


## Artículo Original

# La huella del fuego: Un análisis multitemporal de las quemas forestales dentro y fuera de la Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi, Pando, Bolivia

The fire footprint: A multi-temporal analysis of forest fires inside and outside the Manuripi Amazon National Wildlife Reserve, Pando, Bolivia

Natalio Roque Marca<sup>1\*</sup>, Armando Rodriguez-Montellano<sup>2</sup>, Hugo Santillan-Davalos<sup>1,3</sup> & Daniel M. Larrea-Alcázar<sup>1,4</sup>

\*Autor de Correspondencia: [nroque@conservacionamazonica.org.bo](mailto:nroque@conservacionamazonica.org.bo)

<sup>1</sup> Asociación Boliviana para la Investigación y Conservación de Ecosistemas Andino-Amazonicos (Conservación Amazónica-ACEAA), Los Pinos, Av. Jose María Aguirre Achá Nro. 200, La Paz, Bolivia.

<sup>2</sup> Fundación Amigos de la Naturaleza - FAN-Bolivia, casilla postal 2241, Santa Cruz, Bolivia.

<sup>3</sup> Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi (RNVSA Manuripi).

<sup>4</sup> Herbario Nacional de Bolivia, Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Correo Central Casilla 10071, La Paz, Bolivia.

Recibido: 8/01/2026 Aceptado para publicación: 22/06/2026

## Resumen

En este estudio, evaluamos la dinámica histórica de las quemas ocurridas durante el periodo 2001-2020 dentro y fuera de la Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi (RNVSA Manuripi), ubicada al norte de Bolivia. Incluimos variables físicas (focos de fuego, superficie quemada, deforestación y caminos), sociodemográficas (densidad poblacional) y bioclimáticas como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y las anomalías de precipitación y temperatura. Encontramos mayores quemas ocurridas fuera de la RNVSA Manuripi que dentro de ella. Las quemas estuvieron asociadas al final de la época seca (julio-septiembre) e inicio de la húmeda (octubre-noviembre), con reportes críticos entre los meses de agosto y octubre, especialmente, septiembre. Las quemas estuvieron asociadas al bajo registro del NDVI, bajas precipitaciones y altas temperaturas. En algunos años, los focos de fuego y las superficies quemadas dentro y fuera de la RNVSA Manuripi estuvieron asociadas al fenómeno de El Niño. Por otra parte, las quemas también tuvieron relación con la deforestación y mantenimiento o apertura de caminos. Sugerimos que la actividad humana esta omnipresente dentro y fuera de la RNVSA Manuripi, especialmente, fuera de ella. Nuestros resultados demuestran una gestión eficiente de los administradores de la RNVSA Manuripi al evitar o disminuir las quemas, al menos para el periodo analizado. Futuras investigaciones podrían analizar las interacciones específicas entre el fuego, las presiones humanas y las condiciones bioclimáticas a escala de la RNVSA Manuripi y su zona de amortiguación.

**Palabras clave:** Amazonía, áreas protegidas, caminos, deforestación, densidad de Kernel, fuego.

## Abstract

In this study, we analyzed the historical dynamics of burning during the period 2001-2020 inside and outside the Manuripi National Reserve of Amazonian Wildlife (RNVSA Manuripi), located in northern Bolivia. We included physical (fire foci, burned area, deforestation and roads), sociodemographic (population density) and bioclimatic variables such as normalized difference vegetation index (NDVI) and precipitation and temperature anomalies. We found that most of the burning occurred outside the RNVSA Manuripi than within the area. The fires were associated with the end of the dry season (July-September) and the beginning of the wet season (October-November), being the most critical months between August and October, especially September. The burns were associated with low NDVI, low rainfall and high temperatures. In some years, fire foci and burned areas inside and outside the RNVSA Manuripi were associated with the El Niño phenomenon. On the other hand, burning was also related to deforestation and maintenance or opening of roads. We suggest that human activity is omnipresent inside and outside of RNVSA Manuripi, especially outside of it. Our results demonstrate efficient management of the Manuripi RNVSA managers by avoiding or decreasing the burning, at least for the period analyzed. Future research could analyze the specific interactions between fire, human pressures and bioclimatic conditions at the scale of RNVSA Manuripi and its buffer zone.

**Keywords:** Amazonia, deforestation, fire, Kernel density, protected areas, roads.

## Introducción

Los incendios que ocurren en la Amazonía han llamado la atención política y mediática, al tratarse del mayor depósito de biodiversidad, fuente de agua y biomasa de carbono en la tierra (Fearnside 2008; Keeley et al., 2011). En gran parte de la Amazonía suroccidental, los incendios son iniciados por el hombre durante el período más seco, agosto a octubre (Resnikowski, 2007). La combinación de las quemadas con altas temperaturas, vientos fuertes, baja precipitación y humedad provoca los incendios forestales e incrementa las áreas quemadas (Holden et al., 2018; Filho et al., 2022), con pérdidas de carbono (Silvestrini et al. 2011), y retroalimentación positiva al cambio climático (Golding & Betts 2008).

La Amazonía en su distribución más austral se extiende hasta el centro-norte de Bolivia, representando el 25 % de la superficie del país y alberga una alta diversidad de plantas (Mostacedo et al., 2006), mamíferos (Wallace & Painter, 2000), peces (Soliz et al., 2014), anfibios (Reichle, 2006), reptiles e insectos (Buitrago et al., 2016; Aparicio et al., 2021), entre otras especies que son estudiadas. Las áreas protegidas (AP), son herramientas clave para preservar esta biodiversidad, desarrollando programas de investigación técnica-científica, concientización, corredores biológicos y generan alternativas para el desarrollo económico de las poblaciones locales o regiones. Las quemadas forman parte de los ecosistemas que albergan las AP. Cuando las quemadas se modifican más allá de sus rangos naturales, los ecosistemas pueden volverse menos resistentes a otras perturbaciones (Keeley et al., 2011). En años de rápido cambio de uso de la tierra y acentuados efectos del cambio climático, conciliar la gestión de las AP con la realidad de los incendios forestales es un desafío importante.

Según Butrón (2011) e información de la Dirección General de Biodiversidad y Áreas Protegidas (DGBAP) desde 1939 al 2022, Bolivia cuenta con 164 AP (23 Nacionales, 27 Departamentales y 114 Municipales) y tres AP Indígena Originaria Campesinas. Las AP consideran las Zonas Externas de Amortiguamiento (ZEA), incorporando comunidades vecinas en los esfuerzos de conservación y desarrollo sostenible (Moscoso 2003). La Reserva Nacional Amazónica de Vida Silvestre Manuripi (en adelante RNVSA Manuripi), se creó en la década de los 70, inicio su gestión a principios de 1990 y se presume que al igual que otras AP en las tierras bajas de Bolivia enfrenta una fuerte presión por los fuegos que ocurren dentro y fuera de ella.

A pesar de reconocer la importancia de las AP no se ha prestado atención en la evaluación sobre su impacto en el territorio para reducir la presencia y control de incendios forestales. Esto, particularmente, para la Amazonia donde las áreas protegidas han demostrado ser barreras para la deforestación (Rodríguez et al., 2013) y los incendios tienden a incrementar cada año (Singh et al., 2022). Además, pocos estudios han relacionado la deforestación con los incendios registrados a través de satélites, datos ambientales, climáticos y sociodemográficos. Además, en los últimos 20 años, la

información de incendios para Bolivia se encuentra en aumento y existen plataformas para el monitoreo y seguimiento como el Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana de Riesgos de Incendios Forestales, SATRIFO (FAN, 2022) o el Sistema de Información y Monitoreo de Bosques, SIMB (MMAYa, 2022). Para abordar la importancia de las AP, realizamos un análisis de imágenes satelitales en series de tiempo de focos de calor, áreas quemadas, NDVI, LST, precipitación y datos sociodemográficos para el período 2001-2020. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar los patrones espaciales de los eventos de fuego dentro y fuera de la RNVSA Manuripi, determinando las superficies de cobertura vegetal que fue afectada en los últimos 20 años de gestión de la Reserva y su relación integral con factores climáticos y demográficos.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El estudio fue enfocado en la RNVSA Manuripi, que actualmente cuenta con una superficie de 747 000 ha, creada mediante el Decreto Supremo 11252, 20 dic 1973 (Figura 1). La ZEA de Reserva comprende cuatro sectores, tres de ellos asociados a los municipios en el departamento de Pando: Filadelfia, Puerto Rico y el Sena, y uno último que aún no cuenta con límites definidos por conflictos de entendimiento entre el departamento de Pando y el norte del departamento de La Paz. Por otra parte, la zona fronteriza del Perú que corresponde a la región de Madre de Dios fue considerado como un quinto sector de la ZEA. Las precipitaciones fluctúan entre 1 136 a 2 500 mm al año y las temperaturas promedio oscilan entre 25 y 27 °C (MMAYa et al., 2013; SENAMHI, 2021).

