

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE
INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

**Evaluación de los impactos socioeconómicos de incendios forestales desde las
percepciones de tres comunidades indígenas del Corredor Bio Cultural Zunil, Atitlán,
Balam -Juyú, Guatemala**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de
Posgrado como requisito para optar al grado de**

MAGISTER SCIENTIAE

**en Manejo y
Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad**

William Isaac Menchú Say

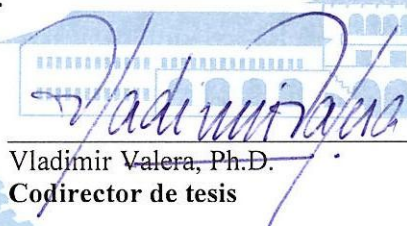
Turrialba, Costa Rica

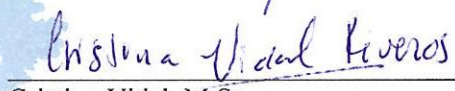
2025


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

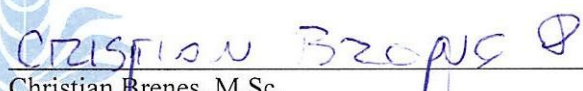
**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DE
BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

FIRMANTES:

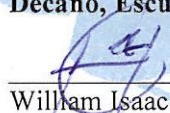

Vladimir Valera, Ph.D.
Codirector de tesis


Cristina Vidal, M.Sc.
Codirectora de tesis


Roger Villalobos, M.Sc.
Miembro Comité Consejero


Christian Brenes, M.Sc.
Miembro Comité Consejero


Alfredo Zamarripa Colmenero, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado


William Isaac Menchú Say
Candidato

Contenido

Tabla de Abreviaturas	vi
Abreviatura	vi
1. Introducción	1
2. Materiales y métodos	2
2.1 Área de estudio	2
2.2 Fuentes de Información y Criterios de Selección	3
2.2.1 Fuentes de Información y Criterios de Selección	3
2.2.2 Criterios de selección de incendios	3
2.3 Identificación de Actores y Recolección de Información	4
2.3.1 Metodología de identificación de actores	4
2.4 Recolección y análisis de datos	4
2.4.1 Análisis de percepciones	5
2.4.2 Análisis de Severidad de Incendios	5
2.5 Valoración económica	6
2.5.1 Valoración Económica Total	6
2.6 Categoría de costos	7
2.6.1 Costos de Prevención (CP)	8
2.6.2 Costos de Atención a situaciones de incendio (CA)	8
2.6.3 Costos de Afectación (CAF)	9
2.6.4 Costos de Restauración (CR)	9
3. Resultados	9
3.1 Clasificación de la Severidad de los Incendios Forestales en la Temporada 2023-2024	9
3.1.1 Distribución Espacial y Áreas Afectadas	9
3.1.2 Selección y Caracterización de Incendios	11
3.1.3 Análisis del Nivel de Severidad	12
3.2 Impactos Socioeconómicos a Través de las Percepciones Locales	15
3.2.1 Motivaciones de la Participación Comunitaria	15
3.2.2 Impactos Percibidos en los Recursos	16
3.2.3 Asignación de la responsabilidad sobre los costos de los incendios	17
3.2.4 Conectividad entre grupos	18
3.3 Valoración del Impacto Socioeconómico	19

3.3.1 Marco de Valoración Económica Total.....	19
3.3.2 Costos de Prevención (CP)	19
3.3.3 Costos de Atención a situaciones de incendio (CA)	21
3.3.4 Costos de Afectación (CAF)	23
3.3.5 Costos de Restauración (CR).....	24
3.3.6 Evaluación Integrada del Impacto Económico.....	25
4. Discusión	27
5. Conclusiones	35
Referencias.....	36

Evaluación de los impactos socioeconómicos de incendios forestales desde las percepciones de tres comunidades indígenas del Corredor Bio Cultural Zuni, Atitlán, Balam -Juyú, Guatemala

William I. Menchú Say ¹, Vladimir Valera Mejías ², Roger Villalobos, Cristian Brenes, Cristina Vidal Riveros ³

¹ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza 1; William.Menchu@catie.ac.cr

² Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza 2; Vladimir.Valera@catie.ac.cr

³ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza 3; cvidal@catie.ac.cr

* Correspondencia: William.Menchu@catie.ac.cr

Resumen: Este estudio analiza el impacto de los incendios forestales en el Corredor Biocultural y Desarrollo Sostenible Zunil, Atitlán y Balam Juyú, Guatemala, en la temporada 2023-2024, un fenómeno que ha aumentado la vulnerabilidad ecológica, social y económica especialmente en un contexto de diversidad cultural y prácticas ancestrales del fuego. La investigación combina un análisis espacial para clasificar la severidad de los incendios mediante teledetección y un análisis socioeconómico por tipo de incendio, incluyendo las percepciones comunitarias. Los incendios se clasificaron en niveles de severidad (baja, media y alta) usando imágenes satelitales Sentinel-2 y análisis bitemporal; se exploraron las percepciones sobre impactos ecológicos y socioeconómicos mediante una valoración basada en costos en las comunidades mayas indígenas *K'iche'* y *Tz'utujil*. Los resultados muestran que, a mayor severidad, aumentan tanto los daños ambientales como la percepción de impactos negativos en los recursos culturales y económicos, además se incrementan los costos asociados con la atención y restauración. La percepción comunitaria está influenciada por conocimientos tradicionales y experiencias que deben integrarse en la gestión del fuego. Los costos de atención y recuperación se incrementan proporcionalmente con el nivel de severidad, aunque factores como la accesibilidad y la cooperación institucional también afectan estos gastos. Se concluye que fortalecer la gobernanza territorial mediante enfoques pirobioculturales, que integren conocimientos tradicionales y ciencia moderna, resulta fundamental para una gestión sostenible y culturalmente pertinente del riesgo de incendios en Guatemala.

Palabras clave: incendios forestales¹; severidad del fuego²; percepción comunitaria³; valoración económica⁴; pueblos mayas⁵; teledetección⁶; Guatemala⁷; indígenas⁸; *K'iche'*⁹; *Tz'utujil*¹⁰.

Tabla de Abreviaturas

Abreviatura	Definición
<i>CONRED</i>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Naturales
<i>SCI</i>	Sistema de Comando de Incidentes
<i>ASONBOM</i>	Asociación Nacional de Bomberos Municipales Departamentales
<i>CVB</i>	Cuerpo de Bomberos Voluntarios
<i>MSPAS</i>	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
<i>EPP</i>	Equipo de Protección Personal
<i>INAB</i>	Instituto Nacional de Bosques
<i>MINDEF</i>	Ministerio de la Defensa Nacional
<i>CONAP</i>	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
<i>MARN</i>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
<i>ONG</i>	Organizaciones no Gubernamentales
<i>UICN</i>	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

1. Introducción

Los incendios forestales constituyen una de las amenazas ambientales más importantes en todo el mundo, afectando la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y las comunidades humanas, especialmente en regiones vulnerables y en desarrollo (Bowman et al., 2009; Krawchuk et al., 2009). En las últimas décadas, la frecuencia, intensidad y severidad de estos eventos han aumentado significativamente, en parte debido al cambio climático, la deforestación y el cambio de uso de la tierra por actividades humanas (Bowman et al., 2017; CCAD, 2007). La gestión de incendios forestales, por tanto, se ha convertido en un desafío multidisciplinario que requiere un enfoque integral, incorporando tanto las perspectivas ecológicas como las sociales y culturales, particularmente en contextos donde el uso ancestral del fuego aún tiene presencia activa y significativa (Harvey et al., 2019; Martínez Torres y Pérez Salicrup, 2018).

En Guatemala, uno de los países con mayor diversidad cultural y ecológica en Centroamérica (Sánchez-Midence y Victorino-Ramírez, 2012), los incendios forestales han alcanzado niveles preocupantes en los últimos años, afectando áreas estratégicas como el corredor biocultural Zunil-Atitlán. En esta zona la temporada 2023-2024 estuvo marcada por 198 incendios que dañaron más de 5,200 hectáreas, poniendo en riesgo no solo los recursos naturales, sino también las prácticas tradicionales y los conocimientos ancestrales relacionados con la gestión del fuego (CONRED, 2024). Aunque existen estudios sobre la ecología de incendios y su impacto en ecosistemas específicos (Bowman et al., 2009; McKenzie et al., 2011a), hay pocos estudios que consideran la percepción social y económica en relación con la severidad y los impactos de estos eventos, especialmente en contextos culturalmente complejos y con importante legado indígena.

Un aspecto importante en la gestión del fuego es entender cómo las comunidades perciben los impactos de los incendios en sus vidas, sus medios de subsistencia y sus conocimientos tradicionales. Diversas investigaciones sugieren que existe una relación entre la severidad del incendio y la percepción de sus impactos socioeconómicos, aunque este vínculo no ha sido claramente establecido ni cuantificado en muchos casos (Estrada et al., 2018). La hipótesis inicial de este estudio sostiene que, a mayor nivel de severidad de un incendio, las percepciones de impactos negativos en la comunidad serán mayores, lo mismo que los costos asociados a la atención, restauración y recuperación de la zona afectada. Sin embargo, esta relación puede no ser lineal ni homogénea, dado que las percepciones están mediadas por conocimientos tradicionales, valores culturales y capacidades económicas de las comunidades.

El estudio empleó un enfoque mixto que integró métodos cuantitativos y cualitativos para abordar tres objetivos específicos: (1) Evaluar la severidad de tres incendios forestales mediante el uso de técnicas de teledetección, empleando índices de severidad, (2)

determinar los impactos socioeconómicos de los incendios forestales a través de las percepciones locales, (3) estimar el valor socioeconómico de los impactos; empleando un diseño de investigación causa-efecto. Estos objetivos buscan ofrecer información que permita comprender mejor la relación entre severidad, percepción y costo, en contextos donde el fuego tiene un significado cultural profundo y donde la gestión participativa y el conocimiento local son fundamentales para la elaboración de políticas más efectivas y sostenibles.

Por ello, esta investigación es clave para entender si la percepción de las comunidades sobre los impactos de los incendios forestales, respecto a su nivel de severidad, está vinculada a los costos económicos y a las afectaciones de los recursos naturales y culturales. Al integrar las percepciones sociales y los costos asociados, busca contribuir a la formulación de estrategias de gestión más sostenibles, resilientes y culturalmente pertinentes, fortaleciendo la gobernanza territorial como lo es el *K'axk'ol* (servicio comunitario obligatorio), en el que los adultos de las comunidades *K'iche's* deben prestar por cierto tiempo su servicio a la comunidad, y se da mediante elección comunitaria a través de la asamblea comunal, los electos asumen la función de *K'amol be* (guías del pueblo o autoridades) para la conformación de las alcaldías comunitarias (Berreno, 2019; Silvel, 2016).

Estas alcaldías se componen de varios cargos, donde se convierten en los administradores de los recursos naturales, además del control y vigilancia de los bosques de las comunidades. Dentro de sus funciones como *K'amol be*, se encuentra convocar a la comunidad para los trabajos comunitarios (faenas), donde se encuentra la elaboración de brechas corta fuego, combate de incendios forestales, reforestaciones, limpieza de los bosques comunales, entre otras (Berreno, 2019; Silvel, 2016). Este sistema de gobernanza resalta la importancia del fortalecimiento de estos sistemas mediante enfoques pirobioculturales que integren el conocimiento ancestral y el conocimiento occidental.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El corredor Biocultura y Desarrollo Sostenible Zunil, Atitlán, Balam juyú se encuentra ubicado en el occidente del país de Guatemala (Figura 1), con un largo de 69.7 kilómetros (km), y un ancho que varía entre 21 a 28 km, abarca una extensión total de 63.068 hectáreas, presentando diversidad de zonas de vida (Secaira et al., 2012). Además, posee una alta diversidad cultural, siendo hogar de los pueblos mayas *K'iche'*, *Tz'utujil* y *Kaqchikel*, cumpliendo un papel fundamental en la conectividad entre áreas protegidas, siendo estas las siguientes: Parque Municipal Zunil, Zona de Veda definitiva Pecul-Zunil, Reserva de Usos Múltiple de la Cuenca del Lago de Atitlán (11 parques municipales y 21

reservas privadas), Parque Municipal Balam Juyú, Patzún y el Parque Municipal Balam Juyú, Patzicía (Secaira et al., 2012), lo cual influye directamente en el desarrollo socioeconómico de las comunidades involucradas.

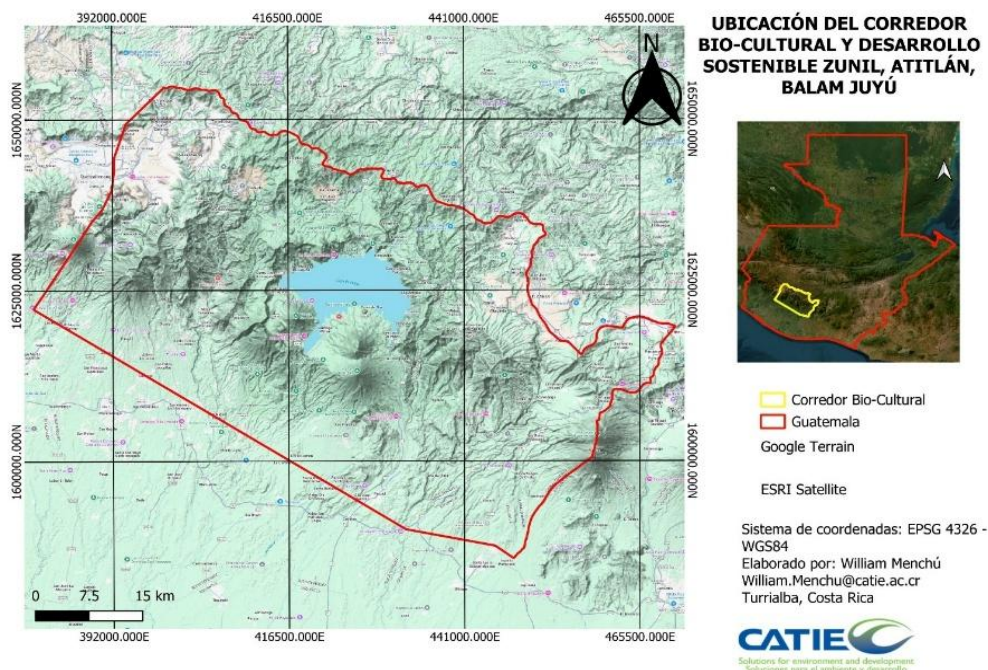


Figura 1

Mapa de ubicación del Corredor Biocultural y Desarrollo Sostenible Zunil, Atitlán y Balam Juyú.

Nota. Elaborado por William Menchú y laboratorio SIG, Asociación Vivamos Mejor.

