otuquis y Bajo Paraguá. Además, estos sitios deben ser considerados dentro la planificación y construcción de los planes de manejo y zonificación de las áreas protegidas, ya sea de carácter nacional o subnacional (GADSC 2020).

Tabla 8. Superficie de muy alta prioridad para realizar acciones de restauración asistida en las áreas protegidas del departamento de Santa Cruz. Leyenda: a= Área protegida nacional. b= Área protegida departamental. c= Área protegida municipal. d= Área protegida de autonomía indígena.

Nombre	Superficie (ha)
Copaibo ^c	81
Bajo Paraguá de San Ignacio ^c	330
Kaa-Iya del Gran Chaco ^a	52
Laguna Concepción ^b	4
Laguna Marfil ^c	196
Noel Kempff Mercado ^a	142
Ñembi Guasu ^d	11.680
Otuquis ^a	70
San Lorenzo ^c	306
San Matías ^a	11.529
Serranía de Sararenda ^b	2
Valle de Tucabaca ^b	3
Total	24.392

Los incendios pueden considerarse como un componente más en la dinámica de diversos ecosistemas en nuestro planeta (Bowman *et al.* 2009, Pausas & Keeley 2009, Bilbao *et al.* 2020), debido a los cambios considerables en su ocurrencia con relación a la temporada, frecuencia e intensidad, amenaza directamente a la diversidad biológica (Bowman 2017, Barlow *et al.* 2021) e incide en cambios (beneficiosos y perjudiciales) relacionados con la composición, estructura, diversidad florística y valor económico en los bosques tropicales (Holdsworth & Uhl 1997, Uhl 1998, Cochrane & Schulze 1999) y que van a depender de los niveles de severidad (Ávila-Flores *et al.* 2014). En el caso particular del Bosque Seco Chiquitano, la recurrencia de incendios promueve cambios estructurales y florísticos significativos como la pérdida de biomasa, recambio taxonómico de las especies arbóreas tolerantes al fuego y que se vuelven más dominantes (Devisscher *et al.* 2016). En consecuencia, se desarrolla otro tipo de composición florística con dominancia de especies de

rápido crecimiento e invasivas. Estos aspectos son muy importantes considerar en la planificación y los procesos de decisión en las prácticas de la restauración asistida, en el que tiene que existir la participación social y técnica (Chanzdon *et al.* 2020). Para la región de la Chiquitania, los ecosistemas afectados por los fuegos recurrentes evidencian una alta resiliencia a través del rebrote de plantas leñosas (Mostacedo *et al.* 2022), quedando por demostrar aún si efectivamente el manejo de rebrotes es una alternativa factible para la restauración asistida en términos de escala. Además, es necesario considerar los procesos de la regeneración natural como una medida a promover y garantizar en áreas afectadas a gran escala (Chanzdon 2017) y bajo el principio precautorio (Silva-Hernández 2019).

El éxito de la restauración asistida en el departamento de Santa Cruz dependerá de la implementación de un plan participativo estándar, coordinado y en colaboración con la integración de los sectores gubernamentales de carácter

nacional y subnacional. Es fundamental que los pobladores locales participen cercanamente en los procesos para la viabilidad a largo plazo de los proyectos (Aguilar & Ramírez 2015, Chandzon *et al.* 2022). La restauración a largo plazo de los bosques de Santa Cruz solo podrá ser posible mediante la recuperación de las funciones ambientales, como la producción de madera, la conservación del agua y la conservación del ecosistema. En el proceso de restauración se deben considerar las amenazas de incendios, deforestación y cambios de uso de suelo (Duarte *et al.* 2017, FuGAR Chiquitania & CICEI-UCB 2021). En este sentido, se tienen que plantear estrategias para que los sitios restaurados no se vuelvan a quemar nuevamente, más aún en sitios donde se haga inversión de recuperación forestal, considerando que existen áreas que pueden presentar una mayor probabilidad de incendios por las condiciones climáticas y la acumulación de biomasa en las áreas boscosas. Además, se debe evaluar la situación de vulnerabilidad socioambiental de las comunidades y generar alternativas de desarrollo productivo, prácticas de manejo de fuego, mejoramiento y diversidad productiva, esto para garantizar mejores opciones para la generación de ingresos y evitar la degradación los recursos naturales locales (Aguilar & Ramírez 2015, GADSC 2020, Barlow *et al.* 2021).

