



# Régimen de incendios forestales en ejidos del sur de la península de Yucatán (2012-2021)

## Forest fire regime in ejidos in the south of the Yucatán Peninsula (2012-2021)

José Francisco López-Toledo<sup>1\*</sup>, José Manuel Camacho-Sanabria<sup>2</sup>, Juan Carlos Alcérreca-Huerta<sup>3</sup> y  
Pedro Antonio Macario-Mendoza<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México / IT de la Zona Maya. Doctorado en Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Campus Chetumal Bahía. Chetumal, Quintana Roo, México

<sup>2</sup> Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo. Campus Chetumal Bahía. Chetumal, Quintana Roo, México.

<sup>3</sup> Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Chetumal. Chetumal, Quintana Roo, México.

<sup>4</sup> El Colegio de la Frontera Sur. Unidad Chetumal. Chetumal, Quintana Roo, México.

\* Autor de correspondencia.  
jflopeztoledo@gmail.com

### RESUMEN

El régimen de incendios forestales en selvas está vinculado con los usos de suelo existentes y causa pérdida de la cobertura forestal. Por lo tanto, es crucial profundizar en su comprensión para desarrollar herramientas efectivas que faciliten la restauración y manejo de dichos ambientes. En este estudio se analizó el régimen de incendios forestales, con énfasis en la extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad utilizando como unidad de análisis espacial a los ejidos ubicados dentro del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197, en la península de Yucatán de 2012 – 2021. Se emplearon puntos de calor y perímetros de conglomerados de puntos de calor derivados de los sensores MODIS y VIIRS a fin de generar el índice espaciotemporal de incendios forestales (IETIF) representado en diferentes categorías espaciales. Se identificaron áreas críticas, con valores altos de IETIF en ejidos vinculados con actividades agropecuarias y presencia de *Pteridium aquilinum*. Por otra parte, se observaron valores bajos de IETIF en ejidos que llevan a cabo un programa de manejo forestal. Este estudio reveló patrones en la dinámica espacial (i.e. incendios de  $\geq 2000$  ha poco frecuentes) y temporal (i.e. baja frecuencia, pero alta recurrencia y estacionalidad marcada entre marzo y mayo) que aportan evidencia clave para comprender el régimen de incendios en estos ecosistemas. Además, el IETIF se plantea como una herramienta para evaluar la dinámica del fuego, priorizar zonas de intervención y estimar posibles afectaciones, apoyando el diseño de estrategias de manejo integral del fuego a escala local y regional.

**PALABRAS CLAVE:** estacionalidad, extensión, frecuencia, índice, recurrencia, selvas subperennifolias.

### ABSTRACT

The forest fire regime in forests is linked to existing land uses and causes loss of forest cover. Therefore, it is crucial to deepen its understanding in order to develop effective tools to facilitate the restoration and management of these environments. In this study we analyzed the forest fire regime, with emphasis on the extent, frequency, recurrence and seasonality using as a spatial unit of analysis the ejidos located within the Important Bird Area 197, in the Yucatan Peninsula from 2012 - 2021. Hot spots and hot spot cluster perimeters derived from MODIS and VIIRS sensors were used to generate the Spatial-Temporal Index of Forest Fires (IETIF) represented in different spatial categories. Critical areas were identified, with high values of IETIF in ejidos linked to agricultural activities and presence of *Pteridium aquilinum*. On the other hand, low IETIF values were observed in ejidos that carry out a forest management program. This study revealed patterns in spatial (i.e., infrequent fires of  $\geq 2000$  ha) and temporal dynamics (i.e., low frequency, but high recurrence and marked seasonality between March and May) that provide key evidence for understanding the fire regime in these ecosystems. In addition, the IETIF is proposed as a tool to evaluate fire dynamics, prioritize intervention zones and estimate possible impacts, supporting the design of integrated fire management strategies at local and regional scales.

**KEYWORDS:** seasonality, extent, frequency, index, recurrence, semievergreen tropical forests.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales en el mundo han aumentado en su frecuencia, extensión y severidad en la última década como consecuencia del cambio climático y la prolongación de la temporada de incendios (Zamudio et al., 2023). Este fenómeno afecta alrededor de 400 millones de hectáreas del planeta por año (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2021) y se estima que contribuyen entre 26% (Tyukavina et al., 2022) y 38% (van Wees et al., 2021) de la pérdida de cobertura forestal observada en las últimas dos décadas. Dicha pérdida no implica necesariamente una desaparición permanente de la superficie forestal, ya que, en muchos casos, los incendios promueven la regeneración natural del bosque (Zang et al., 2024).

La comprensión del régimen de incendios (intensidad, extensión, frecuencia y estacionalidad) es fundamental en la planificación estratégica del manejo del fuego a largo plazo (Cochrane y Ryan, 2009; Jardel et al., 2014; Díaz-Delgado y Ruíz-Ramos, 2019); su análisis exhaustivo es la base para el desarrollo de acciones técnicas, institucionales y comunicativas dirigidas a la conservación y producción en áreas forestales (Pausas, 2012; Jardel et al., 2014).