2.2 Fuentes de información y criterios de selección

2.2.1 Fuentes de información y criterios de selección

La fuente de datos primaria fue la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) que incluye lo siguiente: identificación del incidente, fechas de control y liquidación, tipo de incidente, ubicación geográfica (departamento, municipio, coordenadas), área afectada y correlativo del incidente; se obtuvo datos complementarios de entrevistas y talleres con comunitarios. Asimismo, se solicitó al Sistema de Comando de Incidentes (SCI) el formulario “SCI 201”, que contienen información detallada de las operaciones diarias, recursos utilizados (herramientas y equipo, alimentación, vehículos), personal involucrado y evaluaciones situacionales de cada incendio.

2.2.2 Criterios de selección de incendios

Para la selección de incendios se aplicaron los siguientes criterios: (a) área afectada mayor a 20 hectáreas, esto asegura una detección más precisa con Sentinel-2, cuya resolución puede dificultar la identificación de áreas más pequeñas. Este umbral facilita la

diferenciación clara de zonas quemadas y mejora la precisión del análisis (Flores-Rodríguez et al., 2021; Keeley, 2009; Silva-Cardoza et al., 2018, 2021), (b) participación comunitaria en la atención (Campos et al., 2025; Champ y Brenkert-Smith, 2016; Chávez Mejía y Tapia, 2018), (c) presencia de área agrícola menos de 5 kilómetros del borde del incendio para captar de manera efectiva los efectos directos del incendio en las áreas agrícolas cercanas, facilitando una evaluación más precisa del impacto socioeconómico (Díaz, 2012; Gritz, 2024; Nigh y Diemont, 2013; Richardson et al., 2012), (d) participación de brigadas de respuesta inmediata, (e) participación de instituciones gubernamentales (Carroll et al., 2006) y (f) comunidades ubicadas en un radio menor 5 kilómetros ya que, muestra una relación directa entre ocurrencia de los incendios y el daño percibido, facilitando un análisis preciso y coherente. (Lake y Christianson, 2020; Meza Elizalde y Armenteras, 2023; Ndalila et al., 2024; Palaiologou et al., 2021; Prior y Eriksen, 2013; Tanpipat et al., 2022).

2.3 Identificación de actores y recolección de información

2.3.1 Metodología de identificación de actores

Para identificar los actores se utilizó la metodología de bola de nieve combinada con la Investigación Acción Participativa que busca obtener resultados fiables y útiles en situaciones colectivas basada en la participación de los colectivos a investigar, pasando así de ser objeto de estudio a protagonista de la investigación (Alberich Nistal, 2008). Antes de iniciar la investigación, se realizó un consentimiento libre, previo e informado (CLPI) dirigido a las autoridades comunitarias; se explicó en detalle el propósito del estudio y se solicitó su consentimiento para participar y formar parte de la investigación. Las autoridades comunitarias manifestaron su aceptación y dieron su consentimiento voluntario para colaborar en el proceso, garantizando así el cumplimiento de los requisitos éticos y el respeto por la comunidad. Para proteger la confidencialidad de los participantes, en las entrevistas y cuestionarios se omitieron sus nombres, asegurando que su identidad permaneciera confidencial en todo momento.

2.4 Recolección y análisis de datos

La información sobre percepciones se obtuvo mediante grupos focales, talleres participativos y entrevistas semiestructuradas. Las preguntas generadoras incluyeron: (1) ¿Qué piensa del fuego?, (2) ¿qué es un incendio forestal?, (3) ¿a quiénes afectan los incendios forestales? y (4) ¿quiénes cubren los gastos del incendio? Estas preguntas facilitaron conversaciones dirigidas a conocer las percepciones sobre impactos socioeconómicos y costos asociados a la atención de incendios.

2.4.1 Análisis de percepciones

Para el análisis de datos sobre la percepción se emplearon cuatro técnicas complementarias, las cuales son las siguientes: (1) tabulación cruzada, para cuantificar los gastos a partir de la CONRED y las entrevistas; (2) análisis de contenido, para codificar y depurar las entrevista e identificar categorías temáticas; (3) análisis de coocurrencias, para la identificación de conceptos y temas de mayor frecuencia en las entrevistas y talleres; (4) análisis de redes, para obtener una representación gráfica de los temas derivados de la coocurrencia y facilitar la interpretación de las relaciones entre los componentes temáticos (Dörpinghaus et al. 2022). Estas herramientas permitieron un análisis específico de las percepciones desde la perspectiva comunitaria. Para ello, se utilizó el *software* de licencia abierta R versión 4.4.2, empleando los paquetes *igraph* para codificación y depuración de datos, *tidyr* para la transformación de datos y creación de tabla de adyacencia y *ggplot2* para graficar la red.

2.4.2 Análisis de severidad de incendios

Para evaluar la severidad de los incendios, se empleó un enfoque que combina análisis estadístico-descriptivo con análisis espacial, validándose de índices espectrales y análisis bitemporales satelitales. Para ello, se calculó el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR por sus siglas en ingles), que permite distinguir y cuantificar las áreas afectadas por el incendio. Este índice se basa en la diferencia de reflectancia en longitudes de onda del Infrarrojo Cercano (NIR por sus siglas en ingles) y del Infrarrojo de Onda Corta (SWIR por sus siglas en ingles). Esto debido a que la vegetación previa al incendio presenta alta reflectancia en NIR y baja en SWIR, mientras que las áreas quemadas muestran una reducción en NIR y un aumento en SWIR. Para lo cual, se calcularon valores de NBR, tanto antes como después del evento (bitemporales), generando así el NBR previo y posterior. La resta entre ambos, conocida como delta NBR (dNBR), permite identificar y cuantificar la severidad causada por el incendio mediante un análisis bitemporal.

Las coordenadas fueron transformadas del sistema GTM al sistema WGS84 para garantizar la compatibilidad con las herramientas de análisis espacial. Para el cálculo se empleó *Google Earth Engine* (GEE), utilizando imágenes del satélite Sentinel-2 con resolución de 10 metros, siguiendo las directrices de UN-SPIDER para el uso de información espacial en países en desarrollo, como lo detalla Villagran de León (2023), combinada con el método propuesto por Montorio Llovería et al. (2014), utilizando ArcGIS versión 10.8, mediante análisis bitemporal, empleando los rangos de dNBR mostrados en la Tabla 1, así definir los niveles de severidad, en función del criterio de severidad predominante (mayor proporción de área afectada).

Tabla 1

Rangos de dNBR empleados para definir los niveles de severidad

Nivel	Rango de dNBR 10³ (desde)	Rango de dNBR 10³ (hasta)
No quemado	-100	99
Severidad baja	100	269
Severidad media	270	439
Severidad alta	440	2000

Nota. Elaboración propia, adaptado de UN-SPIDER con base en Montorio Llovería et al. (2014).

2.5 Valoración económica

2.5.1 Valoración Económica Total

En cuanto al aspecto socioeconómico de los impactos de los incendios forestales, se utilizó el enfoque de Valoración Económica Total (VET) para estimar los costos asociados a los daños (Zabala García, 2023) . El diagrama del VET (Figura 2) permitió determinar el método de valoración apropiado en función de los valores de uso y la percepción de la comunidad, priorizando una valoración directa basada en costos, utilizada para valorar beneficios, funciones ambientales o beneficios de usos indirectos (Valor de Uso Directo), bajo el supuesto que los servicios deben valer, por lo menos, el monto que la gente paga por ello (Flores et al., 2017; Vidal et al., 2022).

Además, es relevante señalar que los costos presentados se basan en las percepciones comunitarias: las comunidades identificaron y valorizaron los recursos utilizados y asignaron un valor monetario a los daños percibidos. No obstante, estos estimados pueden variar con los informes técnicos proporcionados por las instituciones, los cuales con frecuencia no contemplan ni valorizan el recurso que las comunidades invierten para la atención de incendios forestales, lo que podría implicar una subvaloración de ciertos costos a nivel local.

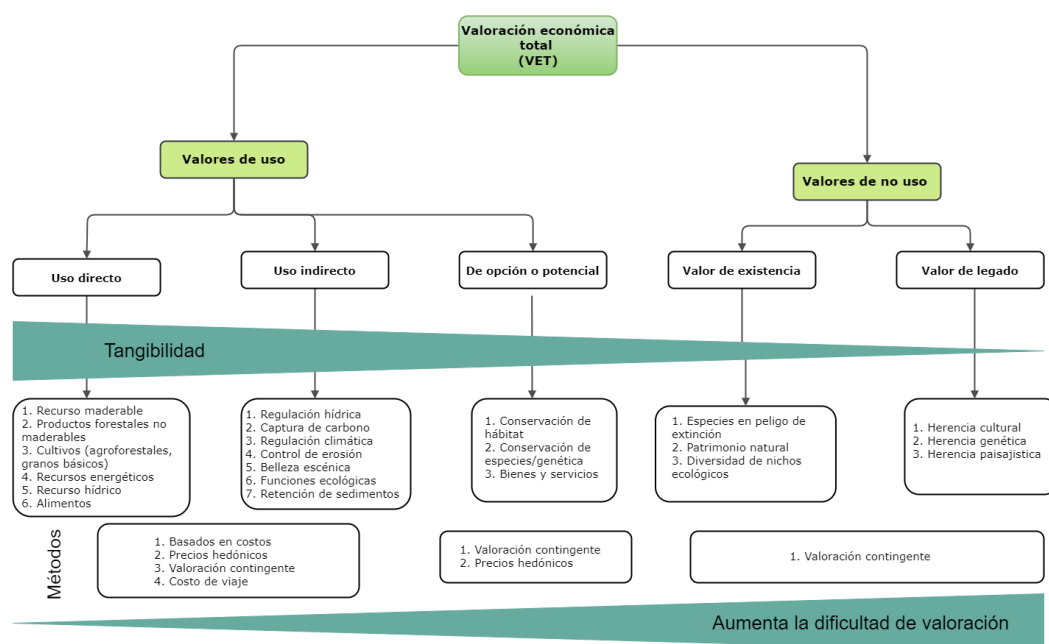


Figura 2: Esquema VET de los impactos causados por incendios forestales.

Nota. Elaboración propia adaptado de Vidal et al. (2022).

2.6 Categoría de costos

A partir de esta orientación, se establecieron los criterios específicos para cada categoría de costos, siendo son los siguientes: Costos de Prevención (CP), Costos de Atención (CA), Costos de Afectación (CAF) y Costos de Restauración (CR), los cuales se muestran en la Figura 3. Esta metodología permitió cuantificar de manera sistemática los diferentes impactos y daños económicos derivados de los incendios, facilitando así una evaluación integral y robusta desde la perspectiva socioeconómica.

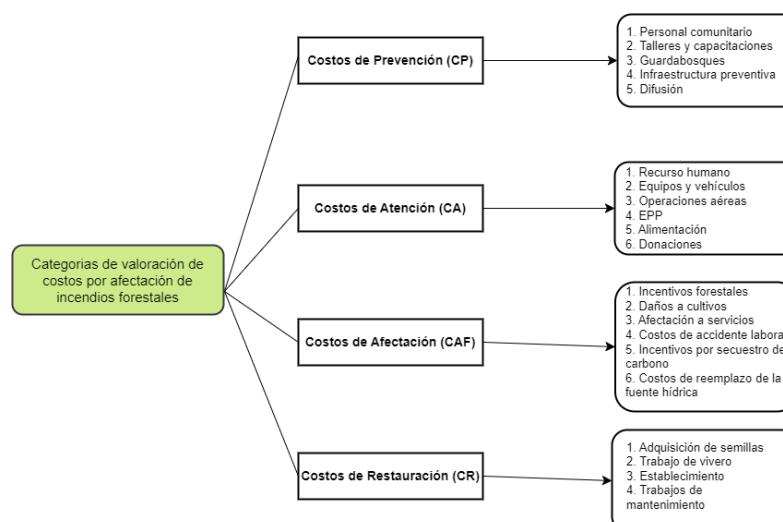


Figura 3: Esquema de criterios mínimos para determinar costos por categoría.

Nota. Elaboración propia con base en Flores et al. (2017) y Vidal et al. (2022).

2.6.1 Costos de Prevención (CP)

Los Costos de Prevención se obtuvieron con base en lo que las comunidades harían para prevenir o reducir la presencia de incendios forestales, utilizando la siguiente formula:

$$CP = (PC \cdot CJ \cdot D) + (CT \cdot T) + (G \cdot CJ \cdot 365) + CD$$

Donde, CP = Costos de Prevención, PC = Participantes Comunitarios, CJ = Costo de Jornal, D = Días Trabajados, CT = Costo por Taller (logística, alimentación, desplazamiento), T = Cantidad de Talleres Realizados, G = cantidad de Guardabosques, CD = Costo de Difusión en distintos medios de comunicación, 365 = Días de Labor Comunitario (*k'axk'ol*).

2.6.2 Costos de Atención a situaciones de incendio (CA)

Se refiere a todo el recurso empleado durante los días de atención del incendio forestal, contemplando recurso humano, recurso aéreo, recurso terrestre, entre otras, para ello se utilizó la siguiente formula:

$$CA = (PC \cdot CJ \cdot D) + (G \cdot CJ \cdot D) + (MS \cdot CJ \cdot D) + (CB \cdot CJ \cdot D) + (A \cdot CJ \cdot D) + (MT \cdot CJ \cdot D) \\ + (CR \cdot CJ \cdot D) + (MD \cdot CJ \cdot D) + (CP \cdot CJ \cdot D) + (I \cdot CJ \cdot D) + (MA \cdot CJ \cdot D) \\ + (V \cdot CA \cdot DU) + (H \cdot CH) + (VL \cdot CA) + (E \cdot QE) + (QA \cdot CA) + DD$$

Donde, CA = Costos de Atención, PC = cantidad de Participantes Comunitarios, CJ = Costo de Jornal por participante, D = Días Trabajados, G = cantidad de Guardabosques comunitarios, MS = Cantidad de Personal del MSPAS, CB = Cantidad de Personal del CBV, A = Personal de ASONBOMD, Mt = cantidad de Personal de Municipalidades, CR = Cantidad de Personal de la CONRED, MD = Cantidad de Personal del MINDEF, CP = Cantidad de Personal del CONAP, I = Cantidad Personal del INAB, MA = Cantidad del Personal del MAGA, V = cantidad de Vehículos utilizados, CA = Costo de Alquiler de vehículos, DU = Días Utilizados de los vehículos, H = Horas de Vuelo de Aeronaves, Ch = Costo por Hora de Vuelo, VL = Cantidad de Vehículos Lacustres, E = Costos de EPP, QE = Cantidad de EPP requeridos, QA = Cantidad de Alimentación proporcionada, DD = Donaciones Recibidas.

La fórmula fue basada en las estimaciones generales de uso de recursos de las instituciones y de las donaciones recibidas, que ayudan a reducir los costos totales; información proporcionada por las comunidades.