### Delimitando el estudio

En este estudio analizó la dinámica morfológica del Para definir la importancia de la RNVSA Manuripi en la reducción o mitigación del impacto de las quemadas, se delimito una ZEA definiendo una zona buffer referencial, a partir de estadísticas centrográficas por el método de interpolación con los focos de calor que fueron registrados entre el 2001-2020 (QGIS Development Team 2020). Este método, según Pereira y Figueiredo (2009) calcula el centro medio, con el cual realizamos el buffer de la zona de amortiguamiento referencial respecto a la RNVSA Manuripi y el valor de la desviación estándar (Mamuse et al., 2009), permitió definir la zona externa a continuación de la ZEA (Figura 2).

Complementariamente para el 2013 al 2025, se usaron imágenes Maxar Technologies y Airbus disponibles en Google Earth Pro Ver 7.3.6. Se aplicó el índice de sinuosidad a la morfolología fluvial digitalizada en base a las imágenes previamente descritas, para cuantificar patrones de canales mediante relaciones entre longitud del canal y longitud del valle (Schumm 1963). Para el análisis

hipsométrico del cambio del río EL Bañado, se utilizó imágenes radar del 2010, de ALOS PALSAR (AP\_24973\_FBD\_F6780\_RT1) con 12.5 metros de resolución.

### Causa de incendios

Los eventos de fuego son asociados a la influencia relativa de la densidad poblacional, datos geoespaciales obtenido de la plataforma abierta del Intercambio de Datos Humanitarios (HDX 2025). Por otra parte, están las redes viales como las coberturas de la red de carreteras y caminos vecinales de Perú (GEOGSPERU, 2025), Brasil (RAISG, 2025) y Bolivia (GeoBolivia, 2025), a partir de los cuales se generó una nueva cobertura con 30 m de buffer como efecto de borde sobre las especies vegetales que disminuyen a lo largo de un gradiente hacia el bosque (Watkins et al., 2003). Además, esta la deforestación cuya cobertura fue obtenida de Global Forest Watch (Hansen et al., 2013).

### Focos de fuego

Los datos de eventos de fuego provienen de las imágenes satelitales del sensor MODIS disponible en los satélites Terra (EOS AM) y Aqua (EOS PM), que fueron lanzados al espacio en febrero del 2000 y junio del 2002 respectivamente, como parte del Earth Observing System, EOS (Masuoka et al., 1998). Los datos de fuego para Perú, Brasil y Bolivia fueron obtenidos del Sistema Automatizado de Información sobre Quemas para la Gestión de Recursos de la NASA, FIRMS (FIRMS, 2025).

### Áreas quemadas

Para validar la incidencia de los focos de fuego obtenida del sensor MODIS comparamos la información histórica de incendios forestales para Perú, Brasil y Bolivia monitoreado por FIRMS y el Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana de Riesgos de Incendios Forestales (SATRIFO, 2025). Además, identificamos las anomalías en la temperatura y la cobertura vegetal como consecuencia de los incendios forestales a partir de datos obtenidos de la plataforma Application for Extracting y Exploring Analysis Ready Samples (AppEEARS, 2025).

### Anomalías de NDVI y variables climáticas

Entre las variables ambientales se utilizó los datos del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de 16 días como un sustituto de la dinámica de vegetación. A partir del cual calculamos las anomalías del NDVI para el periodo 2001-2020, según Nanzad et al. (2019):

$$NDVI_{anomalía(i,j)} = \frac{NDVI_y(i,j) - Promedio(NDVI_{2001-2020}(i,j))}{SD(NDVI_{2001-2020}(i,j))} \times 100$$

Donde: el  $NDVI_{anomalía(i,j)}$  es la anomalía del NDVI del píxel (i, j),  $NDVI_y(i,j)$  es el promedio mensual de píxel (i, j),  $Promedio(NDVI_{2001-2020}(i,j))$  es el promedio de NDVI para el periodo 2001-2020 y  $SD(NDVI_{2001-2020}(i,j))$  la desviación estándar del NDVI.

Adicionalmente, se determinó las anomalías de la temperatura superficial terrestre (LST, Land Surface Temperature), con datos MOD11A1 de 1 km de resolución (Quintano et al., 2015, AppEEARS, 2025), porque su magnitud es afectada por las propiedades de la cubierta vegetal, el albedo de la superficie y las interacciones atmosféricas (Jin & Dickinson, 2010). La anomalía LST es igual a la temperatura promedio anual (X) menos el promedio de temperaturas de todo el rango de datos del periodo 2001-2020 ( $\bar{X}$ ) entonces:

$$Anomalía\ LST = X - \bar{X}$$

Finalmente, los datos de precipitación son importantes para evaluar la sequía en la Amazonia (Marengo et al. 2008). Utilizamos datos de Monthly Tropical Rainfall Monitoring Mission version 7, TRMM v7 (Huffman et al., 2007), obtenidos de la plataforma Giovanni (GIOVANNI, 2025). La anomalía fue determinada con el Rainfall Anomaly Index, RAI (Sadiq et al., 2020):

$$RAI = \begin{cases} 3 \times \frac{X - \bar{X}}{xb - \bar{X}} & \text{para } X > \bar{X} \\ -3 \times \frac{X - \bar{X}}{mb - \bar{X}} & \text{para } X < \bar{X} \end{cases}$$

Donde el RAI es Índice de Anomalía de Precipitación, X es la precipitación total anual del año de estudio, ( $\bar{X}$ ) es la precipitación promedio anual, xb es el promedio de los diez casos con mayor precipitación anual, mb es el promedio de los diez casos con menor precipitación anual.

### Análisis de datos

En un primer paso, calculamos las características principales del régimen de incendios con datos de los eventos de fuego y las áreas quemadas. Los eventos de fuego fueron analizados con ANOVA de dos vías (sitio de estudio y mes) para medidas repetidas del periodo 2001-2020 dentro la RNVSA Manuripi, la ZEA y la zona externa. Utilizamos pruebas post hoc de Bonferroni para comparaciones entre los meses. Estimamos todas las pruebas con un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha=0,05$ ). Por otra parte, utilizamos ANOVA de una vía para evaluar las diferencias entre las superficies de quema (variable dependiente) dentro de la RNVSA Manuripi, ZEA y externa (variable independiente). Se realizó pruebas de Tukey para la comparación entre las áreas de estudio.

En un segundo paso, realizamos las EDK para cada año del periodo 2001-2020 por el método de interpolaciones en QGIS Development Team (2020), obtuvimos las estadísticas centrográficas y luego el ancho de banda óptimo, utilizando la ecuación de Fotheringham et al. (2000):

$$H_{opt} = \left[ \frac{2}{3n} \right]^{1/4} \times \sigma$$

Donde:  $Hopt$  es el ancho de banda óptimo,  $n$  es el número de observaciones (eventos de fuego), y  $\sigma$  es la desviación de distancia estándar para cada año. Los datos de eventos de fuego de FIRMS y el ancho de banda óptimo fueron incluidos en el modelo de EDK disponible en el programa ArcMap (ESRI, 2016).

Como tercer paso, realizamos un análisis de componentes principales (PCA) para probar la correlación entre ocho variables asociados a los incendios (eventos de fuego, superficie de quema, densidad de la población, deforestación, caminos, anomalías de temperatura, precipitación y temperatura). Además, para determinar

los componentes principales se utilizó el criterio de Kaiser-Meyer-Olkin (Kaiser 1960, Denis 2020), que asigna eigenvalues superiores a 1,0 que son considerados como significativos en el análisis de PCA. Finalmente, se realizó un análisis de correlación de Pearson para identificar las variables con mayor correlación (Granato et al. 2018). Realizamos los análisis utilizando el programa R (R Core Team, 2023).

## Resultados

### Características del régimen de incendios

Las tres áreas de estudio manifestaron similares

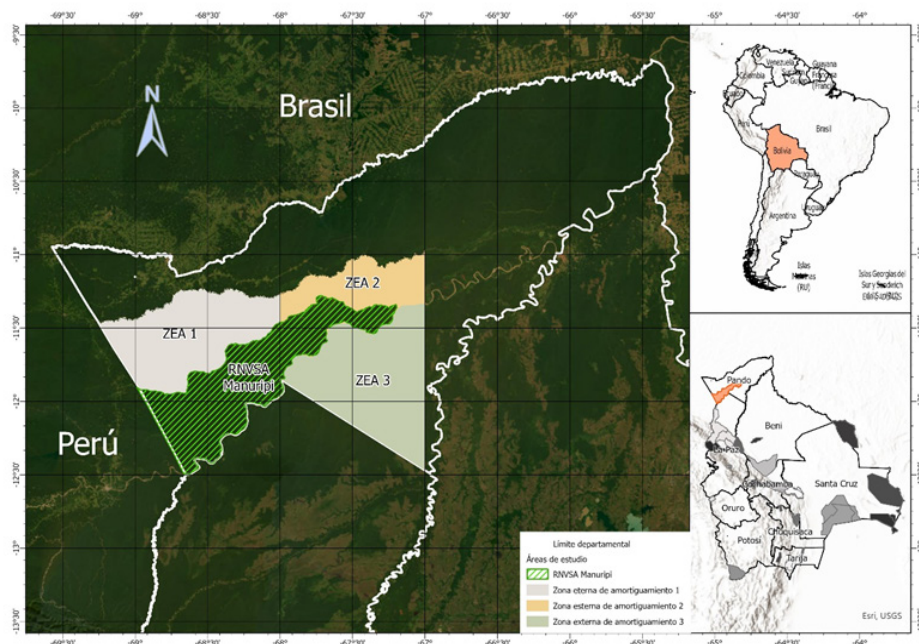


Figura 1. Mapa de ubicación de la RNVSA Manuripi y las Zonas Externas de Amortiguamiento (ZEA), digitalizado del Plan de Manejo de la RNVSA Manuripi (MMAyA et al. 2013).