Los siguientes pasos deben ser considerados en el proceso de la restauración forestal en Santa Cruz: i) la jerarquización de los niveles de intervención geográfica en los sitios de alta prioridad, ii) la estimación de los costos económicos de inversión en la implementación de las acciones de restauración, iii) y el diseño de los mecanismos que hagan efectivas estas acciones.

Conclusión

En este estudio se han identificado las áreas prioritarias para la restauración asistida para el departamento de Santa Cruz, sus municipios y sus áreas protegidas. El modelo de análisis de decisiones múltiples con criterios espaciales basado en un sistema de información geográfica posibilitó la integración de variables geográficas de una gran diversidad y complejidad de información, así como la evaluación de distintos contextos y dinámicas del paisaje. Los factores de los componentes de impacto, socioeconómico y biofísico, fueron decisivos para la identificación y el establecimiento de áreas para la restauración asistida. Se sugiere que este modelo sea validado y utilizado como herramienta de soporte fundamental en el proceso de toma de decisión de cualquier programa de restauración asistida.

La viabilidad de la restauración de las áreas identificadas, dependerá de la participación directa de las comunidades, el monitoreo local, evaluaciones científicas y la formación de alianzas estratégicas entre municipios, gobernación, sectores del gobierno y organizaciones de la sociedad civil.

Agradecimientos

El presente estudio fue realizado en el marco del proyecto “Bases del conocimiento para la restauración - Fase 2”, financiado por el Ministerio de Recursos Naturales del Gobierno de Canadá. Deseamos extender un especial agradecimiento a todo el equipo técnico de la FCBC y a los expertos que participaron en el debate para construir la metodología para los análisis. A los revisores por sus comentarios y sugerencias que han ayudado a mejorar notablemente el manuscrito.

Referencias

- Aguilar-Garavito, M. & W. Ramírez. 2015. Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C.
- Anívarro, R., H. Azurduy, O. Maillard & A. Markos. 2019. Diagnóstico por teledetección de áreas quemadas en la Chiquitania. Informe Técnico del Observatorio Bosque Seco Chiquitano. Fundación para la Conservación del Bosque. Santa Cruz.
- Ávila-Flores, D. Y., M. A. González-Tagle, J. Jiménez-Pérez, O.A. Aguirre-Calderón, E. Treviño-Garza, B. Vargas-Larreta & E. Alanís-Rodríguez. 2014. Efecto de la severidad del fuego en las características de la estructura forestal en rodales de coníferas. *Revista Chapingo* 20 (1): 34-45. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.01.005>
- Barlow, J., P. Sist, R. Almeida, C. Arantes, E. Berenguer, P. Caron, F. Cuesta, C. Doria, J. Ferreira, A. Flecker *et al.* 2021. Amazon Assessment Report 2021. United Nations Sustainable Development Solutions Network, Nueva York. <https://www.theamazonwewant.org/spa-reports/> DOI: 10.55161/OSPD2912
- Bilbao, B., L. Steil, I.R. Urbieto, L. Anderson, C. Pinto, M.E. González, A. Millán, R.M. Falleiro, E. Morici, V. Ibarregaray, D.R. Pérez-Salicrup, J.M. Pereira & J.M. Moreno. 2020. Wildfires. In: Adaptation to Climate Change Risks in Ibero-American Countries. Pp. 435-496. En: Moreno, J.M., C. Laguna-Defior, V. Barros, E. Calvo Buendía, J.A. Marengo, & U. Oswald Spring (eds.). RIOCCADAPT Report. McGraw Hill, Madrid.
- Boillat, S., M. Graziano & P. Bottazzi. 2022. The role of protected areas and land tenure regimes on forest loss in Bolivia: Accounting for spatial spillovers. *Global Environmental Change* 76, 102571. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102571>.
- Bowman, D.M.J.S., J.K. Balch, P. Artaxo, W.J. Bond, J.M. Carlson, M.A. Cochrane, C.M. D'Antonio, R.S. DeFries, J.C. Doyle, S.P. Harrison *et al.* 2009. Fire in the Earth system. *Science* 324: 481-484.