2.6.3 Costos de Afectación (CAF)

En este apartado se toma en consideración la afectación percibida por los comunitarios en relación con daños materiales, ambientales, económicas, culturales y sociales, lo que permite tener una estimación empleando la siguiente formula:

$$CAF = (IP \cdot HA) + (IPP \cdot HA) + RE + QC + HC + FB + CI + CE + (PC * HA) + (CP * PE)$$

Donde, CAF = Costos de Afectación, IP = Incentivo Probosque por hectárea, HA = cantidad de Hectárea Afectadas, IPP = Incentivo PINPEP por hectárea afectada, Re = Recurso Energético en metros cúbicos (se utiliza como base, los precios establecidos por INAB), QC = Cantidad de Quintales de café afectados, HC = Cantidad Hectáreas de cultivos afectados, FB = número de Familias Beneficiadas con acceso a agua, CI = Costo de Atención de Lesiones Físicas, CE = Costos de Atención Asociados a Enfermedades Respiratorias, PC = Pago por Hectárea de Captura de Carbono, CP = Costo de Perforación por metro cúbico, PE = Profundidad Estimada en metros.

2.6.4 Costos de Restauración (CR)

Para la estimación de CR, se utilizó como base los costos establecidos por el INAB para restauración de zonas degradadas, por hectárea.

$$CR = CI \cdot HA$$

Donde, CR = Costos de Restauración, CI = Costo por Hectárea (ha) del INAB, HA= Hectáreas Afectadas.

3. Resultados

La investigación contó con 79 participantes (21 % mujeres, 79 % hombres, rango de edad 27-45 años), con distribución educativa de la siguiente manera: 15 % primaria, 5 % universitaria, 80 % sin escolaridad formal. Las ocupaciones representadas fueron: maestros, estudiantes, amas de casa, líderes comunitarios, agricultores, guardabosques y comerciantes.

3.1 Clasificación de la severidad de los incendios forestales en la temporada 2023-2024

3.1.1 Distribución espacial y áreas afectadas

Un total de 153 incidentes de incendios forestales se registraron dentro de los límites del Corredor Biocultural durante la temporada de incendios 2023-2024 como lo detalla la Tabla 2. La distribución espacial de incendios mostró una concentración regional,

con 137 incidentes (89.5 %) ocurridos en la región suroccidental, mientras que 16 incidentes (10.5 %) se registraron en la región central como lo muestra la Figura 4.

Tabla 2

Distribución de incendios forestales por departamento dentro del Corredor Biocultural

Departamento	Número de incidentes	Porcentaje
Sololá	93	60.8 %
Totonicapán	25	16.3 %
Chimaltenango	16	10.5 %
Quetzaltenango	14	9.2 %
Suchitepéquez	5	3.3 %
Total	153	100 %

Nota. Elaboración propia con base en registro de la CONRED.

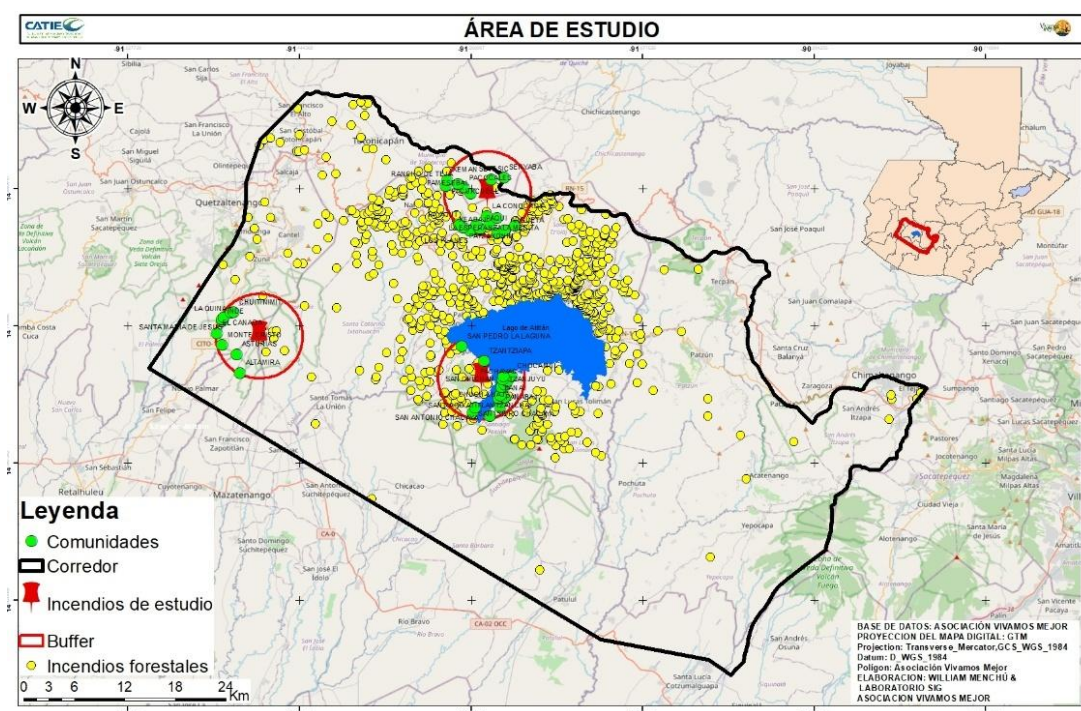


Figura 4: Mapa de ubicación de incendios seleccionados y comunidades ubicadas a un radio menor a 5 kilómetros.

Nota. Elaborado por William Menchú y laboratorio SIG, Asociación Vivamos Mejor.

El análisis de las zonas de vida según el sistema de Holdridge mostró que el bosque húmedo montano bajo tropical fue el más afectado, representando la mayor proporción del área quemada como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Áreas afectadas según zonas de vida de Holdridge dentro del Corredor Biocultural

Zona de Vida según Holdridge	Área afectada (ha)	Porcentaje de área quemada
Bosque húmedo montano bajo tropical	3,706.59	70.59 %
Bosque húmedo premontano tropical	583.65	11.11 %
Bosque muy húmedo montano tropical	550.02	10.46 %
Bosque muy húmedo premontano tropical	343.12	6.54 %
Bosque húmedo tropical (otros)	34.07	0.65 %
Bosque muy húmedo tropical (otros)	34.07	0.65 %
Total	5,251	

Nota. Elaboración propia con base en Secaira et al., 2012.

3.1.2 Selección y caracterización de incendios

Con base en los criterios de selección establecidos e incorporando factores clave como el impacto visual (Carroll et al., 2006), las relaciones causa-efecto (Morales-Giner y Mook, 2024) y con un régimen de no más de cinco años entre incidentes (Champ y Brenkert-Smith, 2016), se seleccionaron tres incendios para un análisis detallado (Tabla 4) se muestran los tres incendios seleccionados para un análisis detallado.

Tabla 4

Incendios seleccionados, coordenadas de ubicación y grupo étnico presente en el área de las comunidades cercanas

No.	Nombre	Fecha del incidente	Área (ha)	afectada	Grupo étnico
1	Volcán Pecul	12-01-2024	445		<i>K'iche'</i>
2	Concordia	22-02-2024	321		<i>K'iche'</i>
3	Volcán San Pedro	23-04-2024	95		<i>Tz'utujil</i>

Nota. Elaboración propia con base en registro de la CONRED.

3.1.3 Análisis del nivel de severidad

Los valores de dNBR obtenidos de los incendios seleccionados presentaron diferentes niveles de severidad en los incendios seleccionados. Se utilizó el criterio de severidad predominante en cada evento.

A) Incendio Volcán San Pedro: Fue clasificado como severidad baja con un 27.55 % de su área bajo dicha categoría, tal como lo muestra la Figura 5. El mayor porcentaje de esta área no fue afectado por el incendio (39.79 %). La zona de vida predominante en esta área es el bosque húmedo premontano tropical. Este incendio mostró un impacto mínimo en la vegetación con una quema característica del sotobosque, por lo que puede ser catalogado como un incendio superficial. El ecosistema es dominado por especies como *Arctostaphylos pyrifolia*, *Arbutus xalapensis*, *Chiranthodendron pentadactylon*, *Cupressus lusitánica* y varias especies de *Quercus* (Infolarna, 2025).

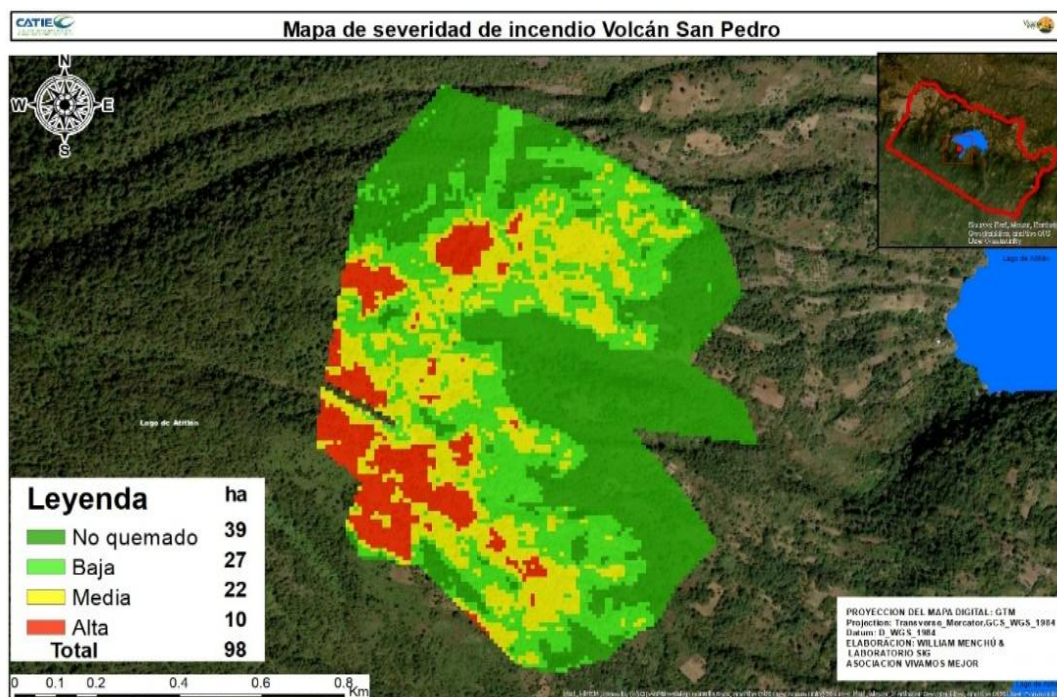


Figura 5: Área afectada por el incendio Volcán San Pedro, clasificado como incendio de severidad baja.

Nota. Elaborado por William Menchú y laboratorio SIG, Asociación Vivamos Mejor.

López García (2020) y Greenberg et al. (2021) indican que el bosque húmedo premontano tropical en esta zona se compone en su mayoría de coníferas, pino-encino, guamil o arbustos. Myers (2006), cataloga estos ecosistemas como dependientes del fuego, ya que la vegetación presente, cuenta con rasgos funcionales adaptados a los incendios forestales. Asimismo, autores como McKenzie et al. (2011b) indican que la topografía es un factor influyente en el nivel de severidad que puede presentarse en estos ecosistemas.

B) Incendio Concordia: Fue clasificado como un incendio de severidad media con un 52.33 % de su área bajo dicha categoría, como lo muestra la Figura 6. La zona de vida predominante en esta área es el bosque húmedo montano bajo tropical. Este incendio mostró un impacto medio en la vegetación afectando el sotobosque y el estrato medio del bosque, por lo que puede ser catalogado como incendio superficial, este tipo de bosque está dominado por especies como: *Alnus jorullensis*, *Arbutus xalapensis*, *Chiranthodendron pentadactylon*, *Drimys granadensis*, *Oreopanax xalapensis*, *Persea americana*, *Pinus maximinoi*, *Pinus montezumae*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus ayacahuite*, *Podocarpus guatemalensis*, *Quercus skinneri* (Infolama, 2025). Debido a la diversidad de especies y las adaptaciones que han desarrollado, como una corteza gruesa, altas

capacidades de rebrote, semillas resistentes a altas temperaturas y hojas delgadas, autores como Goldammer (2022a) consideran este tipo de bosques como pirófilos.

Este tipo de incendios se caracteriza por presentar daños en el estrato arbustivo y en el dosel del bosque, sin embargo, no representa altos índices de mortalidad vegetal, ya que a lo largo de su historia el fuego se convierte en una herramienta importante para mantener la dinámica del ecosistema (Goldammer, 2022b; Jimeno-Llorente et al., 2023; Silva-Cardoza et al., 2021). En estos incendios el grado de quemado es más presente, pero no se traduce en mortalidad de especies (Jimeno-Llorente et al., 2023). La Figura 6 muestra la predominancia de condiciones de fuego de severidad media en esta área afectada.

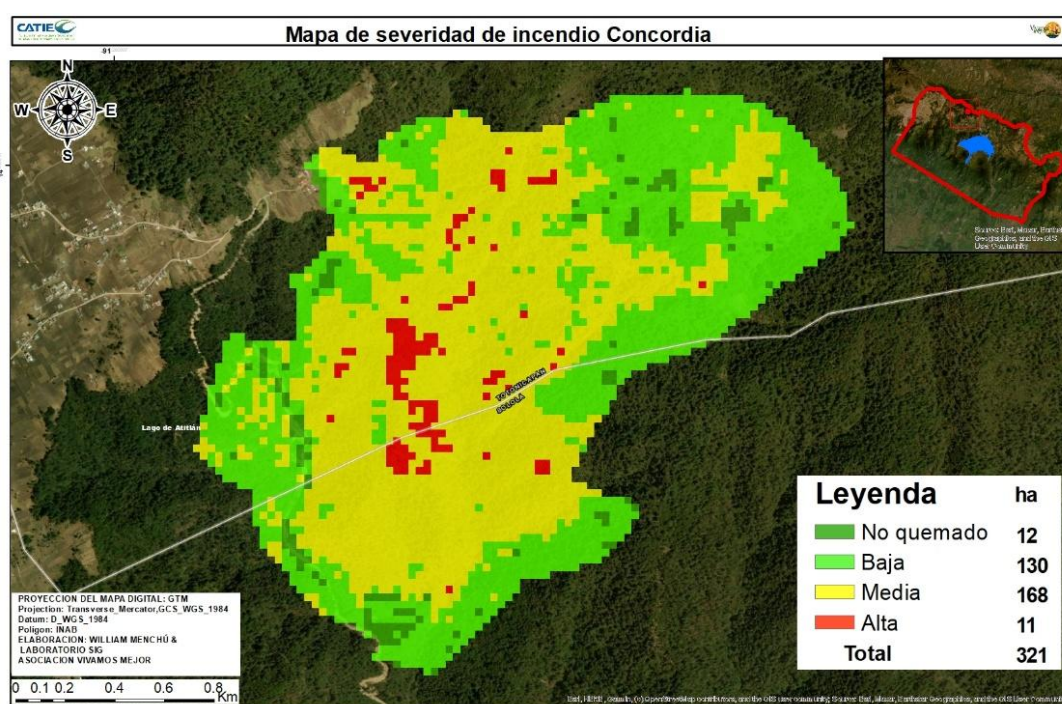


Figura 6: Área afectada por el Incendio Concordia, clasificado como incendio de severidad media.

Nota. Elaborado por William Menchú y laboratorio SIG, Asociación Vivamos Mejor.