Los sistemas de información geográfica (SIG) y datos del sensor remoto MODIS se han utilizado en diversos trabajos para la detección y análisis de incendios a diferentes escalas (Chuvieco, 2009; Chuvieco et al., 2019; Briones-Herrera et al., 2020) considerando la comparación con registros de campo (Lim et al., 2019), la elaboración de mapas de predicción (Murthy et al., 2019), la relación con factores causales (Reyes-Bueno y Balcazar-Gallegos, 2021), la delimitación de áreas quemadas (da Silva et al., 2023) o el análisis de la pérdida global de bosques por incendios (van Wees et al., 2021; Tyukavina et al., 2022).

En México, el análisis histórico de incendios forestales se ha explorado para generar modelos de peligro de incendios (Carrillo-García et al., 2012), analizar patrones espaciales (Zúñiga-Vásquez et al., 2017; Villar-Hernández et al., 2022) y evaluar áreas quemadas (Briones-Herrera et al., 2020; Manzo-Delgado y López-García, 2020; Briones-

Herrera et al., 2022), así como para relacionar la ocurrencia de incendios con áreas agropecuarias contiguas a los bosques (Flores-Garnica et al., 2021). Sin embargo, el análisis espaciotemporal de los incendios forestales en México sigue siendo limitado (Rodríguez-Trejo et al., 2011; Manzo-Delgado y López-García, 2020; Neger et al., 2022; Zamudio et al., 2023). Más aún, los conceptos relacionados con el régimen de incendios han sido desarrollados principalmente en ecosistemas templados, por lo que se requiere profundizar en su conocimiento en otros ecosistemas, como los tropicales (Cochrane y Ryan, 2009).

Los ecosistemas tropicales, como las selvas, son vulnerables al fuego debido a que las especies vegetales y animales que en ellos habitan poseen una baja adaptabilidad y resiliencia a los efectos adversos de los incendios (Rodríguez-Trejo, 2014). Incendios de intensidad moderada en zonas de selva han demostrado inducir la mortalidad gradual del arbolado, predisponiendo a condiciones que favorecen incendios futuros de mayor intensidad y la colonización por helechos pirófitos (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), lo que dificulta la restauración de las selvas (Rodríguez-Trejo et al., 2011; Baptiste et al., 2019; López-Martínez et al., 2023). Además, posterior a eventos de huracán, se ha observado la ocurrencia de incendios catastróficos en este tipo de ecosistemas.

Este trabajo busca aportar información crucial sobre el régimen de incendios en las selvas, como una base que permita la construcción de herramientas para el manejo efectivo del fuego. A diferencia de trabajos anteriores, basados en el uso de puntos de calor (PC) derivados del sensor MODIS, este estudio también considera polígonos generados a partir de los perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC).

## OBJETIVOS

Analizar el régimen de incendios forestales en el período 2012-2021, mediante los indicadores extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad, así como su integración en un índice espaciotemporal para ejidos ubicados dentro del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197, en el sur de la península de Yucatán.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

La zona de estudio comprende el Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197 (AICA-197), ubicada en la porción sur de la península de Yucatán, entre los estados mexicanos de Quintana Roo y Campeche, con una extensión de 615 674 ha (Fig. 1).

El AICA-197 posee un clima cálido subhúmedo (Aw1; Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2008)

con topofomas predominantes de lomeríos bajos con hondonadas y llanuras rocosas (Inegi, 2001). Los suelos de las partes altas de los lomeríos son Leptosoles caracterizados por ser poco profundos y rocosos, mientras que los Gleysoles, arcillosos e inundables, se presentan en las hondonadas (Inegi, 2007). Predomina la vegetación secundaria arbórea de selva mediana subperennifolia y de selva baja espinosa subperennifolia, así como usos del suelo con fines agropecuarios (Inegi, 2018).