- Bowman D. 2017. When will the jungle burn? *Nature Climate Change* 7: 390.
- Chadourne, M.H., S.-H.S.H Cho & R.K. Roberts. 2012. Identifying priority areas for forest landscape restoration to protect ridgelines and hillsides: a cost-benefit analysis. *The Canadian Journal of Agricultural Economics* 60: 275–294.
- Chazdon, R. L. 2017. Landscape restoration, natural regeneration, and the forests of the future. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 102: 251–257.
- Chazdon, R.L., B. Bodin, M.R. Guariguata, D. Lamb, B. Walder, U. Chokkalingam & K. Shono. 2017. Partnering with nature: The case for natural regeneration in forest and landscape restoration. FERI Policy Brief. Montreal.
- Chazdon, R.L. & M.R. Guariguata. 2018. Herramientas de apoyo a decisiones para la restauración del paisaje forestal: estado actual y futuro. CIFOR - Documentos Ocasionales 189, Bogor.
- Chazdon, R. L., D. Lindenmayer, R. Crouzeilles, J. M. Benayas, E. Lazos & M.R. Guariguata. 2020. La regeneración natural del bosque en tierras abandonadas como estrategia de restauración. USAID. CIFOR. Brief Info.
- César, R.G., L. Belei, C.G. Badari, R.A.G. Viani, V. Gutierrez, R.L. Chazdon, P.H.S. Brancalion & C. Morsello. 2021. Forest and landscape restoration: a review emphasizing principles, concepts, and practices. *Land* 10: 28. <https://doi.org/10.3390/land10010028>.
- Cochrane, M.A. & M.D. Schulze. 1999. Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica* 31: 2-16.
- Devisscher, T., Y. Malhi, V.D. Rojas Landívar & I. Oliveras (2016). Understanding ecological transitions under recurrent wildfire: A case study in the seasonally dry tropical forests of the Chiquitania, Bolivia. *Forest Ecology and Management* 360: 273–286.
- Duarte, N., F. Cuesta, A. Terán, E. Pinto, I. Arcos, A. Solano & O. Torres. 2017. Protocolo para monitoreo de áreas de restauración ecológica en los bosques montanos de la cordillera del Ecuador. CONDESAN, Fundación Imaymana, Quito.
- FAO & PNUMA. 2020. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Roma.
- FAN (Fundación Amigos de la Naturaleza). 2015. Atlas Socioambiental de las Tierras Bajas y Yungas de Bolivia; Editorial FAN, Santa Cruz de la Sierra.
- Flores-Valencia, M. & O. Maillard. 2021. Detección y cuantificación de los incendios forestales 2020: un análisis de la afectación en municipios, Tierras de Producción Forestal Permanente (TPFP) y áreas protegidas del departamento de Santa Cruz, Bolivia. Informe técnico del Observatorio Bosque Seco Chiquitano, Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano, Santa Cruz.
- FuGAR Chiquitania CICEI-UCB. 2021. Guía práctica de monitoreo para la restauración ecológica en áreas afectadas por incendios en la Chiquitania boliviana. Cochabamba.
- Hanson, C., K. Buckingham, S. DeWitt & L. Laestadius. 2015. *The Restoration Diagnostic*; World Resource Institute, Washington DC.
- Holdsworth, A.R. & C. Uhl. 1997. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. *Ecological Applications* 7: 713-725.
- GADSC (Gobierno Autónomo Departamental de Santa Cruz). 2020. Plan estratégico para la implementación del plan de recuperación de las áreas afectadas por los incendios en el departamento de Santa Cruz. Gobierno Departamental de Santa Cruz-Secretaría de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente-FCBC-PNUD, Santa Cruz de la Sierra.
- González, O., M. L. Plascencia-Escalante & F.O. Martínez-Trinidad. 2016. Áreas prioritarias para restauración ecológica y sitios de referencia en la región Chignahuapan-Zacatlán. *Madera y Bosques* 22: 41-52.
- Gorelick, N., M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau & R. Moore. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202: 18–27
- Key, C.H. & N.C. Benson. 2006. Landscape assessment: Ground measure of severity, the composite burn index; and re-mote sensing of severity, the normalized burn ratio. pp. 219–273. En: Lutes, D.C., R.E. Keane, J.F. Caratti, C.H. Key, N.C. Benson, S. Sutherland & L.J. Gangi (eds.) *Fire Effects Monitoring and Inventory System*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden.
- IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Secretariat, Bonn.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2019. Special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. World Meteorological Organization, Ginebra.
- Lamb, D. 2014. *Large-scale forest restoration*. Routledge, Londres.
- Lizundia-Loiola, J., M.L. Pettinari & E. Chuvieco. 2020. Temporal anomalies in burned area trends: satellite estimations of the Amazonian 2019 Fire Crisis.