C) Incendio Volcán Pecul: Fue clasificado como incendio de severidad alta con un 28.09 % de su área bajo dicha categoría, como lo muestra la Figura 7. La zona de vida predominante es el bosque muy húmedo premontano tropical. Este incendio mostró alto impacto en la vegetación, afectando el estrato arbóreo, extendiéndose por la copa de los árboles, por lo que puede ser considerado como un incendio de copas, este tipo de bosque está dominado por especies como: *Cedrela pacayana*, *Chectáreas etopelea mexicana*, *Citnectáreas rexylum donell-smithii*, *Comocladia guatemalensis*, *Inga leptaloba*, *Podocarpus guatemalensis*, *Pinus tecunumanii*, *Quercus sapotifolia*, *Quercus skinneri*,

Quercus tristis, *Trema micranthectáreas*, *Abies guatemalensis*, *Pourouma bicolor*, (Infolarna, 2025). Autores como Castro Rego et al. (2021), Castro Rego et al. (2021) y Jiao et al. (2023) indican que estos incendios de severidad alta tienden a darse en bosques de sucesión temprana mostrando una tendencia homogénea en mortandad (70 % de la vegetación muere).

Este incendio causó perturbación al ecosistema por su alto índice de mortandad de la vegetación, esto debido a la alta disponibilidad de combustible y menor adaptación de la vegetación (Pasiiecznik et al., 2022), que dificulta el proceso de recuperación del ecosistema. El fuego alteró la composición y dinámica del ecosistema, por lo que se clasifica como un ecosistema sensible al fuego (Goldammer, 2015; Keeley, 2009; Myers, 2006; Rego Castro et al., 2021).

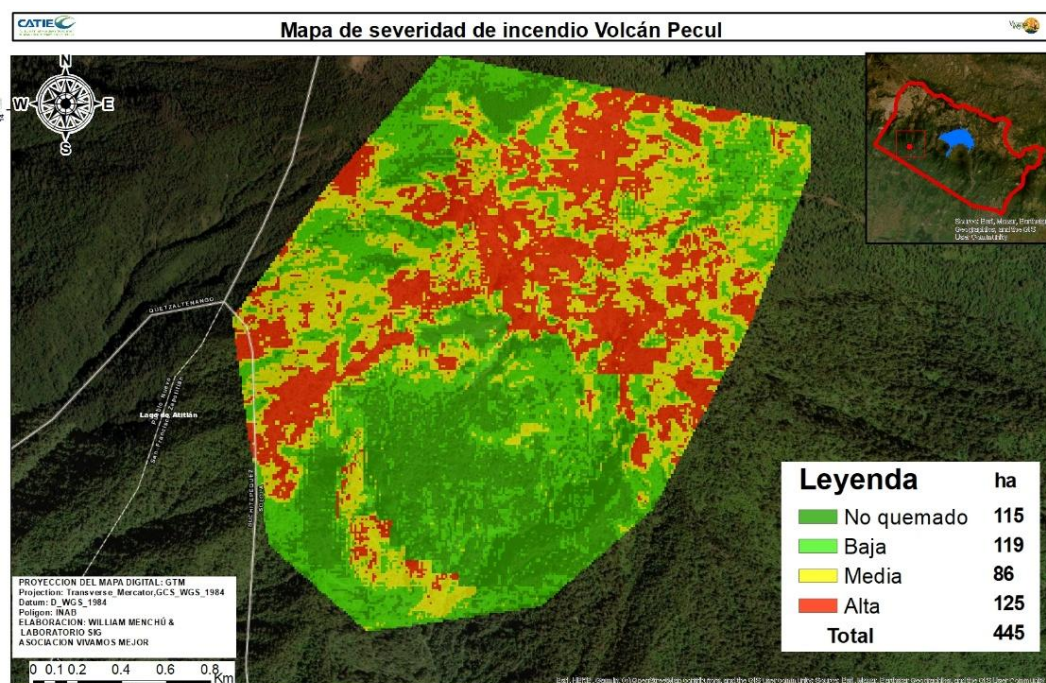


Figura 7: Área afectada por el incendio Volcán Pecul, clasificado como incendio de severidad alta.

Nota. Elaborado por William Menchú y laboratorio SIG, Asociación Vivamos Mejor.

3.2 Impactos socioeconómicos a través de las percepciones locales

3.2.1 Motivaciones de la participación comunitaria

Los resultados revelan que el sistema de gobernanza local *K'axk'ol* ha experimentado una transformación en sus mecanismos de motivación para la participación comunitaria en la atención de incendios forestales. Aunque históricamente se basaba en el servicio comunitario voluntario, la disminución de la participación ha requerido la

implementación de sanciones establecidas mediante acuerdos colectivos comunitarios. Los datos indican que el 50.9 % de los participantes están motivados con la intención de evitar sanciones, mientras que el 33.3 % participan por conservación de recursos y servicios ecosistémicos, y el 15.8 % responde a incentivos económicos (Figura 8).

Las sanciones incluyen multas, trabajo comunitario obligatorio y restricciones en servicios básicos ofrecidos por la comunidad, aunque el sistema *K'axk'ol* mantiene flexibilidad al permitir exoneraciones basadas en el historial de participación de cada comunitario. Que únicamente un tercio de los participantes en la atención de incendios forestales lo haga por motivos éticos y de conciencia hacia la conservación ambiental, evidencia una debilidad en la conciencia comunitaria sobre la gravedad de este problema. Esta situación ha generado la necesidad de fortalecer la gobernanza comunitaria mediante la implementación de mecanismos de sanciones e incentivos económicos que contribuyan a garantizar una gestión más adecuada y sostenible de los recursos naturales.

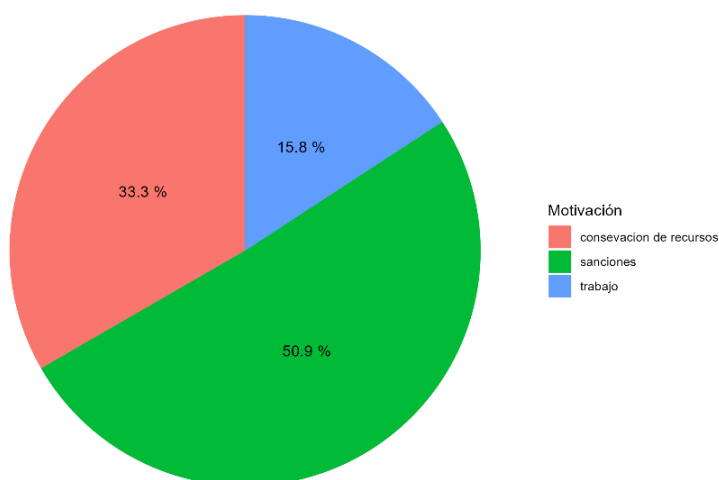


Figura 8: *Motivación de ciudadanos de las comunidades para el combate de incendios forestales.*

Nota. Elaboración propia con base en entrevistas realizadas.

3.2.2 Impactos percibidos en los recursos

Las percepciones recogidas en la comunidad identificaron que los recursos (para esta investigación “recursos” se refiere a: recursos naturales, humanos, culturales, sociales, políticos, infraestructura, políticos y financieros, tomando como base a Imbach (2016)) son los más afectados por los incendios forestales (Figura 9), y asignaron a esta categoría la máxima puntuación de impacto (10). Los recursos humanos y culturales le siguieron en importancia percibida del impacto, en particular, la percepción de riesgo en el

recurso humano se centra en las personas que han participado en el combate del incendio forestal, quienes consideran que están en mayor riesgo debido a su exposición (Horing et al., 2025). Mientras tanto, los impactos sobre los recursos productivos, financieros, de infraestructura y políticos recibieron menores puntajes.

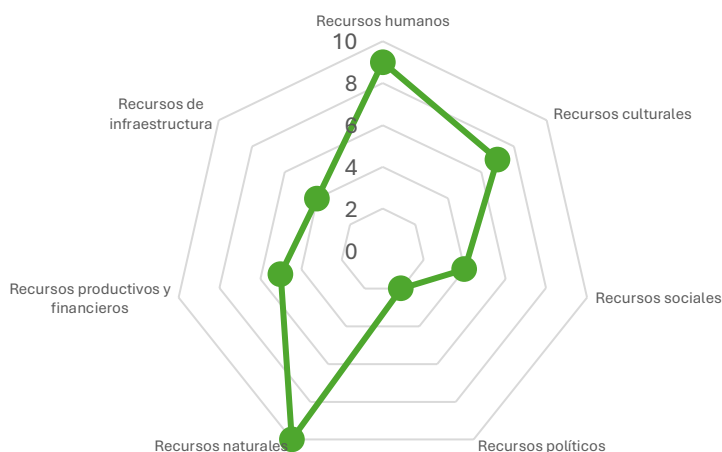


Figura 9: *Recursos afectados por los incendios forestales.*

Nota. Se muestran los recursos afectados por los incendios forestales, según la percepción de personas entrevistadas en las comunidades afectadas, donde 10 implica mayor afectación y 0 implica sin afectación (categorías basadas en el enfoque de estrategias de vida de Imbach (2016)).

3.2.3 Asignación de la responsabilidad sobre los costos de los incendios

Según las percepciones de personas entrevistadas en las comunidades, el 45 % de los costos de respuesta a los incendios son asumidos por ellos mismos, principalmente en forma de especie, como jornales (esto se interpreta como el valor del día de trabajo dedicado a atender el incendio, siendo un costo directo para la comunidad); aunque algunas comunidades disponen de fondos internos que también cubren gastos relacionados con la hidratación y la alimentación durante las operaciones de respuesta.

A pesar de que una proporción de los habitantes de las comunidades han migrado a otras regiones por diversas razones, muchos mantienen un compromiso activo con su comunidad. Este compromiso se refleja en la organización entre migrantes y en las aportaciones económicas que realizan para apoyar al control de incendios forestales, las cuales representan aproximadamente un 4 %. Paralelamente, se percibe que las municipalidades solo asumen del 15 % de los costos. Otros actores institucionales (cuerpos

de bomberos, CONRED, INAB, CONAP) solo aportan de 5-10 % de estos costos, así lo muestra la Figura 10.

Esta distribución refuerza que la asignación de recursos y las responsabilidades recaen principalmente en los comunitarios, las municipalidades, Brigadas de Respuesta Inmediata de la CONRED y los distintos cuerpos de bomberos. Adicionalmente, es importante aclarar que estos datos se derivan de percepciones comunitarias, es decir, los comunitarios realizan la cuantificación de lo que invierten, pero a nivel institucional existen más recursos de los que frecuentemente se perciben, por ello, las comunidades pueden interpretarlo como un menor apoyo, aunque en la realidad esa evaluación institucional puede diferir.

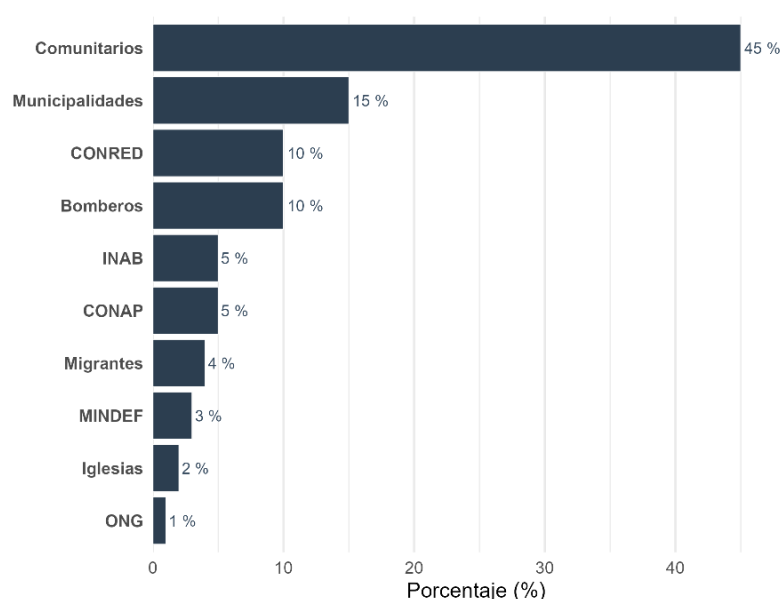


Figura 10: *Proporción de costos de atención de incendios forestales.*

Nota. Proporción de costos de atención de incendios forestales asumidos por diferentes actores sociales e institucionales con base en las percepciones de personas entrevistadas en las comunidades.

3.2.4 Conectividad entre grupos

El análisis de la red de grupos afectados (con el *software* de licencia abierta R versión 4.4.2, empleando los paquetes *igraph*, *tidyr* y *ggplot2*) identifica a la agricultura como el nodo con mayor conectividad ($n = 280$), sugiere que este sector es percibido como el más impactado y estrechamente vinculado a los efectos de los incendios forestales desde la perspectiva comunitaria (Figura 11). Asimismo, se observa una relación entre fauna y salud pública, esto se explica debido a que los comunitarios asocian la presencia de una mayor cantidad de fauna como el indicador de un bosque sano, por tanto, ofrece

mayores servicios ecosistémicos. En contraste, la degradación del bosque se asocia a una menor fauna y a una reducción de la calidad de los servicios ecosistémicos, lo que deteriora las condiciones de vida de las comunidades. Estas dinámicas se traducen en impactos directos sobre la agricultura y pueden propagarse a lo largo de la red, amplificando los efectos sociales, ecológicos y sanitarios.

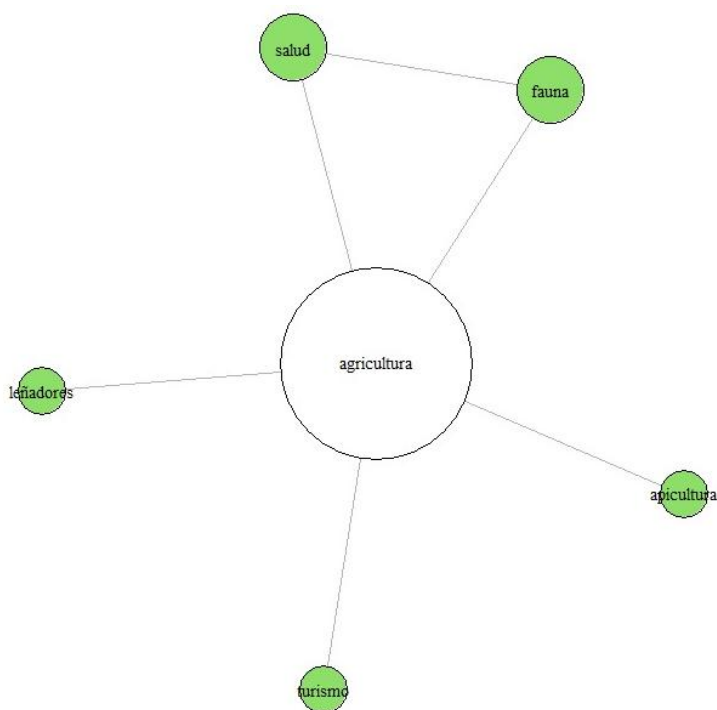


Figura 11: *Análisis de redes desde las Coocurrencias de sectores afectados por incendios forestales desde la percepción comunitaria.*

Nota. Elaboración propia con base en entrevistas realizadas.