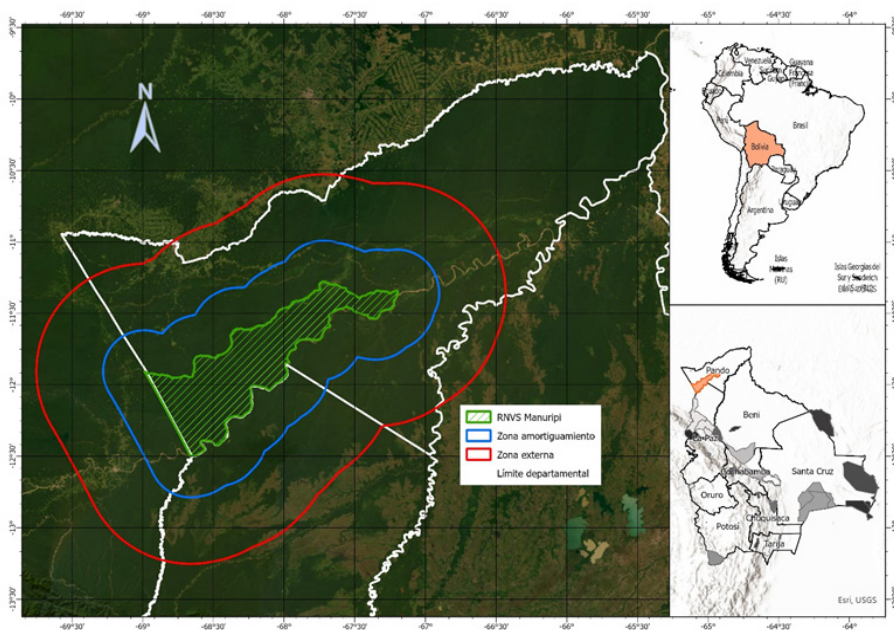


Figura 2. Mapa de ubicación de la RNVSA Manuripi (polígono verde) y la delimitación de la zona de amortiguamiento referencial (línea azul) y externa (línea roja).

## Resultados

### Características del régimen de incendios

Las tres áreas de estudio manifestaron similares características en el régimen de eventos de fuego durante el periodo 2001-2020. La actividad de fuegos se inició usualmente en julio,  $2,9 \pm 0,7$  % (media  $\pm$  EE), cuando las temperaturas empezaron a incrementar, la precipitación y el NDVI disminuyeron como parte de la estación seca y se prolongaron hasta noviembre,  $1,7 \pm 0,4$  %, donde la temperatura descendió e incremento la precipitación y en paralelo el NDVI (Figura 3 y 4). Entre agosto y octubre se presentó la mayor cantidad de eventos de fuego donde

la interacción de anomalías de precipitación y NDVI marcaron meses secos favorable para las quemaduras, siendo septiembre el mes con mayor actividad de fuego,  $55,3 \pm 3$  %, de la estación seca que coincidió con la época de otoño e invierno austral (Figura 5).

Los focos de fuego tuvieron una variación significativa entre meses ( $F(1,5; 29,3) = 29,3; P < 0,05$ ) y entre sitios de estudio ( $F(1,03; 19,5) = 91,6; P < 0,05$ ). Además, por la interacción significativa entre sitios de estudio y los meses ( $F(22;418) = 52,3; P < 0,05$ ) el patrón de quemaduras mensuales varió entre sitios para el periodo de estudio (Figura 6, Tabla 1).

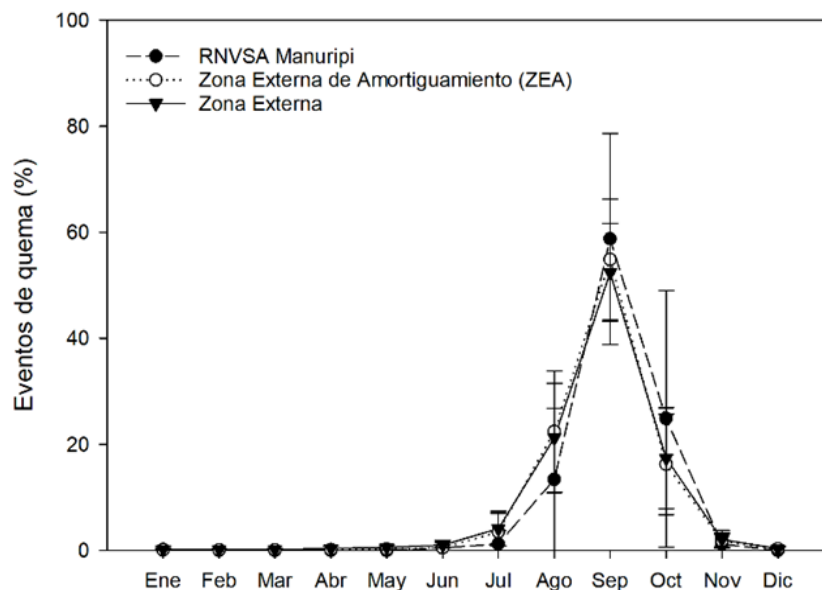


Figura 3. Régimen de eventos de quema dentro y fuera de la RNVSA Manuripi a partir de los focos de fuego registrados por FIRMS para el periodo 2001-2020.

La variación anual de los focos de fuego durante el periodo de estudio registro baja cantidad dentro de la RNVSA Manuripi ( $59,65 \pm 95,72$ ) comparado con la ZEA ( $535,95 \pm 324,55$ ) y la zona externa ( $2\ 193,7 \pm 1\ 053,57$ ). Los mayores registros de fuego ocurrieron en los años 2005 y 2007. Sin embargo, la ZEA tuvo registros adicionales para los años 2004, 2010, 2016 y 2020, que pasaron el promedio. De igual modo, durante los años 2002, 2003, 2004, 2010, 2016 y 2020 en la zona externa obtuvimos registros de fuego mayores al promedio de focos de fuego anual (Figura 7).

### Ocurrencia de quemaduras

Las estimaciones de Kernel realizado para los focos de fuego muestra que las mayores densidades se encuentran fuera de la RNVSA Manuripi y no así dentro, donde la densidad es baja para el periodo 2001-2020 (Figura 8).

Durante el periodo 2001-2020, encontramos diferencias significativas entre los sitios de estudio ( $F(2; 57) = 25,55; P < 0,05$ ). A partir de la prueba de Tukey, identificamos diferencias significativas entre las superficies de quema ocurridas en la RNVSA Manuripi ( $1\ 336 \pm 906$  ha) y la zona externa ( $80\ 170 \pm 14\ 867$  ha), y esta última con la ZEA ( $6$

$879 \pm 2\ 356$  ha). No se encontró diferencias significativas entre la RNVSA Manuripi y la ZEA. Por otra parte, las máximas superficies quemadas en la RNVSA Manuripi ocurrieron en los años 2005 ( $16\ 167$  ha), 2007 ( $9\ 242$  ha) y 2012 ( $739$  ha), habiendo perdido  $26\ 729$  ha de la cobertura boscosa en los 20 años. En la ZEA la mayor pérdida de bosque fue el 2005 ( $35\ 518$  ha), 2007 ( $35\ 374$  ha), 2010 ( $17\ 280$  ha) y 2017 ( $9\ 029$  ha), acumulando un total de  $137\ 570$  ha. Sin embargo, las mayores superficies de quema del bosque fueron en la zona externa 2005 ( $139\ 895$  ha), 2007 ( $149\ 327$  ha), 2010 ( $293\ 703$  ha), 2016 ( $171\ 814$  ha), 2017 ( $87\ 975$  ha), 2019 ( $90\ 861$  ha), de este modo en el periodo 2001-2020 se quemó más de 1,5 millones de hectáreas (Figura 9).

### Relaciones bioclima-sociodemografía-fuego

El PCA de las variables analizadas en el estudio presenta el total acumulado de los componentes principales PC1 y PC2 que fue del 61,62 %. Sin embargo, los valores propios de los tres primeros componentes (PC1, PC2 y PC3), fueron superiores a uno (3,30; 1,63 y 1,01 respectivamente), cumpliendo con el criterio de Kaiser-Meyer-Olkin. Sin embargo, el mapa de componentes principales fue realizado con los PC1 y PC2 porque representa más información y su varianza explica 41,24 % y 20,38 %,

Tabla 1. Resultados de las comparaciones por el método de Bonferroni entre los grupos de sitios para cada mes del periodo de estudio. g.l.: grados de libertad; ns: no tienen diferencias significativas. \*, \*\*, \*\*\* y \*\*\*\*:  $P < 0,05$ .