- Remote Sensing 12(1): 151.
<https://doi.org/10.3390/rs12010151>
- Maillard O., R. Vides-Almonacid, M. Flores-Valencia, R. Coronado, P. Vogt, S.M. Vicente-Serrano, H. Azurduy, R. Anívarro & R.L. Cuellar. 2020a. Relationship of Forest Cover Fragmentation and Drought with the Occurrence of Forest Fires in the Department of Santa Cruz, Bolivia. *Forests* 11: 910. <https://doi.org/10.3390/f11090910>
- Maillard, O., R. Anívarro & M. Flores-Valencia. 2020b. Pérdida de la cobertura natural (1986-2019) y proyecciones de escenarios a futuro (2050) en el Departamento de Santa Cruz. Informe técnico del Observatorio Bosque Seco Chiquitano, Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano, Santa Cruz.
- Maillard, O., S.K. Herzog, R.W. Soria-Auza & R. Vides-Almonacid. 2022a. Impact of fires on Key Biodiversity Areas (KBAs) and priority bird species for conservation in Bolivia. *Fire* 5: <https://doi.org/10.3390/fire5010004>
- Maillard, O., M. Flores-Valencia, G. Michme, R. Coronado, M. Bachfischer, H. Azurduy, R. Vides-Almonacid, R. Flores, S. Angulo, & N. Mielich. 2022b. Phenology Patterns and Postfire Vegetation Regeneration in the Chiquitania Region of Bolivia Using Sentinel-2. *Fire* 5: <https://doi.org/10.3390/fire5030070>
- Maillard O. 2023. Post-Fire Natural Regeneration Trends in Bolivia: 2001–2021. *Fire* 6:18. <https://doi.org/10.3390/fire6010018>
- Marshall, A. C. E., M. Waite, L.F. Pfeifer, S. Banin, S. Rakotonarivo, J. Chomba, D. A. Herbohn, M. Gilmour, Brown & R. L. Chazdon. 2022. Fifteen essential science advances needed for effective restoration of the world's forest landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*378: 20210065. <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0065>
- McDaniel, J., D. Kennard & A. Fuentes. 2005. Smokey the tapir: traditional fire knowledge and fire prevention campaigns in lowland Bolivia. *Society and Natural Resources* 18: 921-931.
- Mostacedo B., A. Viruez, Y. Varon, A. Paz-Roca, V. Parada & V. Veliz. 2022. Tree survival and resprouting after wildfire in tropical dry and subhumid ecosystems of Chiquitania, Bolivia. *Trees, Forests and People* 10: 1-9.
- Pacheco, L. F., L. C. Quispe & F. A. Suárez. 2021. Muerte de mamíferos por incendios de 2019 en la Chiquitania. *Ecología en Bolivia* 56: 4-16.
- Pausas, J.G. & J.E. Keeley. 2009. A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience* 59: 593-601.
- Posada, H. 2015. Evaluación multicriterio y SIG, como herramientas para la gestión territorial. Facultad de Ingeniería, Universidad Santos Tomas, Bogotá.