3.3 Valoración del impacto socioeconómico

3.3.1 Marco de valoración económica total

3.3.2 Costos de Prevención (CP)

Para los CP se empleó la fórmula mencionada en la metodología para cada uno de los incendios forestales como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Costos de prevención por incendio forestal en quetzales y dólares

Incendio	Nivel de severidad	Fórmula $CP=(PC \cdot CJ \cdot D)+(CT \cdot T)+(G \cdot CJ \cdot 365)+CD$	Total (Q)	Total (\$)
Volcán San Pedro	Bajo	$CP = (360,000 + 14,000 + 219,000 + 60,000)$	653,000	84,817.78
Concordia	Medio	$CP = (375,000 + 14,000 + 438,000 + 15000)$	842,000	109,366.87
Volcán Pecul	Alto	$CP = (495,000 + 14,000 + 219,000 + 6,000)$	734,000	95,338.82

Nota. Elaboración propia con base en Flores et al. (2017) y Vidal et al. (2022).

En la Tabla 5, se observa que los CP asociados al incendio de severidad media (Concordia) son más altos con respecto a los otros dos incendios, alcanzando un total de 109,366.87 dólares en este evento; mientras que en el de severidad alta llega a 95,338.82 dólares y en baja a 84,817.82 dólares. Este resultado se debe a que el incendio de severidad media contó con mayor participación de los comunitarios. Las entrevistas realizadas sugieren que las comunidades consideran prioritario invertir en medidas de prevención, como la construcción y mantenimiento de infraestructura, incluyendo brechas cortafuego, que ayudan a reducir el riesgo de incendios forestales. Para ello, realizan jornadas de trabajo colectivo denominadas “faenas”, que son indispensables para estas acciones preventivas.

Es importante destacar que estos costos no necesariamente están directamente asociados al nivel de severidad del incendio, sino que en esta área existe un mayor interés comunitario en la prevención de incendios forestales, lo que se refleja en mayor participación y en el aumento de los costos asociados a estas acciones, tal como se muestra en la Figura 12. Este mayor involucramiento explicaría el incremento en los CP para el caso del incendio en Concordia.

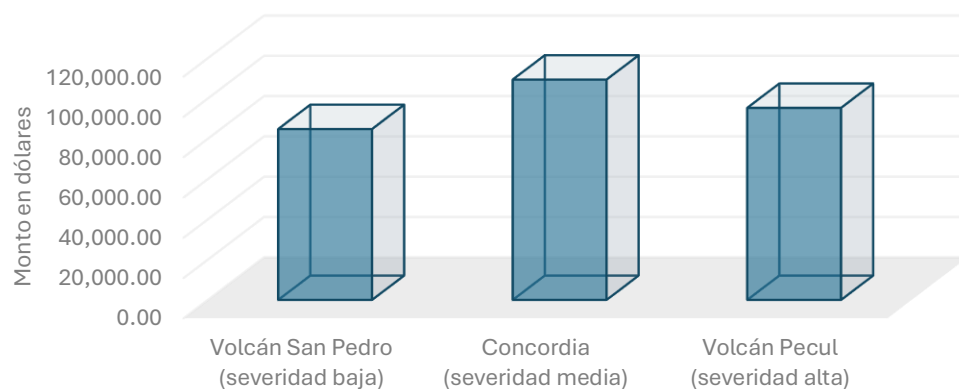


Figura 12: Costos estimados de prevención de incendios forestales.

Nota. Costos estimados de prevención de incendios forestales con base en las percepciones comunitarias, tomando como área de protección el total del área afectada por cada incendio forestal, en dólares.

3.3.3 Costos de Atención a situaciones de incendio (CA)

Para los CA se empleó la fórmula mencionada en la metodología para cada uno de los incendios forestales como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

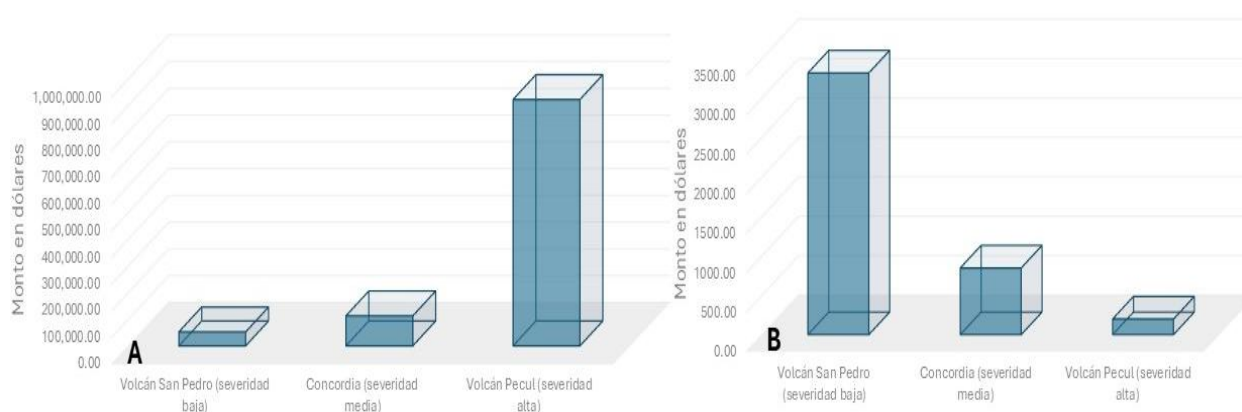
Costos de atención por incendio forestal en quetzales y dólares

Incendio	Nivel de severidad	Fórmula	Total (Q)	Total (\$)
		$CA=(PC \cdot CJ \cdot D)+(G \cdot CJ \cdot D) +$ $(MS \cdot CJ \cdot D)+(CB \cdot CJ \cdot D)+(A \cdot CJ \cdot D)+(MT \cdot CJ \cdot D)$ $+(CR \cdot CJ \cdot D)+(MD \cdot CJ \cdot D)+(CP \cdot CJ \cdot D)+(I \cdot CJ \cdot D)$ $+(MA \cdot CJ \cdot D)+(V \cdot CA \cdot DU)+(H \cdot CH)+(VI \cdot CA)$ $+(E \cdot QE)+(QA \cdot CA)+DD$		
Volcán San Pedro	Bajo	$CA= (118,940 + 127,506 + 438,000)$	684,446	52,029.22
Concordia	Medio	$CP= (1,501,380 + 315,750 + 270,000)$	2,087,130	112,029.22
Volcán Pecul	Alto	$CP = (1,045,940 + 1,221,240 + 228,600 + 6,080.5)$	2,501,860.5	920,824.01

Nota. Elaboración propia con base en Flores et al. (2017) y Vidal et al. (2022).

La Figura 13A muestra una relación entre los costos de atención de los incendios y su nivel de severidad; sin embargo, dicha tendencia también está influida por la extensión de los eventos. Además, se evidencia que el incendio de mayor severidad alcanzó el costo más alto de atención (USD 324,916.94). Aunque los tres incendios requirieron operaciones aéreas, en el caso del incendio de baja severidad se invirtieron 18 horas de vuelo, pese a que fue el de menor duración (7 días). La operación aérea en este último se ejecutó principalmente con recursos municipales, debido a la ausencia de apoyo del Ministerio de la Defensa (MINDEF). Esta ausencia respondió a la oposición de las comunidades *Tz'utujiles* a la presencia del ejército en su territorio por situaciones sociales graves que ocurrieron en el pasado. Esta situación dificultó la coordinación interinstitucional y elevó los costos operativos, lo que demuestra que las relaciones institucionales inciden en los costos de atención de incendios, independientemente de su nivel de severidad.

La Figura 13B presenta los costos de atención (CA) por hectárea en los tres incendios analizados, mostrando valores más bajos en el incendio de alta severidad debido a la mayor extensión del área afectada. Esto sugiere que los recursos destinados a la atención no necesariamente aumentan de manera proporcional a la superficie quemada, especialmente cuando las variaciones en el área afectada son relativamente pequeñas. Asimismo, el desempeño en la atención está condicionado por diversos factores, como el tiempo de respuesta, el soporte logístico y el nivel de participación comunitaria. En el caso del incendio de baja severidad, la limitada disponibilidad de personal hizo necesario un mayor uso de vehículos aéreos para el control.



Figuras 13A y 13B: Costos de Atención asociados a incendios forestales según su nivel de severidad en función al área total de afectación y Costos de Afectación por hectárea según nivel de severidad, en dólares.

Nota. Figura elaborada con base en entrevistas y talleres.

3.3.4 Costos de Afectación (CAF)

Según se observa en la Figura 14A los Costos de Afectación (CAF) totales se incrementan con el nivel de severidad y con el área afectada, como era de esperarse. Las percepciones de las personas entrevistadas indican que la afectación de mayor impacto para ellos recae en recursos de categoría de “uso”, es decir, los más aprovechados por las comunidades locales de forma directa. Dentro de estos recursos, destaca la especie *Abies guatemalensis*, la cual, aunque está clasificada por la UICN como en peligro de extinción (su aprovechamiento está legalmente vedado), no se le pudo asignar un valor económico a su valor de existencia, no obstante, es posible estimarlo mediante la valoración contingente debido a su categoría de “no uso”. Sin embargo, en el presente estudio se realizó una aproximación de su valor basada en su uso maderero, considerando la biomasa afectada en 20 hectáreas de bosque natural, la cual trata de considerar un valor real para la comunidad, aunque según la ley sería un recurso de “no uso”. Esta estimación sugiere que el impacto en su valor económico es mayor de lo que indica su categoría de “no uso” evidenciando que la especie es un diferenciador que contribuye notablemente a los CAF.

Por otro lado, se observa en la Figura 14B que los CAF por hectárea son mayores para el incendio de severidad baja. Si bien es esperable que la severidad del incendio se relacione con su impacto económico, esto tiene mucho que ver con el tipo de actividades que las personas desarrollan en las áreas quemadas y el valor que les dan; por ejemplo, cuando el área afectada está próxima a zonas de producción agrícola o forestal, los costos de afectación se perciben con mayor intensidad porque la actividad económica que depende de esos recursos es directa y tangible (pérdida de cultivos, interrupción de procesos forestales productivos, costos de rehabilitación). En cambio, si la zona es relativamente aislada y no presenta actividades productivas relevantes, el impacto económico percibido tiende a ser menor.

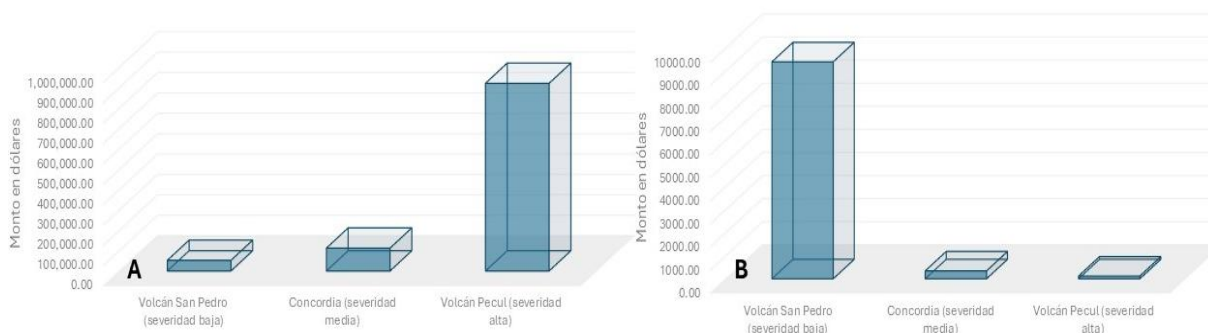


Figura 14A y 14B: Costos de afectación asociados a los tres incendios forestales estudiados.

Nota. A: Costos totales por incendio en dólares y B: Costos por hectárea en dólares.

3.3.5 Costos de Restauración (CR)

La Figura 15 presenta el costo por realizar una restauración asistida en las áreas afectadas por cada uno de los tres incendios, con base en el tarifario establecido por el INAB, contemplando la adquisición de semilla, el trabajo de vivero y el trabajo de establecimiento de árboles. Obviamente en este caso la diferencia de costos la define la diferencia de área afectada.

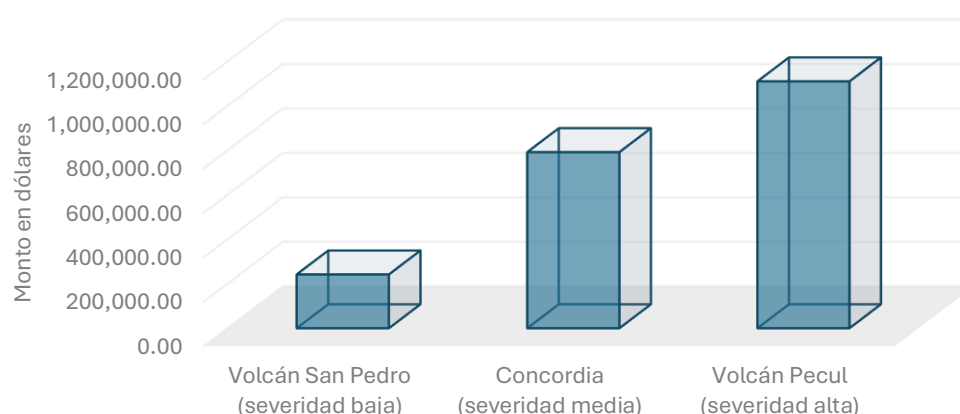


Figura 15: Costos de restauración asociado a los tres incendios forestales bajo estudio.

Nota. Elaboración propia con base en el tarifario del INAB 2023.

Desde la percepción de las comunidades, los incendios forestales tienen un alto impacto económico, también existe una percepción generalizada de que los incendios severos generan mayores costos, lo cual no siempre se cumple, ya que el costo por unidad de área depende de un conjunto complejo de factores, tanto relacionados con la organización, las capacidades y el tipo de herramientas disponibles, como con factores económicos, sociales y culturales. Entre los aspectos que inciden en el costo de la atención se pueden citar: la dificultad de acceso, el tiempo de respuesta de las comunidades e instituciones, la topografía del área, la importancia económica del bosque (especialmente en especies maderables) y el valor ecológico del ecosistema. Por lo tanto, la percepción comunitaria considera a los incendios forestales como una amenaza económica, a pesar de que en las comunidades no existe un sistema de rendición de cuentas ni mecanismos de seguimiento para este tipo de incidentes.

3.3.6 Evaluación integrada del impacto económico

La valoración integrada reveló que desde las comunidades se perciben impactos económicos a partir de los incendios forestales; en general, los incendios de mayor severidad tienden a estar asociados con costos de atención más elevados, en los tres incendios analizados, el incendio de mayor severidad se asocia, habitualmente, con costos de atención más elevados, el incendio de mayor severidad sí tuvo mayor CA, como lo muestra la Tabla 7. Sin embargo, para los costos asociados por hectárea, el incendio Volcán San Pedro (severidad baja) tiene mayor CA, como lo muestra la Tabla 8. Esto evidencia que la magnitud de impactos socioeconómicos que puedan tener los incendios forestales depende directamente de las capacidades instaladas de las comunidades, los sistemas de gobernanza y los sistemas productivos que se encuentren en la zona.