Mes	Grupo 1	Grupo 2	n1	n2	Estadístico	g.l.	P	Significancia
Enero	Amortiguamiento	Externo	20	20	-4,52	19	0,0007	***
Enero	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	0,85	19	1	ns
Enero	Externo	Manuripi	20	20	4,42	19	0,0009	***
Febrero	Amortiguamiento	Externo	20	20	-2,92	19	0,026	*
Febrero	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	1,53	19	0,426	ns
Febrero	Externo	Manuripi	20	20	3,96	19	0,003	**
Marzo	Amortiguamiento	Externo	20	20	-3,54	19	0,007	**
Marzo	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	2,35	19	0,089	ns
Marzo	Externo	Manuripi	20	20	4,17	19	0,002	**
Abril	Amortiguamiento	Externo	20	20	-4,43	19	0,0009	***
Abril	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	2,07	19	0,158	ns
Abril	Externo	Manuripi	20	20	4,5	19	0,0007	***
Mayo	Amortiguamiento	Externo	20	20	-5,86	19	0,00004	****
Mayo	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	2,41	19	0,078	ns
Mayo	Externo	Manuripi	20	20	6,3	19	0,000014	****
Junio	Amortiguamiento	Externo	20	20	-6,94	19	0,000004	****
Junio	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	2,7	19	0,044	*
Junio	Externo	Manuripi	20	20	6,36	19	0,000013	****
Julio	Amortiguamiento	Externo	20	20	-4,1	19	0,002	**
Julio	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	4,6	19	0,000594	***
Julio	Externo	Manuripi	20	20	4,34	19	0,001	**
Agosto	Amortiguamiento	Externo	20	20	-6,07	19	0,000023	****
Agosto	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	5,56	19	0,000071	****
Agosto	Externo	Manuripi	20	20	6,36	19	0,000013	****
Septiembre	Amortiguamiento	Externo	20	20	-7,65	19	9,69E-07	****
Septiembre	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	8,1	19	4,11E-07	****
Septiembre	Externo	Manuripi	20	20	8,2	19	3,48E-07	****
Octubre	Amortiguamiento	Externo	20	20	-7,85	19	6,69E-07	****
Octubre	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	5,36	19	0,000108	***
Octubre	Externo	Manuripi	20	20	7,58	19	0,000001	****
Noviembre	Amortiguamiento	Externo	20	20	-6,75	19	0,000006	****
Noviembre	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	5,78	19	0,000044	****
Noviembre	Externo	Manuripi	20	20	7,04	19	0,000003	****
Diciembre	Amortiguamiento	Externo	20	20	-3,6	19	0,006	**
Diciembre	Amortiguamiento	Manuripi	20	20	2,58	19	0,055	ns
Diciembre	Externo	Manuripi	20	20	4,18	19	0,002	**

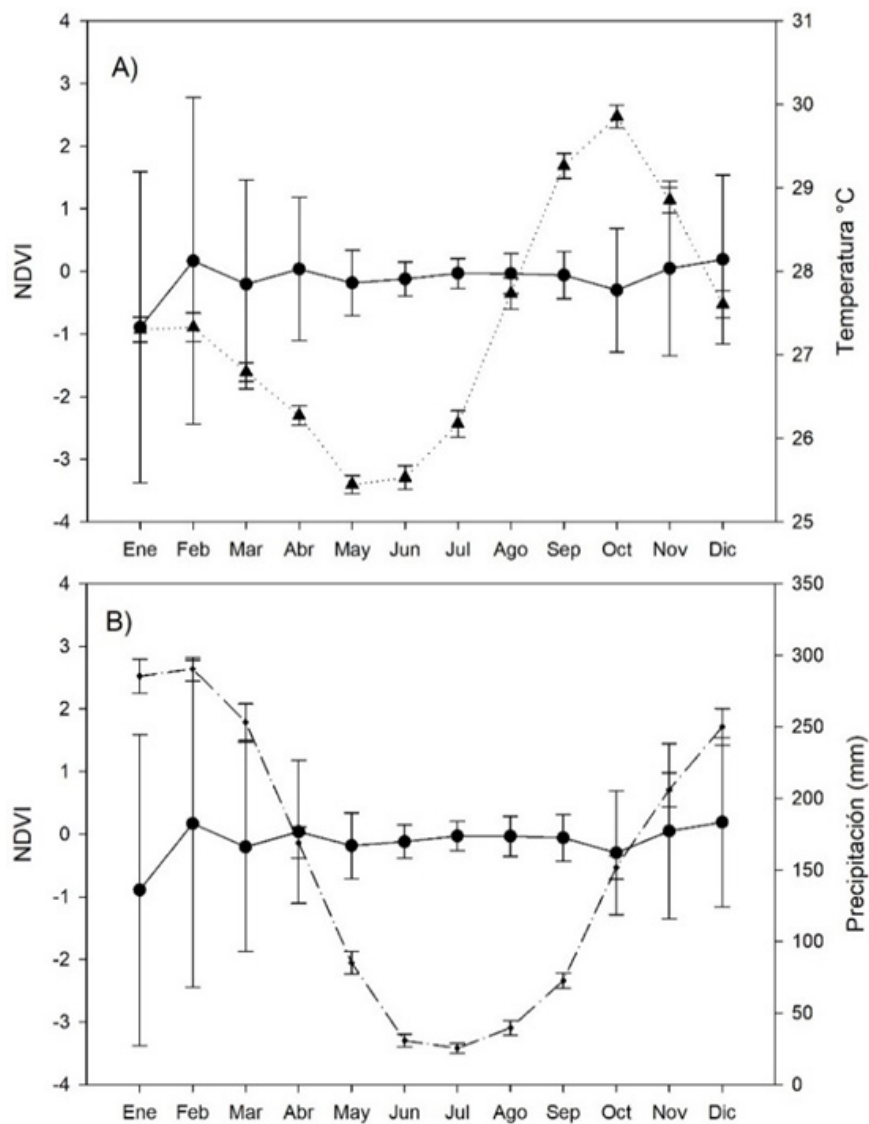


Figura 4. Variación mensual en el promedio de la anomalía de NDVI, líneas segmentadas, con los promedios de: a) temperatura y, b) precipitación a partir de datos del periodo 2001-2020. Línea sólida: Anomalías de NDVI; Línea punteada con triángulo: Variación de temperatura promedio mensual; Línea segmentada: Variación de la precipitación promedio mensual.

respectivamente. No se consideró el PC3 porque presentó una varianza de 12,69 %. Por otra parte, el biplot de PCA nos permitió identificar las interacciones entre los factores que ocasionan las quemas. Asociando el número de focos de fuego con la deforestación, las superficies quemadas, y en menor medida, con la superficie de caminos. Sin embargo, encontramos que este último está significativamente vinculado al área externa de la RNVSA Manuripi. Además, estas variables estuvieron significativamente relacionadas con la densidad poblacional. Por otra parte, la LST está asociada al NDVI y en el eje inverso la precipitación está correlacionado con las variables de la PC1 (Figura 10, Figura 11).

## Discusión

Resnikowski (2007) determinó que las quemas en Bolivia se producen entre agosto y octubre. Nuestro estudio muestra que la presencia de focos de fuego se manifiesta entre julio y noviembre como parte de la estación seca (mayo-septiembre) y húmeda (octubre-diciembre) con

valores atípicos entre los meses de junio y diciembre. Así también, Maillard et al. (2020) registró las quemas para los mismos meses del 2019. Nuestros resultados coinciden con un periodo en el que los riesgos de reducción de las aguas subterráneas y de la humedad superficial son elevados por las bajas o nulas precipitaciones (Caúla et al., 2015; Filho et al., 2022). Por otra parte, la relación entre altas temperaturas y bajo NDVI, evidencia que agosto, septiembre y octubre son los meses más críticos dentro y fuera de la RNVSA Manuripi.

Las quemas en los últimos años son la tercera amenaza a nivel global (Schulze et al., 2018). Nuestros resultados muestran que la frecuencia/severidad de las quemas y los patrones determinados entre el 2001-2020, han sido más intensos fuera de la RNVSA Manuripi que dentro de ella. Tales quemas pudieron estar relacionadas con las condiciones ambientales como las altas temperaturas, baja precipitación y bajo NDVI, es decir, con la disponibilidad de biomasa seca, que llevan a incendios forestales más graves una vez iniciados.