- Potapov, P., M.C. Hansen, A. Pickens, A. Hernandez-Serna, A. Tyukavina, S. Turubanova, V. Zalles, A. Li X, Khan, F. Stolle, N. Harris, X. Song, A. Baggett, I. Kommareddy & A. Kommareddy. 2022. The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived from the Landsat Archive: First Results. *Frontiers in Remote Sensing* 3: 856903.
- Rebolledo, P. & D. Villarroel. 2021. Actualización de las áreas prioritaria de restauración bajo un enfoque de seguridad hídrica y de contribución a la NDC. Gobierno Departamental de Santa Cruz, Santa Cruz.
- Sabogal, C., C. Besacier, D. McGuire. 2015. Forest and landscape restoration: concepts, approaches and challenges for implementation. *Unasylva* 66: 3–10.
- Silva-Hernández, F. 2019. Principio de prevención y precautorio en materia ambiental. *Revista Jurídica Derecho* 8: 92-106.
- Song, X.P., M.C. Hansen, S.V. Stehman, P.V. Potapov, A. Tyukavina, E.F. Vermote & J.R. Townshend. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature* 560: 639–643.
- Strassburg, B.B.N., A. Iribarrem, H.L. Beyer C.L. Cordeiro, C.C. Jakovac, A. Braga Junqueira, E. Lacerda, A.E. Latawiec, A. Balmford, T.M. Brooks *et al.* 2020. Global priority areas for ecosystem restoration. *Nature* 586: 724–729. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>
- Tyukavina, A., P. Potapov, M.C. Hansen, A.H. Pickens, S.V. Stehman, S. Turubanova, D. Parker, V. Zalles, A. Lima, I. Kommareddy, X.P. Song, L. Wang & N. Harris. 2022. Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing* 3: 825190. doi: 10.3389/frsen.2022.825190
- Uhl, C. 1998. Perspectives on wildfire in the humid tropics. *Conservation Biology* 12: 942-943.
- Vanegas-López, M. 2016. Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD, México DF.
- Veluk, G., R. Camino & A. Imbac. 2012. Mapeo de áreas prioritarias para la restauración del paisaje forestal y mejora de los medios de vida de comunidades rurales en el altiplano de San Marcos, Guatemala.

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba.

- Vides-Almonacid, R., S. Reichle & F. Padilla. 2007. Planificación ecorregional del bosque seco chiquitano. Editorial Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano, Santa Cruz.
- Villarroel, D., M. Pinto-Viveros, & L. Sainz. 2021. Evaluación de impactos ecológicos en áreas afectadas por quemas e incendios en la Amazonía, Bosque Seco Chiquitano y el Pantanal boliviano: monitoreo y diagnóstico integral de los impactos generados por los incendios. Fundación Amigos de la Naturaleza (FAN) & World Wildlife Fund (WWF Bolivia). Santa Cruz.
- WWF & IUCN. 2000. Forests reborn: a workshop on forest restoration. Pp. 5. En: Proceedings of the WWF/IUCN International Workshop on Forest Restoration, Segovia.