Esta evaluación integrada desglosa el costo total de cada incendio en cuatro partes: Costos de Atención, Costos de Prevención, Costos de Afectación y Costos de Restauración. Al sumarlos, se obtiene el costo total del incendio, el cual tiende a aumentar cuando la severidad y la extensión de la zona afectada son mayores. Sin embargo, al mirar los costos por hectárea, el incendio Concordia (severidad baja) presenta valores por hectárea relativamente altos como lo muestra la Tabla 8.

Tabla 7

Costos totales por extensión de área afectada por incendios forestales, en dólares.

Incendio y severidad	Hectáreas afectadas	Costos de atención (\$)	Costos de prevención (\$)	Costos de afectación (\$)	Costos de restauración (\$)	TOTAL
Volcán San Pedro (Severidad baja)	98	88,889.09	84,817.78	52,029.22	241,818.18	467.554,27
Concordia (Severidad media)	321	271,055.84	109,366.87	112,029.22	792,077.92	1.284.529,85
Volcán Pecul (severidad alta)	450	324.916.9	95,338.82	920,824.01	1,110,389.61	2.451.469,38

Nota. Elaboración propia con base en entrevistas y talleres realizados

Tabla 8

Costos totales por hectáreas de incendios forestales, en dólares.

Incendio y severidad	Hectáreas afectadas	Costos de Atención (\$)	Costos de Prevención (\$)	Costos de Afectación (\$)	Costos de Restauración (\$)	TOTAL
Volcán San Pedro (Severidad baja)	1	3315.48	972.85	9396.16	2,460.89	16.145,38
Concordia (Severidad media)	1	844.41	340.71	340.71	2,460.89	3.986,71
Volcán Pecul (severidad alta)	1	197.53	188.48	115.62	2,460.89	2.962,53

Nota. Elaboración propia con base en entrevistas y talleres realizados

4. Discusión

La clasificación de incendios forestales por niveles de severidad en diferentes zonas de vida, utilizando la clasificación del IARNA (2016), basada en los criterios de Holdridge (Pérez et al., 2016), permitió comprender las relaciones potenciales como: (1) el tiempo de recuperación del ecosistema según su nivel de severidad, (2) percepción comunitaria e (3) implicaciones socioeconómicas y niveles de severidad. Desde las comunidades perciben que el mayor impacto de los incendios conlleva mayores costos asociados. Sin embargo, no se evidenció una percepción clara respecto a que los niveles de severidad puedan influir en la apreciación sobre la efectividad de la gestión del fuego o en la organización interinstitucional y local.

La clasificación de los niveles de severidad en los incendios forestales permite una interpretación más contextualizada de los impactos del fuego, tanto en los recursos del ecosistema como en las percepciones de las comunidades indígenas. Como señalan Montorio Llovería et al. (2014), entender la magnitud de los daños en la biomasa y otros recursos esenciales, como agua, suelo y plantas, ayuda a valorar cómo las comunidades perciben la gravedad del impacto sobre sus medios de vida. López García (2020) asegura que identificar los daños causados en la biomasa permite estimar la capacidad de regeneración de los ecosistemas, estableciendo una relación entre la severidad del incendio y la recuperación ecológica.

Estos hallazgos apoyan la idea de que conocer los niveles de severidad puede enriquecer la interpretación de las percepciones sociales acerca de la vulnerabilidad y resiliencia de sus entornos, como el bosque de pino, los matorrales y pastizales, que presentan adaptaciones que influyen la percepción de resistencia y recuperación ante el fuego (Goldammer, 2015; Myers, 2006). Esta clasificación ayuda a comprender mejor la interacción entre las experiencias sociales y los impactos ecológicos en el contexto del manejo y percepción del fuego en las comunidades indígenas.

En el incendio de Volcán San Pedro, con predominancia de severidad baja (Figura 5) se observó un impacto superficial, del tipo que generalmente favorece el incremento de la densidad de algunas especies y que mejora la capacidad reproductiva de los árboles supervivientes como *Quercus*, *Abutus*, sin alterar la estructura química del suelo, que en estos ecosistemas se relaciona con un ciclo de carbono lento en la materia orgánica (Alfaro-Sánchez et al., 2025; Flanagan et al., 2020; Parks et al., 2018). Estos incendios contribuyen a mantener el ensamble ecológico, principalmente porque los bancos de semilla no se ven afectados (Greenberg y Collins, 2021; Jimeno-Llorente et al., 2023; Lee, 2004). Alfaro-Sánchez et al. (2025) señala que la capacidad de repoblación alta de las especies se presenta como una respuesta adaptativa al estrés al que se someten las plantas.

En Concordia predominó la severidad media (Figura 6) con afectación del 52.33 % del área total, catalogado como un incendio superficial que produce daños en el sotobosque y estrato medio. Este tipo de incendio no causa altas tasas de mortalidad vegetal, ya que muchas especies, como *Alnus jorullensis*, *Arbutus xalapensis* y diversas especies de pinos, muestran adaptaciones que les permiten resistir y rebrotar tras el incendio, como corteza gruesa y semillas resistentes al calor (Goldammer, 2022a; Jimeno-Llorente et al., 2023). Sin embargo, este tipo de incendios siguen siendo considerados peligrosos, ya que generan perturbación en el ecosistema, lo que favorece ciertas comunidades, como los pinares en los bosques latifoliados (Silva-Cardoza et al., 2021).

Factores, como la vegetación predominante, la exposición, la pendiente, la altitud y el uso del suelo, influyen significativamente en el nivel de severidad, además de afectar la velocidad y la capacidad de recuperación del ecosistema (González et al., 2024a; Jimeno-Llorente et al., 2023). La relación entre estas variables y la respuesta del ecosistema sugiere que los incendios de severidad media están estrechamente ligados a los rasgos funcionales y adaptativos de la vegetación, lo que refleja procesos de selección evolutiva, donde las especies pirofitas sobreviven y se vuelven dominantes a causa de los incendios recurrentes, controlando así la estructura y ensamble ecológico, transformando el paisaje a largo plazo (Flores-Rodríguez et al., 2021; Gonzáles et al., 2024a; González et al., 2024b; Myers, 2006; Rodríguez-Trejo y Fulé, 2003).

En el incendio del volcán Pecul predominó la severidad alta, con alto impacto en la vegetación, extendiéndose mediante la copa de los árboles, de manera que se clasifica como incendio de copas, generalmente estos incendios ocurren en bosques de sucesión temprana con tasas de mortalidad que pueden alcanzar hasta el 70 % (Castro Rego et al., 2021; Glitzenstein et al., 2021; Rego et al., 2021). Aunque estudios como los de Pancel y Köhl (2016) indican que estos eventos representan solo el 1 % en los bosques tropicales, su impacto es profundo cuando suceden en grandes extensiones, generando homogenización del ecosistema y alterando gravemente la estructura y composición original (Hartung et al., 2021; Steel et al., 2022). Jiao et al. (2023) respalda que esta homogeneidad de mortandad y su índice de severidad alta se debe a la alta carga de combustibles del ecosistema. En los bosques de coníferas con dosel cerrado se presenta generalmente un nivel de severidad alto debido a la disposición del combustible (Prepas et al., 2009).

La utilización de imágenes satelitales para determinar los niveles de severidad, permite un análisis preliminar del comportamiento y respuesta del ecosistema al incendio forestal (Silva-Cardoza et al., 2018), ofreciendo una visión cuantitativa y espacial de la severidad de los incendios y creando una aproximación a los impactos socioeconómicos de las comunidades aledañas. Sin embargo, en este estudio, aunque se utilizó un satélite con un rango espectral de 10 metros, Sentinel-2, el sensor detectó en el volcán San Pedro,

varias áreas sin daño aparente, las cuales, tras inspección visual y confirmación por los equipos que estuvieron atendiendo el incendio, se comprobó que sí fueron quemadas. Estas zonas corresponden a pasturas y vegetación del bosque estacionalmente seco, lo cual resulta sumamente interesante ya que, de los tres incendios estudiados, este es el único que presenta vegetación caracterizada por un período de sequía estacional. Este hallazgo es relevante, ya que muestra que la presencia de vegetación con características específicas, como la vegetación del bosque estacionalmente seco, puede influir en la sensibilidad y exactitud de la detección de daños por incendio. Esto resalta la importancia de complementar los datos satelitales con inspecciones de campo para una interpretación más acertada.

El análisis de los impactos socioeconómicos reveló que la participación comunitaria en la atención de incendios forestales está principalmente motivada por el temor o respeto a las sanciones que las mismas comunidades tienen acordadas para castigar la falta de apoyo a las acciones de control, esta es la motivación del 50.9 % de los participantes en los pueblos *K'iche's*, su gobernanza interna se refleja en estructuras y mecanismos de participación comunitaria que auxilian la respuesta a los mecanismos de control de las instituciones gubernamentales y gobiernos locales. Las comunidades de *Pasac*, el Rancho de Teja y Concordia presentan una alta participación comunitaria, fomentada por la imposición de sanciones y penalizaciones propias de su estructura de gobernanza local conocida como *K'axk'ol* (Berreno, 2019; Velásquez et al., 2023).

Prior y Eriksen (2013) subrayan que la cohesión social influye de forma directa en la percepción del incidente, contribuyendo positivamente en la participación individual y colectiva, mientras que Oliveira (2020) señala que una percepción clara de los impactos fomenta prácticas preventivas y refuerza la participación comunitaria en la gobernanza. En las comunidades estudiadas aparentemente la conciencia sobre la relevancia del fuego llevó a sus líderes a sancionar la no participación en acciones que lo controlen y al momento del estudio estas sanciones muestran gran efectividad; deberá valorarse a futuro si estas también sirven como motor de una transformación cultural en torno al fuego. Por otro lado, el 33.3 % de los participantes son motivados por la conservación de recursos y el 15.8 % por incentivos económicos, lo que refleja que al menos una porción de la población les asigna un valor a los recursos naturales.

Desde la percepción comunitaria, los recursos naturales (Figura 9) son los más afectados durante la atención de incendios forestales, alcanzando una puntuación máxima (10) en percepción de impactos. Este hallazgo es consistente con la importancia que estas comunidades otorgan a los recursos naturales como aspecto vital para su sustento y bienestar. En el ámbito cultural, dos bosques presentan sitios sagrados para la cosmovisión maya; sin embargo, a pesar de su alta importancia, un sector reducido percibe afectación, mientras que gran parte de los participantes no es consciente de la presencia de estos

lugares, por tanto, no perciben afectación directa, lo que se refleja en una ponderación de 7. Un aspecto clave es la percepción de vulnerabilidad de los lugares sagrados dentro del bosque, los cuales representan un vínculo profundo y simbólico entre las comunidades y su territorio. Morales-Giner y Mook (2024) resaltan que las perturbaciones en los lugares sagrados dentro del bosque crean un compromiso constructivo para la conservación de estos recursos, con el fin de fortalecer la participación comunitaria.

No obstante, existe una percepción de vulnerabilidad del recurso humano en relación con los incendios forestales debido a la exposición directa de las personas que participan en las tareas de combate, quienes consideran que enfrentan un riesgo (Horing et al., 2025). Esta percepción está influenciada por la experiencia personal y la presencia constante en situaciones de peligro, resaltando la importancia de la exposición como un factor central en la valoración del riesgo social. Sin embargo, diversos estudios indican que la percepción del riesgo no siempre está directamente relacionada con la frecuencia o la severidad de los incendios (Champ y Brenkert-Smith 2016). Es decir, aunque los incendios sean cada vez más recurrentes, esto no necesariamente se traduce en una percepción aumentada de vulnerabilidad o peligro por parte de las comunidades, lo que evidencia que la percepción del riesgo es un fenómeno que depende de experiencias previas, conocimientos, valores culturales y otros factores subjetivos.

Un hallazgo relevante es que el 45 % de los participantes considera que los Costos de Atención de incendios forestales son asumidos principalmente por las mismas comunidades, seguido por las municipalidades con un 15 %. Aunque las estructuras de organización comunitaria son establecidas y funcionales, existen conflictos con la estructura institucional gubernamental, la cual asume un orden jerárquico que fomenta actitudes de discriminación o es percibido de esa forma por las comunidades (Carroll et al., 2006). Los cuerpos de bomberos, la CONRED, INAB y CONAP son apreciados en las comunidades como quienes aportan la menor parte de los costos de atención (entre el 5 % y 10 %), lo cual contrasta con la realidad operativa. Palaiologou et al. (2021) realza la importancia del trabajo interinstitucional, ya que la estructura comunitaria es eficiente en incendios de severidad baja y media; sin embargo, para incendios de alta severidad e incluso algunos de severidad media, es necesario equipo especializado de instituciones de gobierno como las aeronaves. Se evidencia la necesidad de mejorar la comunicación y la complementariedad entre la institucionalidad comunitaria y la gubernamental.

El análisis de redes evidencia una estructura fuertemente interconectada en la que agricultura, fauna, leñadores, apicultura, salud y turismo forman un conjunto de vínculos estrechos y mutuamente dependientes. En este sentido, la agricultura emerge como uno de los sectores más sensibles a los incendios forestales, reflejando su papel central en la economía local y su vulnerabilidad ante perturbaciones ambientales. Asimismo, la interacción entre leñadores y agricultura resalta cómo las prácticas tradicionales y el uso

del bosque se ven afectados por los cambios recientes, lo que puede acarrear impactos en la resiliencia socioeconómica y en la sostenibilidad de los recursos naturales. A pesar de que el estudio se realizó en pueblos de dos comunidades: *K'iche'* y *Tz'utujil*, en ambas se muestran comportamientos similares; por ejemplo, en cuanto a la valoración de la importancia de los recursos naturales y su vulnerabilidad ante los incendios. Cárdenas Cujiño et al. (2021) aseguran que el análisis de las percepciones comunitarias sobre los niveles de severidad de los incendios permite entender la dinámica ambiental de las comunidades y facilita una interpretación más precisa de cómo las comunidades perciben los efectos de los incendios.

Los resultados evidencian que además de ser este territorio un corredor biocultural, también puede categorizarse como pirobiocultural, el cual se describe como la relación entre el uso del fuego y la cultura de los pueblos indígenas y campesinos (Ponce-Calderón et al., 2022), donde las formas ancestrales de gobernanza adquieren una relevancia crucial, demostrando ser efectivas para la conservación de sus recursos y sumamente eficientes para la respuesta ante incendios forestales.

El uso ancestral del fuego en la agricultura (McKenzie et al., 2011b) y el manejo adecuado (Nigh y Diemont, 2013) evitan efectos negativos en los ecosistemas. Velásquez et al. (2023) señalan la importancia de integrar el conocimiento ancestral y científico para mejorar las prácticas pirobioculturales. Las comunidades e instituciones estudiadas reconocen la urgencia de fortalecer las capacidades de prevención y control de incendios, sin desplazar saberes ancestrales (Ndalila et al., 2024; Tanpipat et al., 2022). Meza Elizalde y Armenteras (2023) consideran que comprender la cultura del fuego, su rol ecológico y social, permite construir una gobernanza contextualizada y fortalecer las prácticas pirobioculturales.