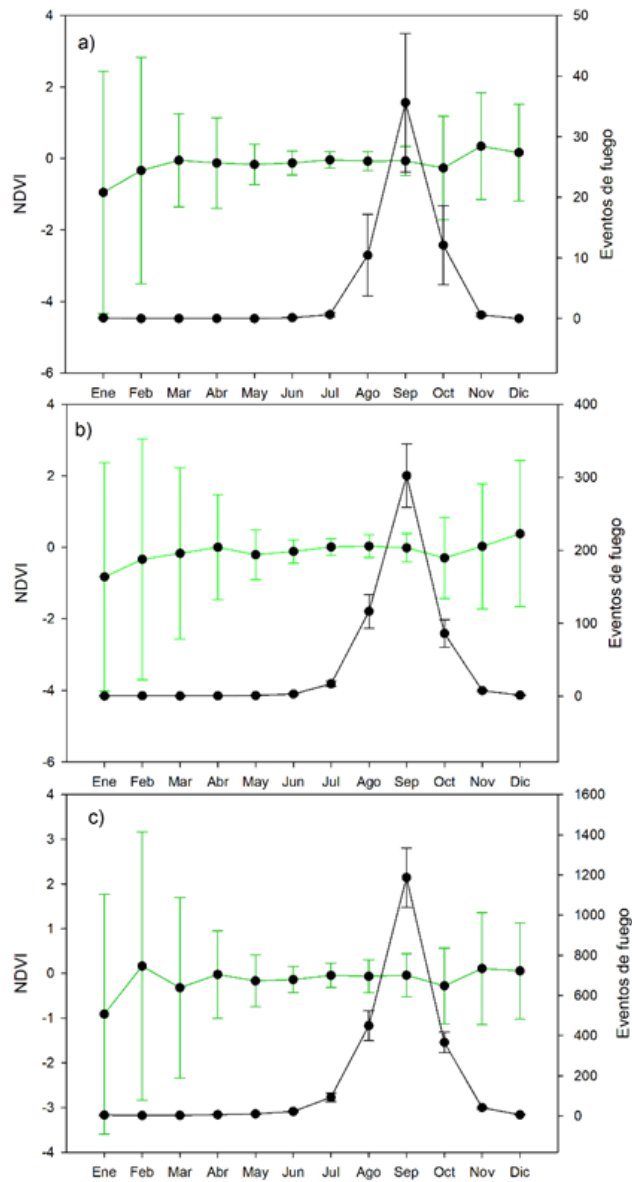


Figura 5. Relación de los focos de fuego con la variación en la anomalía del NDVI mensual, líneas de color verde, para las áreas de estudio: a) RNVSA Manuripi, b) Zona externa de amortiguamiento ZEA y, c) Zona externa. Línea verde: Anomalías de NDVI; Línea sólida negra: Eventos de fuego registrados por FIRMS.

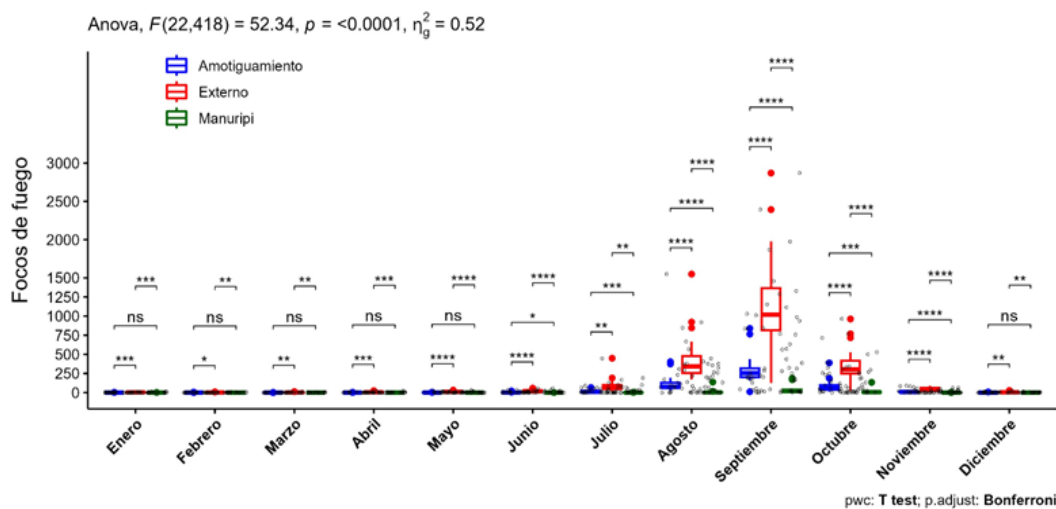


Figura 6. Variación mensual de los focos de fuego entre las áreas de estudio.

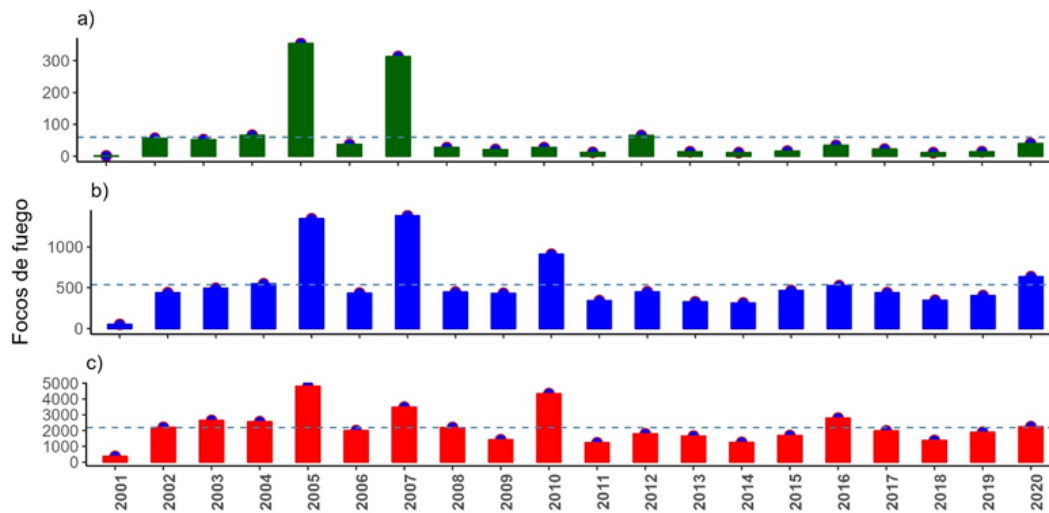


Figura 7. Eventos de fuego registrado para las áreas de estudio en el periodo 2001-2020: a) RNVSA Manuripi, b) zona de amortiguamiento y, c) zona externa.

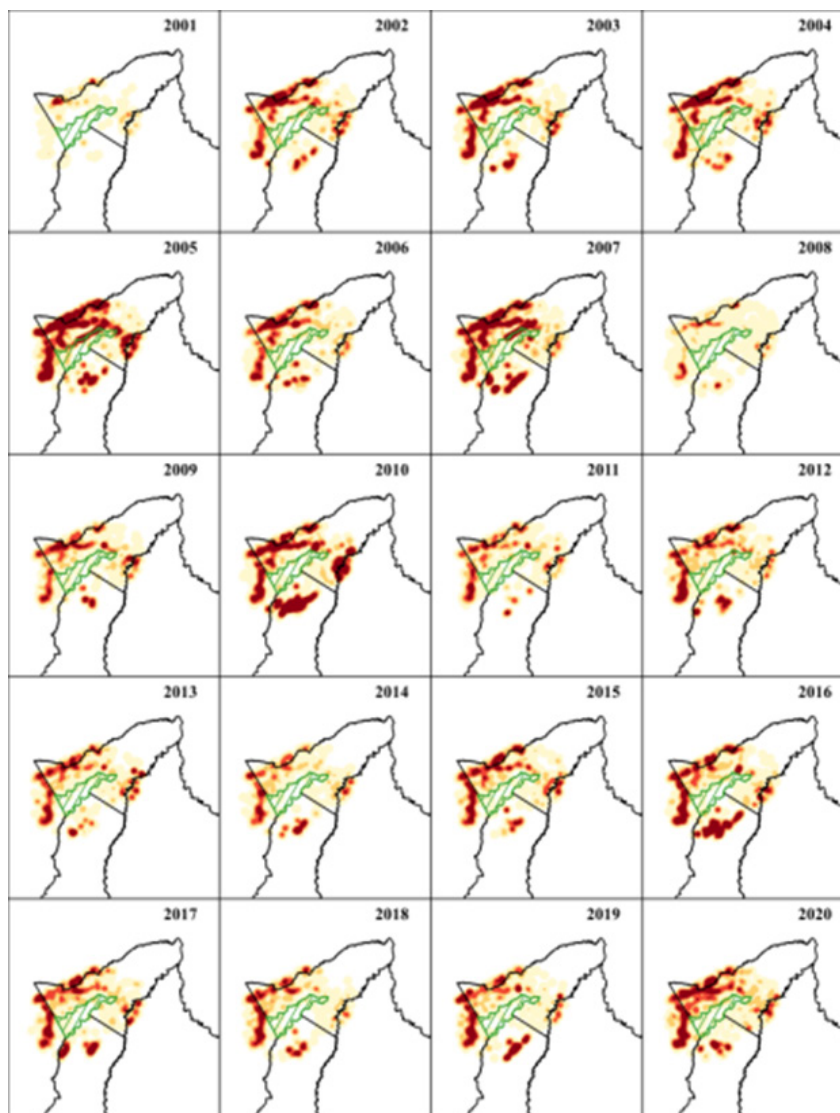


Figura 8. Mapa de Kernel para identificar la densidad de focos de fuego dentro y fuera de la RNVSA Manuripi desde el 2001 hasta el 2020.

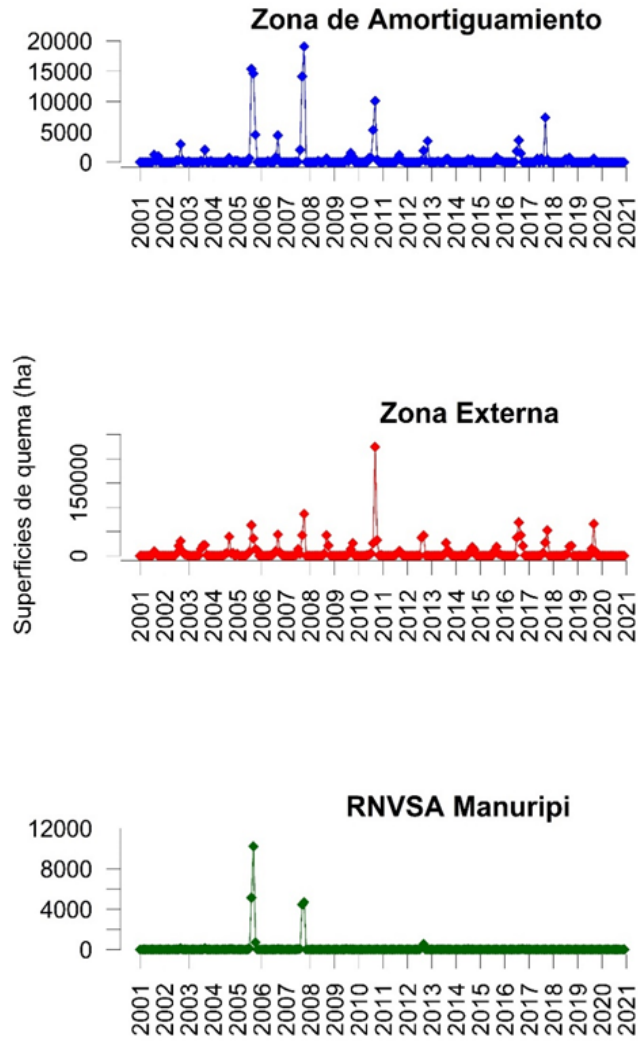


Figura 9. Superficies de quema anual dentro y fuera de la RNVSA Manuripi para el periodo 2001-2020.

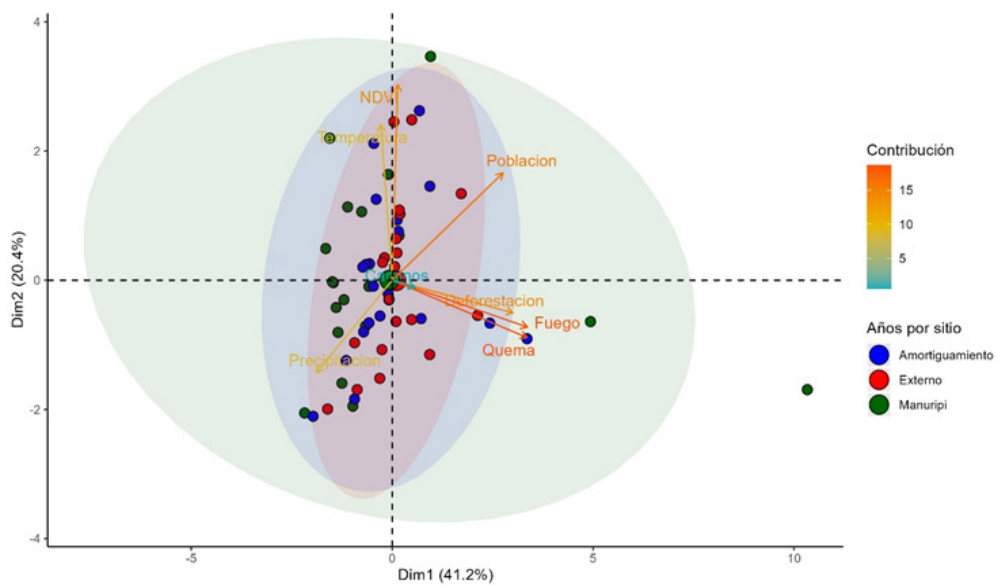


Figura 10. Mapa de factores para el análisis de componentes principales (PCA) que condicionan las quemas-incendios dentro y fuera de la RNVSA Manuripi.

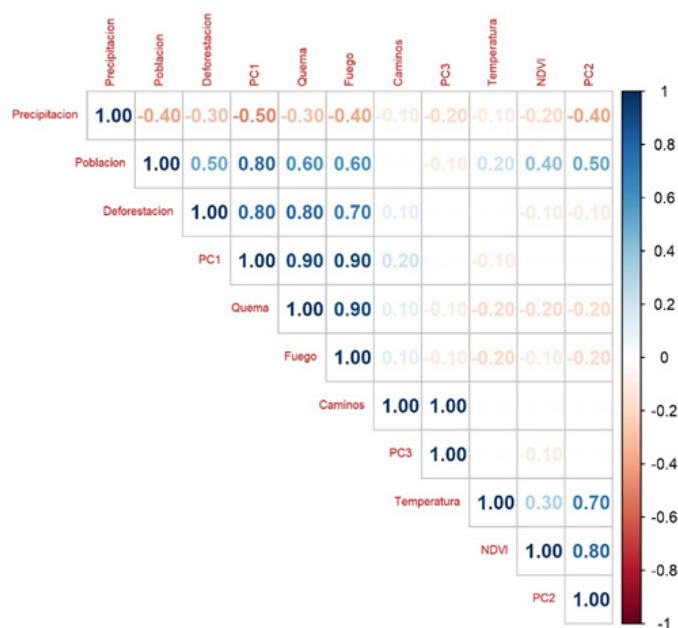


Figura 11. Correlación de Pearson para las variables sociodemográficas, su relación con variables bioclimáticas y su relación con las tres principales componentes.

Por otra parte, los años con mayores quemaduras estuvieron relacionados con la actividad de focos de fuego en episodios del fenómeno El Niño (Oliveira-Júnior et al., 2021). van der Werf et al. (2008) sugiere un vínculo entre el clima y los incendios ligado a El Niño por una retroalimentación negativa sobre la deforestación.

Según la clasificación de Filho et al. (2022), entre el 2001-2002 El Niño de transición se registró más quemaduras y focos de fuego fuera de la RNVSA Manuripi. La sequía extrema del 2005 (Marengo et al., 2008), tuvo su efecto dentro y fuera de la Reserva con quemaduras considerables. Durante El Niño débil del 2007 (Filho et al., 2022), hubo menor superficie de quema y la sequía extrema del 2010 (Marengo et al., 2011), exacerbó la quema de bosques fuera de la RNVSA Manuripi. El Niño del 2015-2016 en combinación con el calentamiento regional tuvo un efecto directo en la ocurrencia de quemaduras (Fonseca et al., 2017). Además, tuvo consecuencias negativas en la producción de productos forestales no maderables (PFNM) como la castaña, *Bertholletia excelsa* (Pastana et al., 2021), efectos que pudieron exacerbarse, liberando gases que contaminan y destruyen la capa de ozono como el bromuro de metilo que es acumulado por la castaña (Benzing et al., 2022). Esto resalta la importancia del monitoreo de los factores bioclimáticos y fenómenos atmosféricos relacionados al fuego para minimizar la degradación de los ecosistemas, las pérdidas económicas y la emisión de gases a la atmósfera.

Según Nepstad et al. (2006), Rodrigues y de la Riva (2014) y Curt et al. (2020) el hombre juega un papel importante en la actividad de quemaduras porque manejan las coberturas

terrestres del paisaje, como la habilitación o limpieza de carreteras y tendidos eléctricos, hasta construcción de casas. Así, los focos de fuego dentro y fuera de la RNVSA Manuripi son asociados a la alta densidad poblacional y las densas redes de carreteras y caminos vecinales se han identificado como fuentes recurrentes de focos de fuego con un fuerte efecto sobre el tamaño, la frecuencia y la estacionalidad de los incendios. Debido al mantenimiento de las carreteras u vías vecinales como parte del proceso de urbanización en la Amazonía boliviana. Siendo, la quema una práctica barata, rápida y común para la deforestación, limpieza de suelos, renovación de pastos, quema de basura y la habilitación de nuevos caminos (Chuvieco et al., 2008; Caúla et al., 2015).

La presión humana aumentó en las zonas terrestres, situación que amenaza las AP a nivel mundial debido al estrés acumulativo de los cambios en el uso de la tierra, la extracción de recursos, las actividades recreativas, las especies invasoras y el cambio climático (Geldmann et al., 2014; Schulze et al., 2018). En consecuencia, la eficacia de las AP para lograr sus objetivos de conservación se cuestiona en todo el mundo. Los administradores de AP se encuentran bajo una presión cada vez mayor para medir su eficacia en la conservación de la diversidad biológica nativa de maneras que sean científicamente sólidas, prácticas y comparables entre áreas protegidas a lo largo del tiempo (Parrish et al., 2003). Los resultados de nuestro estudio permiten resaltar la gestión de los administradores de la RNVSA Manuripi durante el periodo 2001-2020. De todos modos, no todas las amenazas pueden monitorearse con datos espaciales como la comparación de incendios detectados remotamente. Es probable que en la RNVSA Manuripi, la ZEA y la zona externa se deba evaluar presiones adicionales que las estimadas en nuestro estudio, combinando los datos de amenazas locales y de sensores remotos para identificar las presiones sobre las AP.