Esto evidencia que las comunidades indígenas tienen la capacidad de moldear y adaptar su estructura de gobernanza social, permitiendo una respuesta flexible y constante ante incidentes, sin perder de vista su cosmovisión del mundo natural. Lake y Christianson (2020) señalan que las comunidades están en un proceso continuo de evolución, ajustando sus prácticas de gestión y gobernanza para promover la sostenibilidad. Los dos grupos indígenas vinculados con este estudio (*K'iche's* y *Tz'utujiles*), mostraron flexibilidad en sus estructuras de gobernanza ante incendios forestales, esto fortalece su autonomía para proteger sus recursos y garantizar su bienestar social, económico y cultural desde una perspectiva contextualizada. Chávez Mejía y Tapia (2018) resaltan la importancia de valorar los conocimientos ancestrales, considerados como un cuerpo dinámico y acumulativo. Diversos autores como Cárdenas Cujiño et al. (2021), Horing et al. (2025) y Morales-Giner y Mook (2024) afirman que estos saberes reflejan la profunda relación de las comunidades con su territorio y recursos más allá de su pertenencia a un grupo étnico específico.

La valoración basada en costos facilita cuantificar de forma tangible los impactos socioeconómicos de incendios forestales, desglosándolos en atención, prevención, afectación y restauración y mostrando cómo cada componente contribuye al costo total y varía con la severidad y la extensión; sin embargo, la estimación monetaria no captura plenamente los valores ecológicos, sociales y culturales asociados a la biodiversidad y a los ecosistemas, lo que puede subestimar el impacto global, además sugiere la necesidad de enfoques complementarios que incorporen métricas cualitativas o multicriterio. Asimismo, se debe considerar que la magnitud de los costos percibidos depende de los sistemas productivos locales, la gobernanza y la capacidad de respuesta, respaldando la integración de estrategias de prevención, recuperación y diversificación de ingresos para fortalecer la resiliencia a mediano y largo plazo (Flores et al., 2017; Iwan et al., 2017; Vidal et al., 2022).

Los CP para el incendio de severidad alta fueron mayores con \$ 109,366.87, seguido por el incendio de severidad media con \$ 95,338.82, mientras que los CP en el incendio de severidad baja correspondieron a \$ 84,170.78. No obstante, los CP en función por hectárea muestran que el incendio de severidad baja presenta una mayor demanda de recursos por hectárea con \$ 865.48, seguido por el incendio de severidad media (\$ 340.71) y el incendio de severidad alta con \$ 211.86. Estos CP están estrechamente asociados a factores como recurso humano disponible, logística de talleres y acceso a medios de comunicación. El promedio de CP para estos tres eventos oscila en \$ 472.69, que tienden a ser financiados por fuentes externas (Molinas-González y Florentín, 2021). Richardson et al. (2012) destacan la importancia de cuantificar los costos asociados a la salud pública relacionados con la exposición al humo.

Los CA muestran que el nivel de severidad está estrechamente asociado a la cantidad de recurso utilizado para su control, siendo el incendio de severidad alta el que tuvo mayor demanda de recursos (\$ 324,916.94), seguido por el incendio de severidad media (\$ 271,055.84) y el incendio de severidad baja (\$ 88,889.09). Existe una diferencia de más de 72 % (\$ 236,027.85) de recursos invertidos entre el incendio de severidad baja y el incendio de severidad alta, mientras que existe una diferencia del 16 % (\$ 53,861.1) entre incendios de severidad media y severidad alta. En cuanto a costos por hectárea, ocurre una inversión mayor en incendios de severidad baja (\$ 907.03) en contraste con los incendios de severidad alta (\$ 722.04), lo cual se explica por la dificultad de acceso del personal y por la disponibilidad de recurso hídrico que favorecen el uso de aeronaves. Díaz (2012) señala que los costos de atención son altos debido al uso de equipo y recurso especializado, influenciados por la capacidad instalada en las comunidades.

Los CAF evidencian que tanto los recursos naturales como el recurso humano son los de mayor impacto. La comunidad percibe un costo de afectación mayor en los incendios de severidad alta (\$ 920,824.01), seguido por el incendio de severidad media (\$

112,029.22) y el incendio de severidad baja (\$ 52,029.22). En cuanto a los CAF por hectárea, se mantiene la percepción de afectación según su nivel de severidad, el incendio de severidad alta es el más alto (\$ 2,046.28) en comparación con los de severidad baja (\$ 530.91). Estas percepciones están vinculadas a la distribución espacial del incendio; el 4.44 % del área afectada en incendios de severidad alta corresponde a zonas con incentivos forestales y de alta importancia de conservación, ya que es un nicho ecológico para la especie *Abies guatemalensis*.

Gritzo (2024) y Loomis y González-Cabán (2010) señalan que las áreas bajo protección o conservación tienden a percibirse con mayores impactos, debido a la relevancia social y ecológica que se atribuye a los servicios ecosistémicos en estos espacios. Esto evidencia que la valoración basada en costos y categoría de “uso”, en contraste con la categoría de “no uso”, puede subestimar los impactos reales y, que una estimación más precisa, mediante técnicas de valoración contingente, podría reflejar un costo mucho mayor en la protección y conservación de este recurso, como lo evidencia Zander et al. (2022).

Los CR muestran una relación proporcional con el área de afectación, utilizando los precios por hectárea establecidos por el INAB (\$ 2,460.89). Sin embargo, existen otros factores que no se contemplan por esta institución, tales como: especies nativas, accesibilidad al sitio afectado y jornales para mantenimiento. Aunque los tres incendios analizados requieren la misma cantidad de recursos para la restauración por hectárea, es fundamental considerar los procesos ecológicos asociados a los niveles de severidad, ya que estos influyen en las estrategias de recuperación. Juan Baeza et al. (2024) detallan que la severidad del incendio determina en gran medida el tipo de restauración necesaria, influyendo directamente en la reducción de costos; en zonas con menor severidad, algunas áreas podrían no requerir una restauración activa, reduciendo así los costos de restauración del incendio.

Diversos autores como Bond y Keeley (2005), Castro Rego et al. (2021), Glitzenstein et al. (2021), Gonzáles et al. (2024b), Jimeno-Llorente et al. (2023) y Rego Castro et al. (2021) reconocen que los incendios forestales pueden formar parte de un proceso evolutivo que enriquece la pirobiodiversidad del ecosistema, aunque otros estudios advierten que ciertos ecosistemas al no presentar capacidad de adaptación, los vuelve vulnerables (Steel et al., 2022).

Además, Spooner et al. (2021) resaltan que los niveles de severidad influyen en la respuesta y adaptación del ecosistema, mientras que Juan Baeza et al. (2024) mencionan que el nivel de severidad del incendio depende de factores como topografía, condiciones climáticas, régimen de incendios, estructura y composición del ecosistema. Hartung et al. (2021) realzan la importancia de conocer el régimen natural de los incendios forestales para asegurar el mantenimiento natural de ecosistemas dependientes del fuego a largo

plazo, ya que, al alterar los regímenes de incendios de manera antropogénica, se influye directamente en la resiliencia del ecosistema y la cantidad de recursos asignados para su control.

En este contexto, el costo de restauración post-incendio no solo depende del grado de severidad, sino también del tipo de ecosistema y su capacidad de respuesta: si el ecosistema está adaptado al fuego, puede beneficiarse de una restauración pasiva, mientras que, si no lo está, sería necesario evaluar si la inversión en restauración activa justifica los recursos empleados, considerando la viabilidad y el potencial de recuperación del área afectada.

Por otro lado, los Costos Totales por hectárea señalan que, si bien el cálculo realizado forma VET y permite estimar los costos asociados a incendios por unidad de área, esta cifra podría subestimar el valor real de los impactos; ya que, al considerar solo costos directos de atención, prevención, afectación y restauración, la valoración de los costos totales pueden ser menores que la verdadera pérdida socioeconómica cuando se añaden elementos como el valor de “no uso” (por ejemplo, secuestro de carbono, valor paisajístico, ciclos de nutrientes, erosión, etc.), además de valores culturales y sociales intrínsecos en contextos comunitarios. Por lo tanto, una visión completa para la toma de decisiones debería complementar la VET con valores de uso y no uso para orientar políticas de gestión de riesgos y estrategias de resiliencia más robustas a mediano y largo plazo.

5. Conclusiones

La aplicación de técnicas de teledetección mediante índices espectrales de Sentinel-2 demostró ser efectiva para clasificar la severidad de los tres incendios forestales estudiados. La metodología permitió una caracterización espacial precisa del daño ecológico, según los niveles de severidad que se asocian con las zonas de vida de Holdridge, proporcionando una base sólida para análisis de impactos territoriales y socioeconómicos. Aunque se identificaron limitaciones en ecosistemas de bosque estacionalmente seco, los resultados confirman que la teledetección constituye una herramienta robusta para el monitoreo de incendios forestales. Su integración con enfoques complementarios puede fortalecer futuras evaluaciones y contribuir a una gestión más informada del riesgo de incendios.

Las percepciones comunitarias se presentan como indicadores clave de los impactos ecológicos traducidos a sistemas socioeconómicos locales, estableciendo una relación causal directa entre la severidad del incendio y la magnitud del impacto percibido. En este marco, el *K'axk'ol* se identifica como un mecanismo de gobernanza adaptativa con alta funcionalidad en la gestión de incendios forestales, operando como un sistema de sanciones graduales que facilita la participación obligatoria de la comunidad en las labores de control del incendio forestal. Esta gobernanza endógena demuestra una notable capacidad de autoorganización que trasciende los marcos institucionales oficiales, generando respuestas colectivas eficientes basadas en conocimiento tradicional y en su sistema de gobernanza, lo que optimiza la movilización de recursos humanos y materiales durante los incendios. Por ello, el *K'axk'ol* constituye una institucionalidad pirobiocultural que integra dimensiones ecológicas, sociales y culturales dentro de un marco de gestión territorial contextualizado.

La valoración económica, basada en el método de costos, muestran que, en general, la mayor extensión del área afectada se acompaña de un incremento proporcional de los costos socioeconómicos percibidos, proporcionando una estimación inicial y cuantitativa del valor de los daños percibidos por las comunidades. Este enfoque, centrado en los costos de uso asociados a los recursos afectados, demuestra su eficacia para capturar los gastos tangibles vinculados a la prevención, atención, afectación y restauración, validando su utilidad como primera aproximación de cuantificación económica en contextos de la percepción de las comunidades y los incendios forestales. No obstante, persisten limitaciones inherentes al método para incorporar valores de no uso y externalidades culturales intangibles que pueden subestimar el valor total de los servicios ecosistémicos.

Referencias

- Alberich Nistal, T. (2008). Iap, redes y mapas sociales: Desde la investigación a la intervención social. *Portularia: Revista de Trabajo Social*, 8, 131-151.
- Alfaro-Sánchez, R., Johnstone, J. F., y Baltzer, J. L. (2025). Low-severity fires in the boreal region: Reproductive implications for black spruce stands in between stand-replacing fire events. *Annals of Botany*, 135(1-2), 329-340. <https://doi.org/10.1093/aob/mcae055>
- Baeza, J., I. B., Martínez-Garza, C., y Jardel-Peláez, E. J. (2024). Efecto de la severidad de incendio en la estructura y regeneración del bosque tropical de pino-implicaciones para su restauración. *Botanical Sciences*, 102(2), 346-368. <https://doi.org/10.17129/botsci.3411>
- Berreno Xurux, A. F. (2019). Gobernanza comunitaria del agua en el Altiplano Occidental de Guatemala. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático*, 3(6), 50-54.
- Bh-PMT – Infolama. (2025). <http://www.infoiarna.org.gt/ecosistemas-de-guatemala/fichas-zonas-de-vida/bh-pmt/>
- Bmh-PMT – Infolama. (2025). <http://www.infoiarna.org.gt/ecosistemas-de-guatemala/fichas-zonas-de-vida/bmh-pmt/>
- Bond, W., y Keeley, J. (2005). Fire as a global 'herbivore': The ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology y Evolution*, 20(7), 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., D'Antonio, C. M., DeFries, R. S., Doyle, J. C., Harrison, S. P., Johnston, F. H., Keeley, J. E., Krawchuk, M. A., Kull, C. A., Marston, J. B., Moritz, M. A., Prentice, I. C., Roos, C. I., Scott, A. C., ... Pyne, S. J. (2009). Fire in the Earth System. *Science*, 324(5926), 481-484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Bowman, D. M. J. S., Williamson, G. J., Abatzoglou, J. T., Kolden, C. A., Cochrane, M. A., y Smith, A. M. S. (2017). Human exposure and sensitivity to globally extreme wildfire events. *Nature Ecology y Evolution*, 1(3). <https://doi.org/10.1038/s41559-016-0058>

- Campos, R., Puxley, B. L., Long, M. A., y Harvey, P. S. (2025). The 2023 Oklahoma wildfire outbreak: A case study in meteorological conditions, wildfire hazard, and community resilience. *Natural Hazards*, 121(1), 201-224. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06824-6>
- Cárdenas Cujíño, M. A., Cárdenas-García, M., y Cañizares-Arévalo, J. D. J. (2021). Instrumentos metodológicos para el análisis de la severidad del fuego en la vegetación y su percepción en las comunidades. *Mundo FESC*, 11(S5), 165-177. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.1019>
- Carroll, M. S., Higgins, L. L., Cohn, P. J., y Burchfield, J. (2006). Community Wildfire Events as a Source of Social Conflict*. *Rural Sociology*, 71(2), 261-280. <https://doi.org/10.1526/003601106777789701>
- Castro Rego, F., Morgan, P., Fernandes, P., y Hoffman, C. (2021). Fire Effects on Plants, Soils, and Animals. En F. C. Rego, P. Morgan, P. Fernandes, y C. Hoffman (Eds.), *Fire Science: From Chemistry to Landscape Management* (pp. 259-318). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69815-7_9
- CCAD. (2007). *Manual Centroamericano de Prevención de Incendios Forestales*. CCAD.
- Champ, P. A., y Brenkert-Smith, H. (2016). Is Seeing Believing? Perceptions of Wildfire Risk Over Time. *Risk Analysis*, 36(4), 816-830. <https://doi.org/10.1111/risa.12465>
- Chávez Mejía, C., y Tapia, F. (2018). *Acercamiento al conocimiento tradicional y a los recursos bioculturales* (pp. 17-50).
- Díaz, J. M. (2012). *Economic Impacts of Wildfire*.
- Dörpinghaus, J., Klante, S., Christian, M., Meigen, C., y Düing, C. (2022). From social networks to knowledge graphs: A plea for interdisciplinary approaches. *Social Sciences y Humanities Open*, 6(1), 100337. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2022.100337>
- Flanagan, N. E., Wang, H., Winton, S., y Richardson, C. J. (2020). Low-severity fire as a mechanism of organic matter protection in global peatlands: Thermal alteration slows decomposition. *Global Change Biology*, 26(7), 3930-3946. <https://doi.org/10.1111/gcb.15102>