Lograr un equilibrio entre la conservación de los ecosistemas dependientes del fuego y un mayor desarrollo humano requiere una gestión cuidadosa de las quemaduras en las AP. Sin embargo, los administradores de AP en Bolivia todavía buscan mejorar el monitoreo del fuego como un proceso ecológico natural o intencional para conservar la resiliencia del ecosistema. De este modo, surgen SATRIFO (FAN, 2022) y el SIMB (MMAY, 2022) para el monitoreo de focos de fuego y quemaduras que ayuda a los tomadores de decisiones a prevenir incendios no deseados (especialmente los grandes), predecir la ubicación de futuras quemaduras y pronosticar las áreas con alto peligro de quemaduras. Sin embargo, aún se necesita investigaciones para identificar futuros patrones de quema, así como el seguimiento o registro de la huella humana para la toma de decisiones en el manejo de quemaduras.

## Conclusiones

Los resultados de nuestro estudio resaltan que las quemaduras ocasionadas por el hombre se encuentran omnipresentes en las AP y sugiere que se requieren soluciones de

gestión más allá del concepto de naturalidad. Por lo tanto, conocer sobre los impulsores antropogénicos y abióticos del fuego, proporciona información valiosa para determinar los patrones de quema, en qué medida, y en qué condiciones ambientales. Además, es fundamental para proponer medidas adaptativas ante las quemadas.

## Contribuciones de los autores

NRM y DLA propusieron la idea de investigación. NRM, DLA y AS realizaron la propuesta metodológica. NRM y ARM realizaron la limpieza de datos. ARM llevó a cabo los análisis espaciales de anomalías. NRM realizó las estimaciones de densidad de Kernel y análisis estadístico de datos. NRM escribió el manuscrito con aportes significativos de ARM, DLA y AS. Todos los autores estuvieron involucrados en la discusión con aporte invaluable de HSD.

## Agradecimientos

El estudio fue implementado como parte del proyecto PRODIGY (PROcess-based management of Diversity Generates sustainability) y contó con financiamiento adicional proveniente de Andes Amazon Fund (AAF) y Global EbA Fund (GEF), este último fondo implementado conjuntamente por la UICN y el PNUMA y financiado por la Iniciativa Climática Internacional (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMU/IKI).

## Declaración de conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

## Referencias

Aparicio J, Ocampo M, Aguilar-Kirigin AJ, Miranda-Calle AB, Ríos-Ríos JN, Paredes-Rodríguez MA. (2021). Reptiles y Anfibios de Sara Ana. In: Ripa-Landajo M, Naoki K, editors. Historia Natural de Sara Ana: Estación experimental agroecológica de Alto Beni, Bolivia. La Paz, Bolivia: Plural editores; p. 249–269.

AppEEARS. 2025. AppEEARS [Internet]. [accessed 2025 Apr 7]. <https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov/>

Bishop, M.P., James, L.A., Shroder, J.F. and Walsh, S.J. (2012), "Geospatial teAparicio J, Ocampo M, Aguilar-Kirigin AJ, Miranda-Calle AB, Ríos-Ríos JN, Paredes-Rodríguez MA. 2021. Reptiles y Anfibios de Sara Ana. In: Ripa-Landajo M, Naoki K, editors. Historia Natural de Sara Ana: Estación experimental agroecológica de Alto Beni, Bolivia. La Paz, Bolivia: Plural editores; p. 249–269.

AppEEARS. 2025. AppEEARS. (accessed 2025 Apr 7). <https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov/>

Aragão LEOC, Anderson LO, Lima A, Arai E. (2016). Fires in Amazonia. In: Nagy L, Forsberg BR, Artaxo P, editors. Interactions Between Biosphere, Atmosphere and Human Land Use in the Amazon Basin [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer; (accessed 2020 Apr 17); p. 301–329. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49902-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49902-3_13)

Benzing A, van der Ent A, Casey LW, Luna M, Luna E, Quispe R, Durán F, Choquehuanca M, Ledesma C. (2022). High natural bromine concentrations in organic Brazil Nuts from Bolivia. *Journal of*

*Food Composition and Analysis*. 110:104533. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104533>

Buitrago Romero R, Brenière Simone F, Taborga Manrique X, Quispe Aruhuito R, Revollo Zepita S. 2016. Identificación genética del agente causal y el insecto vector de la enfermedad de chagas circulante en la Amazonia boliviana: Provincia Iturrealde. *Revista CON-CIENCIA*. 4(1):93–103.

Butrón Ledezma SL. (2011). Adicionalidad y áreas protegidas: efecto de las áreas protegidas nacionales sobre la deforestación en las tierras bajas de Bolivia (1991 - 2005). Tesis de Maestría. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). (accessed 2022 Dec 27). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4403>

Caúla RH, Oliveira-Júnior JF, Lyra GB, Delgado RC, Heilbron Filho PFL. 2015. Overview of fire foci causes and locations in Brazil based on meteorological satellite data from 1998 to 2011. *Environ Earth Sci*. 74(2):1497–1508. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4142-z>

Chuvieco E, Opazo S, Sione W, Valle H del, Anaya J, Bella CD, Cruz I, Manzo L, López G, Mari N, et al. (2008). Global Burned-Land Estimation in Latin America Using Modis Composite Data. *Ecological Applications*. 18(1):64–79. <https://doi.org/10.1890/06-2148.1>

Curt T, Aini A, Dupire S. (2020). Fire Activity in Mediterranean Forests (The Algerian Case). *Fire*. 3(4):58. <https://doi.org/10.3390/fire3040058>

Denis DJ. (2020). Univariate, Bivariate, and Multivariate Statistics Using R: Quantitative Tools for Data Analysis and Data Science. John Wiley & Sons.

ESRI. (2016). ArcGIS Desktop 10.5. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

FAN (Fundación Amigos de la Naturaleza). (2022). Sistema de monitoreo y alerta temprana de riesgos de incendios forestales (SATRIFO). SATRIFO (accessed 2022 Dec 26). <http://incendios.fan-bo.org/>

Fearnside PM. 2008. Amazon Forest maintenance as a source of environmental services. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 80(1):101–114. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652008000100006>

Filho H de O, Oliveira-Júnior JF de, Silva MV da, Jardim AM da RF, Shah M, Gobo JPA, Blanco CJC, Pimentel LCG, da Silva C, da Silva EB, et al. (2022). Dynamics of Fire Foci in the Amazon Rainforest and Their Consequences on Environmental Degradation. *Sustainability*. 14(15):9419. <https://doi.org/10.3390/su14159419>

FIRMS. (2025). NASA-FIRMS (accessed 2025 Apr 7). <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>

Fonseca M.G, Anderson L.O, Arai E, Shimabukuro YE, Xaud HAM, Xaud MR, Madani N, Wagner FH, Aragão LEOC. (2017). Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015–2016 El Niño event. *Ecological Applications*. 27(8):2514–2527. <https://doi.org/10.1002/eap.1628>

Fotheringham AS, Brunson C, Charlton M. (2000). Quantitative geography: Perspectives on spatial data analysis. SAGE.

Geldmann J, Joppa LN, Burgess ND. (2014). Mapping Change in Human Pressure Globally on Land and within Protected Areas. *Conservation Biology*. 28(6):1604–1616. <https://doi.org/10.1111/cobi.12332>

GeoBolivia. (2025). GeoBolivia. (accessed 2025 Apr 7). <https://geo.gob.bo/catalogue/#/datasets>

GEOGSPERU. (2025). MTC - Red Vial Vecinal - Descarga Gratis - Shapefile - ArcGis - QGIS - WGS84. (accessed 2025 Apr 7). <https://www.geogsp Peru.com/2015/09/mtc-red-vial-vecinal-descarga-gratis.html>

GIOVANNI. (2025). GIOVANNI The bridge between data and science version 4.40. (accessed 2025 Apr 7). <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