- Flores, N., Valdez, A., Hernandez-Madrigal, V., y Veyna, O. (2017). Valoración del agua de riego agrícola en el Valle de Zamora. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 811-823. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.9>
- Flores-Rodríguez, A. G., Flores-Garnica, J. G., González-Eguiarte, D. R., Gallegos-Rodríguez, A., Zarazúa-Villaseñor, P., Mena-Munguía, S., Flores-Rodríguez, A. G., Flores-Garnica, J. G., González-Eguiarte, D. R., Gallegos-Rodríguez, A., Zarazúa-Villaseñor, P., y Mena-Munguía, S. (2021). Análisis comparativo de índices espectrales para ubicar y dimensionar niveles de severidad de incendios forestales. *Investigaciones geográficas*, 106. <https://doi.org/10.14350/rig.60396>
- Glitzenstein, J. S., Brewer, J. S., Masters, R. E., Varner, J. M., y Hiers, J. K. (2021). Fire Ecology and Fire Management of Southeastern Coastal Plain Pine Ecosystems. En C. H. Greenberg y B. Collins (Eds.), *Fire Ecology and Management: Past, Present, and Future of US Forested Ecosystems*, 39, 63-104. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73267-7_3
- Goldammer, J. G. (2015). Fire Management in Tropical Forests. En *Tropical Forestry Handbook*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8_207-2
- Goldammer, J. G. (2022a). *El rol y la historia del fuego en los paisajes tropicales*. <https://doi.org/10.55515/DVRK2501>
- Goldammer, J. G. (2022b). *Manejo integral del fuego en bosques tropicales y paisajes abiertos*. <https://doi.org/10.55515/DVRK2501>
- Gonzáles, H., Ocaña, C. L., Cubas, J. A., Vega-Nieva, D. J., Ruíz, M., Santos, A., y Barboza, E. (2024a). Impact of forest fire severity on soil physical and chemical properties in pine and scrub forests in high Andean zones of Peru. *Trees, Forests and People*, 18, 100659. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100659>
- Gonzáles, H., Ocaña, C. L., Cubas, J. A., Vega-Nieva, D. J., Ruíz, M., Santos, A., y Barboza, E. (2024b). Impact of forest fire severity on soil physical and chemical properties in pine and scrub forests in high Andean zones of Peru. *Trees, Forests and People*, 18, 100659. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100659>

- González, F., Morante-Carballo, F., González, A., Bravo-Montero, Lady, Benavidez-Silva, C., y Tedim, F. (2024a). Assessment of Forest Fire Severity for a Management Conceptual Model: Case Study in Vilcabamba, Ecuador. *Forests*, 15(12), 2210. <https://doi.org/10.3390/f15122210>
- González, F., Morante-Carballo, F., González, A., Bravo-Montero, Lady, Benavidez-Silva, C., y Tedim, F. (2024b). Assessment of Forest Fire Severity for a Management Conceptual Model: Case Study in Vilcabamba, Ecuador. *Forests*, 15(12), 2210. <https://doi.org/10.3390/f15122210>
- Greenberg, C. H., y Collins, B. (2021). *Fire Ecology and Management: Past, Present, and Future of US Forested Ecosystems*, 39. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-73267-7>
- Greenberg, C. H., Collins, B. S., Goodrick, S., Stambaugh, M. C., y Wein, G. R. (2021). Introduction to Fire Ecology Across USA Forested Ecosystems: Past, Present, and Future. En C. H. Greenberg y B. Collins (Eds.), *Fire Ecology and Management: Past, Present, and Future of US Forested Ecosystems*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73267-7_1
- Gritz, L. A. (Lou). (2024). Perspective article: Mitigating social and economic impact of wildfires. *Applications in Energy and Combustion Science*, 20, 100285. <https://doi.org/10.1016/j.jaecs.2024.100285>
- Hartung, M., Carreño-Rocabado, G., Peña-Claros, M., y van der Sande, M. T. (2021). Tropical Dry Forest Resilience to Fire Depends on Fire Frequency and Climate. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.755104>
- Harvey, W. J., Nogué, S., Stansell, N., Petrokofsky, G., Steinman, B., y Willis, K. J. (2019). The Legacy of Pre–Columbian Fire on the Pine–Oak Forests of Upland Guatemala. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00034>
- Horing, J., Shivaram, R., y Azevedo, I. M. L. (2025). Perceptions of wildfire risk and adaptation behaviour in California. *Environmental Research: Climate*, 4(1), 015010. <https://doi.org/10.1088/2752-5295/ada8ca>
- Imbach, A. C. (2016). *Primera Edición Corregida*.

- Iwan, A., Guerrero, M., Romanelli, A., y Emilia, B. (2017). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de una Laguna del sudeste bonaerense (Argentina). *Investigaciones Geográficas*, 68, 173-189. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.10>
- Jiao, S., Zhang, H., Cai, Y., Chen, J., Feng, Z., y Shen, S. (2023). Collapse of tropical rainforest ecosystems caused by high-temperature wildfires during the end-Permian mass extinction. *Earth and Planetary Science Letters*, 614, 118193. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2023.118193>
- Jimeno-Llorente, L., Marcos, E., y Fernández-Guisuraga, J. M. (2023). The Effects of Fire Severity on Vegetation Structural Complexity Assessed Using SAR Data Are Modulated by Plant Community Types in Mediterranean Fire-Prone Ecosystems. *Fire*, 6(12), 450. <https://doi.org/10.3390/fire6120450>
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116. <https://doi.org/10.1071/WF07049>
- Krawchuk, M. A., Moritz, M. A., Parisien, M.-A., Van Dorn, J., y Hayhoe, K. (2009). Global Pyrogeography: The Current and Future Distribution of Wildfire. *PLoS ONE*, 4(4), e5102. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005102>
- Lake, F. K., y Christianson, A. C. (2020). Indigenous Fire Stewardship. En *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52090-2_225
- Lee, P. (2004). The impact of burn intensity from wildfires on seed and vegetative banks, and emergent understory in aspen-dominated boreal forests. *Canadian Journal of Botany*, 82(10), 1468-1480. <https://doi.org/10.1139/b04-108>
- Loomis, J., y González-Cabán, A. (2010). Forest Service Use of Nonmarket Valuation in Fire Economics: Past, Present, and Future. *Journal of Forestry*, 108(8), 389-396. <https://doi.org/10.1093/jof/108.8.389>
- López García, A. R. (2020). Estudio de la severidad y regeneración de la vegetación por el incendio de 2012 en el Bosque La Primavera (México) mediante imágenes

<https://doi.org/10.35424/rcarto.i101.420>

- Martínez Torres, H. L., y Pérez Salicrup, D. R. (2018). El papel del campesinado ante la regulación de los incendios forestales en México: Consecuencias inesperadas. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 30. <https://doi.org/10.15359/prne.16-31.5>
- McKenzie, D., Miller, C., y Falk, D. A. (Eds.). (2011a). *The Landscape Ecology of Fire*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0301-8>
- McKenzie, D., Miller, C., y Falk, D. A. (2011b). Toward a Theory of Landscape Fire. En D. McKenzie, C. Miller, y D. A. Falk (Eds.), *The Landscape Ecology of Fire*, 213, 3-25. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0301-8_1
- Meza Elizalde, M. C., y Armenteras, D. (2023). *La paradoja del fuego: Del contexto internacional al caso de Colombia*.
- Molinas-González, C. R., y Florentín, P. (2021). Incendios forestales en Paraguay: Implicaciones para su prevención y manejo. *Investigaciones y Estudios - UNA*, 12. <https://doi.org/10.47133/IEUNA2115>
- Montorio Llovería, R., Pérez-Cabello, F., García-Martín, A., Vlassova, L., y De la Riva Fernández, J. (2014). *LA SEVERIDAD DEL FUEGO: REVISIÓN DE CONCEPTOS, MÉTODOS Y EFECTOS AMBIENTALES*.
- Morales-Giner, P., y Mook, A. (2024). Ash Everywhere: Place Attachment and Meanings in the Aftermath of Wildfires. *Environment and Behavior*, 56(9-10), 651-681. <https://doi.org/10.1177/00139165241311488>
- Myers, R. L. (2006). *Convivir con el fuego—Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego*. 36.
- Ndalila, M. N., Lala, F., y Makindi, S. M. (2024). Community perceptions on wildfires in Mount Kenya forest: Implications for fire preparedness and community wildfire management. *Fire Ecology*, 20(1), 92. <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00326-3>
- Nigh, R., y Diemont, S. A. (2013). The Maya milpa: Fire and the legacy of living soil. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(s1), e45-e54. <https://doi.org/10.1890/120344>

- Oliveira, R. (2020). Uncovering the perception regarding wildfires of residents with different characteristics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*.
- Palaiologou, P., Kalabokidis, K., Troumbis, A., Day, M. A., Nielsen-Pincus, M., & Ager, A. A. (2021). Socio-ecological perceptions of wildfire management and effects in Greece. *Fire*, 4(2), 18. <https://doi.org/10.3390/fire4020018>
- Pancel, L., y Köhl, M. (2016). *Tropical Forestry Handbook*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54601-3>
- Parks, S. A., Holsinger, L. M., Panunto, M. H., Jolly, W. M., Dobrowski, S. Z., y Dillon, G. K. (2018). High-severity fire: Evaluating its key drivers and mapping its probability across western US forests. *Environmental Research Letters*, 13(4), 044037. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aab791>
- Pasiecznik, N., Goldammer, J. G., Bilbao, B. A., y Widayati, A. (2022). *El humo se disipa... Experiencias globales en el manejo de incendios tropicales*. <https://doi.org/10.55515/DVRK2501>
- Pérez, G., Gándara, G., Rosito, J. C., Maas, R., & Gálvez, J. (2016). Ecosistemas de Guatemala, una aproximación basada en el sistema de clasificación de Holdridge. *Revista Eutopía*, 1(1), 25–68. <https://doi.org/10.36631/>
- Ponce-Calderón, L. P., Limón-Aguirre, F., Rodríguez, I., Rodríguez-Trejo, D. A., & Bilbao, B. A. (2022). Manejo del fuego en paisajes pirobioculturales, Chiapas, México. En N. Pasiecznik & J. G. Goldammer (Eds.), *Hacia la construcción de paisajes a prueba de incendios* (Tropical Forest Issues, 61, 53–59). Tropenbos International. <https://bit.ly/3SnaxXG>
- Prepas, E., Serediak, N., Putz, G., y Smith, D. W. (2009). Fires. En *Encyclopedia of Inland Waters*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00228-3>
- Prior, T., y Eriksen, C. (2013). Wildfire preparedness, community cohesion and social-ecological systems. *Global Environmental Change*, 23(6), 1575-1586. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.09.016>

- Rego Castro, F., Morgan, P., Fernandes, P., y Hoffman, C. (2021). Extreme Fires. En *Fire Science*. Springer International Publishing, 39, 172-257.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-69815-7_8#citeas
- Rego, F. C., Morgan, P., Fernandes, P., y Hoffman, C. (2021). *Fire Science: From Chemistry to Landscape Management*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-69815-7>
- Richardson, L. A., Champ, P. A., y Loomis, J. B. (2012). The hidden cost of wildfires: Economic valuation of health effects of wildfire smoke exposure in Southern California. *Journal of Forest Economics*, 18(1), 14-35.
<https://doi.org/10.1016/j.jfe.2011.05.002>
- Rodríguez-Trejo, D. A., y Fulé, P. Z. (2003). Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 23.
<https://doi.org/10.1071/WF02040>
- Sánchez-Midence, L. A., y Victorino-Ramírez, L. (2012). Guatemala: Cultura tradicional y sostenibilidad. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 9(3), 297-313.
- Secaira, E., Calderón, M., Cordero, N., Paiz, A., Chavajay, E., Queché, M., Núñez, L., Geóloga, T., Figueroa, D., Lec, R., Gómez, C., Girón, I., Ixquiactap, M., Utrera, L. P., Sigap, T., Morales, A. S., Sigap, T., Burge, A., García, C., ... Nájera, C. (2012). *Definición técnica y plan de manejo del corredor bio-cultural y de desarrollo sostenible Zunil-Atitlán-Balam Juyú*.
- Silva-Cardoza, A. I., Vega-Nieva, D. J., López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Briseño-Reyes, J., Briones-Herrera, C. I., Loera-Medina, J. C., Parra-Aguirre, E., Rodríguez-Trejo, D. A., & Jardel-Peláez, E. (2021). *Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo, en ecosistemas de bosque templado de México*. Universidad Juárez del Estado de Durango, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad de Guadalajara.
https://forestales.ujed.mx/incendios2/php/publicaciones_documentos/7_3_Silva%20et%20al%2020211201_Metodologia_severidad_v1.pdf

- Silva-Cardoza, A., Venega-Nieva, Daniel. J., Briones-Herrera, C. I., López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., y Alvarado-Celestino, E. (2018). *Evaluación de severidad de incendios forestales con imágenes Sentinel en el Estado de Durango*.
- Silvel, E. (2016). *Territorios y áreas conservadas por pueblos indígenas y comunidades locales (TICCA): Raíces y evolución histórica, amenazas y oportunidades actuales y posible estrategia de reconocimiento y fortalecimiento en Mesoamérica*.
- Spooner, J. K., Peet, R. K., Schafale, M. P., Weakley, A. S., y Wentworth, T. R. (2021). *The Role of Fire in the Dynamics of Piedmont Vegetation* (C. H. Greenberg, B. Collins). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73267-7_2
- Steel, Z. L., Fogg, A. M., Burnett, R., Roberts, L. J., y Safford, H. D. (2022). When bigger isn't better—Implications of large high-severity wildfire patches for avian diversity and community composition. *Diversity and Distributions*, 28(3), 439-453. <https://doi.org/10.1111/ddi.13281>
- Tanpipat, V., Rassameethes, R., Wanthongchai, K., Nhuchaiya, P., y Yodcum, J. (2022). Combining community management of fire and water in Thailand. *Tropical Forest Issues*, 61, 123-130. <https://doi.org/10.55515/SGEA2958>
- Velásquez, E. B. L., Soto, R. V., Hermida, A. I., y Gambetta, F. C. (2023). *Conocimientos de las culturas maya mam y maya k'iche' en la restauración de paisajes forestales*.
- Vidal, E., Regalado, L., Gagnetten, M., Durán, A., García, M., Calderón, A., Pasalía, C., Reno, U., y Scaravino, C. (2022). *Gestión ambiental: Introducción a sus instrumentos y fundamentos*.
- Villagran de Leon, J. C. (2023). An Improved Understanding of Natural Hazards and Disasters through the Use of Satellite Technologies: Contributions from UN-SPIDER. *Sustainability*, 15(13), 10624. <https://doi.org/10.3390/su151310624>
- Zabala García, C. A. (2023). *Valoración económica de servicios ecosistémicos de cafetales en la provincia San Juan, República Dominicana*. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/12616>
- Zander, K. K., Burton, M., Pandit, R., Gunawardena, A., Pannell, D., y Garnett, S. T. (2022). How public values for threatened species are affected by conservation strategies.

Journal of Environmental Management, 319, 115659.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115659>