- Golding N, Betts R. (2008). Fire risk in Amazonia due to climate change in the HadCM3 climate model: Potential interactions with deforestation. *Global Biogeochemical Cycles*. (accessed 2021 May 27) 22(4). <https://doi.org/10.1029/2007GB003166>
- Gould KA, Fredericksen TS, Morales F, Kennard D, Putz FE, Mostacedo B, Toledo M. (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)
- Granato D, Santos JS, Escher GB, Ferreira BL, Maggio RM. (2018). Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods: A critical perspective. *Trends in Food Science & Technology*. 72:83–90. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.006>
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, Thau D, Stehman SV, Goetz SJ, Loveland TR, et al. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*. 342(6160):850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- HDX. (2025). Humanitarian Data Exchange, Find & Use Crisis Data. (accessed 2025 Apr 7). <https://data.humdata.org/>
- Holden Z. A, Swanson A, Luce C. H, Jolly W. M, Maneta M, Oyler JW, Warren D. A, Parsons R, Affleck D. (2018). Decreasing fire season precipitation increased recent western US forest wildfire activity. *PNAS*. 115(36):E8349–E8357. <https://doi.org/10.1073/pnas.1802316115>
- Huffman G. J, Bolvin D. T, Nelkin E. J, Wolff D. B, Adler R. F, Gu G, Hong Y, Bowman K. P, Stocker E. F. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*. 8(1):38–55. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>
- Jin M, Dickinson R. E. (2010). Land surface skin temperature climatology: benefitting from the strengths of satellite observations. *Environ Res Lett*. 5(4):044004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/4/044004>
- Kaiser H. F. (1960). The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. *Educational and Psychological Measurement*. 20(1):141–151. <https://doi.org/10.1177/001316446002000116>
- Keeley J. E, Pausas J. G, Rundel PW, Bond WJ, Bradstock RA. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*. 16(8):406–411. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.04.002>
- Maillard O, Vides-Almonacid R, Flores-Valencia M, Coronado R, Vogt P, Vicente-Serrano SM, Azurduy H, Anívarro R, Cuellar RL. (2020). Relationship of Forest Cover Fragmentation and Drought with the Occurrence of Forest Fires in the Department of Santa Cruz, Bolivia. *Forests*. 11(9):910. <https://doi.org/10.3390/f11090910>
- Mamuse A, Porwal A, Kreuzer O, Beresford S. (2009). A new method for spatial centographic analysis of mineral deposit clusters. *Ore Geology Reviews*. 36(4):293–305. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2009.06.001>
- Marengo JA, Nobre CA, Tomasella J, Oyama MD, Oliveira GS de, Oliveira R de, Camargo H, Alves LM, Brown IF. (2008). The Drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*. 21(3):495–516. <https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>
- Marengo JA, Tomasella J, Alves LM, Soares WR, Rodriguez DA. (2011). The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*. 38(12). <https://doi.org/10.1029/2011GL047436>
- Masuoka E, Fleig A, Wolfe RE, Patt F. (1998). Key characteristics of MODIS data products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 36(4):1313–1323. <https://doi.org/10.1109/36.701081>
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas). (2022). Sistema de información y monitoreo de bosques (SIMB). Sistema de información y monitoreo de bosques. (accessed 2022 Dec 27). <https://simb.siarh.gob.bo/simb/>
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), Servicio Nacional de Áreas Protegidas, Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi. (2013). Plan de manejo de la Reserva Nacional de Vida Silvestre Amazónica Manuripi 2012-2022.
- Moscoso A. (2003). Desarrollos legales e institucionales sobre áreas protegidas y zonas de amortiguamiento en Bolivia, Ecuador y Perú. In: Blanes J, Navarro RM, Drehwald U, Bustamante T, Moscoso Arturo, Muñoz F, Torres A, editors. Las zonas de amortiguamiento: un instrumento para el manejo de la biodiversidad El caso de Ecuador, Perú y Colombia. Quito; p. 35–105.
- Mostacedo B, Balcazar J, Montero J.C. (2006). Tipos de bosque, diversidad y composición florística en la Amazonia sudoeste de Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 41(2):99–116.
- Nanzad L, Zhang J, Tuvdendorj B, Nabil M, Zhang S, Bai Y. (2019). NDVI anomaly for drought monitoring and its correlation with climate factors over Mongolia from 2000 to 2016. *Journal of Arid Environments*. 164:69–77. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.01.019>
- Nepstad D, Schwartzman S, Bamberger B, Santilli M, Ray D, Schlesinger P, Lefebvre P, Alencar A, Prinz E, Fiske G, Rolla A. (2006). Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Lands. *Conservation Biology*. 20(1):65–73. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00351.x>
- Oliveira-Júnior JF de, Mendes D, Correia Filho WLF, Silva Junior CA da, Gois G de, Jardim AM da RF, Silva MV da, Lyra GB, Teodoro PE, Pimentel LCG, et al. (2021). Fire foci in South America: Impact and causes, fire hazard and future scenarios. *Journal of South American Earth Sciences*. 112:103623. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103623>
- Parrish JD, Braun DP, Unnasch RS. (2003). Are We Conserving What We Say We Are? Measuring Ecological Integrity within Protected Areas. *BioScience*. 53(9):851–860. <https://doi.org/10.1641/0006-3568>
- Pastana DNB, Modena É de S, Wadt LH de O, Neves E de S, Martorano LG, Lira-Guedes AC, Souza RLF de, Costa FF, Batista APB, Guedes MC. (2021). Strong El Niño reduces fruit production of Brazil-nut trees in the eastern Amazon. *Acta Amaz*. 51:270–279. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202003702>
- Pereira M, Figueiredo D. (2009). Effects of the Alqueva Dam Reservoir on the Distribution of Steppe Birds. *Physical Geography*. 30(1):43–63. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.30.1.43>
- QGIS Development Team. (2020). QGIS Geographic Information System: Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Quintano C, Fernández-Manso A, Calvo L, Marcos E, Valbuena L. (2015). Land surface temperature as potential indicator of burn severity in forest Mediterranean ecosystems. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 36:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.10.015>
- R Core Team. (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- RAISG (Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada). (2025). Mapas. RAISG. (accessed 2025 Apr 7). <https://www.raisg.org/es/mapas/>
- Reichle S. (2006). Distribution, diversity and conservation status of Bolivian amphibians. Unpublished Doktorgrades (Dr rer nat) dissertation, Rheinischen Friedrichs-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Resnikowski H. (2007). La detección de la reducción de bosques en Bolivia y las proyecciones futuras de la Superintendencia Forestal en Bolivia. *Ecología en Bolivia*. 42(1):1–3.
- Rodrigues M, de la Riva J. (2014). An insight into machine-learning algorithms to model human-caused wildfire occurrence. *Environmental Modelling & Software*. 57:192–201. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.03.003>
- Rodríguez N, Armenteras D, Retana J. (2013). Effectiveness of protected

---

learning algorithms to model human-caused wildfire occurrence. *Environmental Modelling & Software*. 57:192–201. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.03.003>

Rodríguez N, Armenteras D, Retana J. (2013). Effectiveness of protected areas in the Colombian Andes: deforestation, fire and land-use changes. *Reg Environ Change*. 13(2):423–435. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0356-8>

Rodriguez-Montellano A. (2012). Cartografía multitemporal de quemadas e incendios forestales en Bolivia: Detección y validación post-incendio. *Ecología en Bolivia*. 47(1):53–71.

Sadiq A, Suleman M, Mohammed U. (2020). An estimation of rainfall anomaly index and its impact on crop production in Yola and environs. *African Journal of Environment and Natural Science Research*. 3(4):35–53.

SATRIFO (Sistema de Monitoreo y Alerta Temprana de Riesgos de Incendios Forestales). (2025). SATRIFO 5.1 (accessed 2025 Apr 7). <https://incendios.fan-bo.org/Satrifo/plataforma/>

Schulze K, Knights K, Coad L, Geldmann J, Leverington F, Eassom A, Marr M, Butchart SHM, Hockings M, Burgess ND. (2018). An assessment of threats to terrestrial protected areas. *Conservation Letters*. 11(3):e12435. <https://doi.org/10.1111/conl.12435>

SENAMHI. (2021). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Estado Plurinacional de Bolivia. <http://senamhi.gob.bo/index.php>

Silvestrini RA, Soares-Filho BS, Nepstad D, Coe M, Rodrigues H, Assunção R. (2011). Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. *Ecological Applications*. 21(5):1573–1590. <https://doi.org/10.1890/10-0827.1>

Singh M, Sood S, Collins CM. (2022). Fire Dynamics of the Bolivian Amazon. *Land*. 11(9):1436. <https://doi.org/10.3390/land11091436>

Soliz A.A, Van Damme P.A, Macnaughton A, Carvajal F.M. (2014). Pesca indígena en la Amazonia boliviana: un estudio de caso en la Tierra Comunitaria de Origen Multiétnico II (Pando y Beni). In: MRE-MMAY A (Ministerio de Relaciones Exteriores - Ministerio de Medio Ambiente y Agua), editor. Línea de base sobre ecosistemas y recursos acuáticos de la Amazonia boliviana en el marco de la evaluación de los impactos de las represas Jirau y Santo Antonio en territorio boliviano. Cochabamba - Bolivia: Editorial INIA; p. 295–337.

Veldman JW, Mostacedo B, Peña-Claros M, Putz FE. (2009). Selective logging and fire as drivers of alien grass invasion in a Bolivian tropical dry forest. *Forest Ecology and Management*. 258(7):1643–1649. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.07.024>

Wallace R, Painter R. (2000). Conservación de pecaríes en la Amazonía Boliviana: biodiversidad vs viabilidad poblacional. In: Cabrera E, Mercolli C, Resquin R, editors. Manejo de Fauna Silvestre en Amazonía y Latinoamérica. Asunción: CITES Paraguay; p. 263–271.

Watkins R.Z, Chen J, Pickens J, Brososke KD. (2003). Effects of Forest Roads on Understory Plants in a Managed Hardwood Landscape. *Conservation Biology*. 17(2):411–419. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01285.x>

van der Werf GR, Randerson JT, Giglio L, Gobron N, Dolman AJ. (2008). Climate controls on the variability of fires in the tropics and subtropics. *Global Biogeochemical*. 22(3). <https://doi.org/10.1029/2007GB003122>

Las opiniones, interpretaciones y conclusiones expresadas en el manuscrito son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la postura de la Revista Agro-ecológica, sus editores, revisores o instituciones afiliadas. La revista no se responsabiliza de los errores, omisiones o consecuencias derivadas del uso de la información publicada.