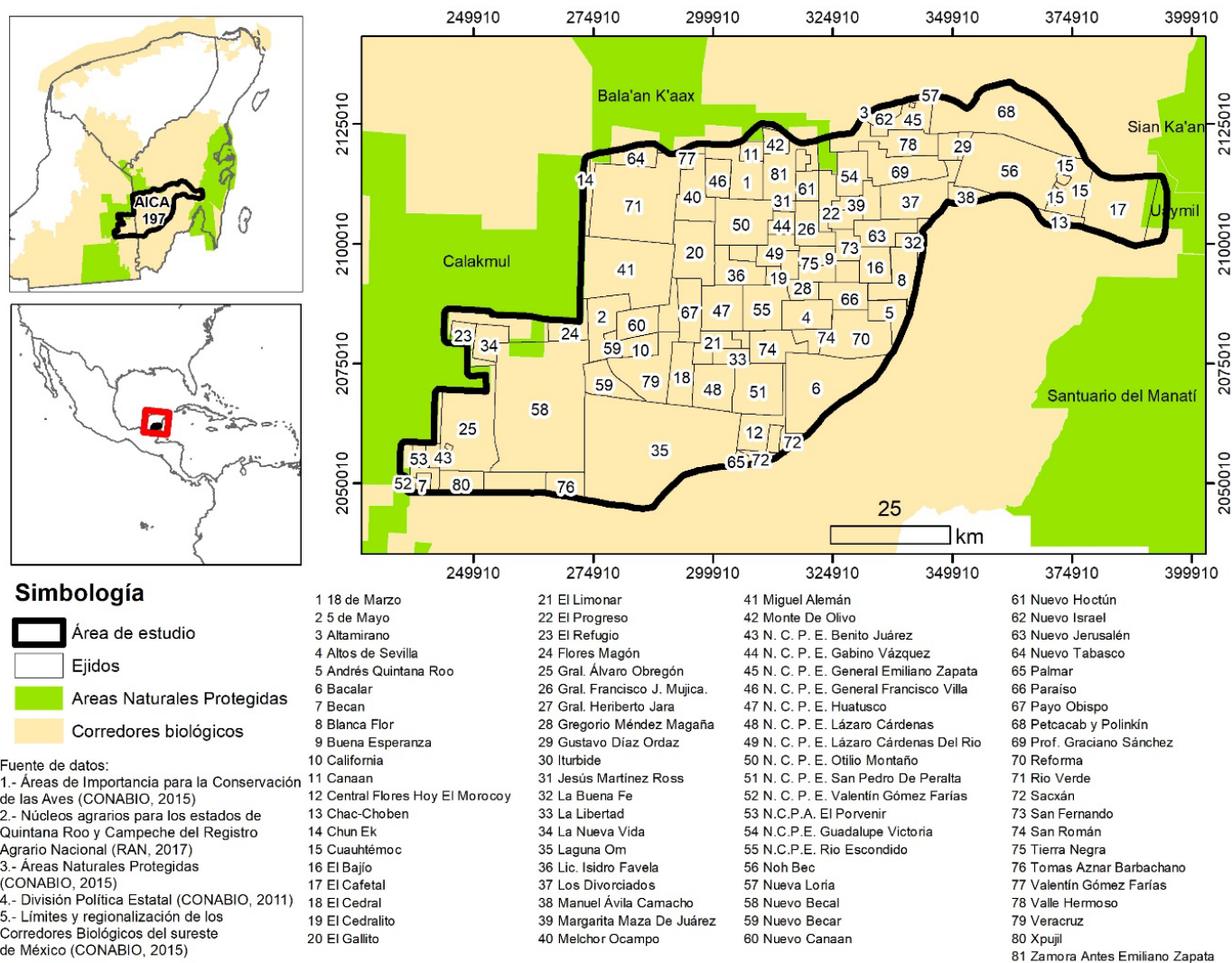


FIGURA 1. Ubicación del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197 y su relación espacial con ejidos, áreas naturales protegidas y corredores biológicos.

El AICA-197 forma parte del corredor biológico Calakmul-Sian Ka'an, que conecta a cinco áreas naturales protegidas (ANP), cuatro de las cuales son de jurisdicción federal (i.e., Reserva de la Biósfera Calakmul, Reserva de la Biósfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Bala'an K'aax, y Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil) y una de jurisdicción estatal (i.e., Reserva Estatal Santuario del Manatí). A pesar de su relevancia como corredor biológico, las actividades socioeconómicas que ahí se realizan han provocado el deterioro del capital natural, a través de procesos de deforestación de selvas para el establecimiento de pastizales, agricultura de temporal y colonización humana, los cuales se relacionan con la ocurrencia de incendios forestales (Díaz-Gallegos et al., 2008; Rodríguez-Trejo et al., 2011; Ellis et al., 2017; Huchin-Ochoa et al., 2022).

### Métodos y tratamiento de datos

Se emplearon puntos de calor (PC) y perímetros de conglomerados de puntos de calor (PCPC) históricos anuales, correspondientes al período 2012-2021 del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México (Comisión Nacional Forestal, s/f). Los PC provienen de los sensores MODIS y VIIRS con resolución espacial de 1000 m y 375 m, respectivamente, a partir de los cuales se obtienen los PCPC mediante estimación rápida por interpolación automática (Briones-Herrera et al., 2020). Los PCPC fueron considerados como eventos de incendio, ya que cada perímetro representa un área con registros de PC ocurridos en fechas próximas entre sí.

El polígono del AICA 197 se obtuvo de la capa de Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2015). Este polígono fue ampliado en un kilómetro hacia su exterior, mediante la generación de un *buffer* a fin de considerar un área de influencia, resultando en un área de análisis de 670 000 ha. Asimismo, se obtuvieron las capas perimetrales de núcleos agrarios para los estados de Quintana Roo y Campeche del Registro Agrario Nacional [RAN] (2017). Estas capas se unieron y la capa resultante se recortó con base en el

polígono del área de estudio, quedando seleccionados de manera parcial o total 81 ejidos. La superficie ejidal del área de estudio fue de 618 332 ha (92.3%) y el resto (7.7%) correspondió a otro tipo de propiedad. Por último, se empleó como unidad de análisis espacial a los ejidos, debido a la forma de organización y manejo de su entorno, producto de sus antecedentes cultural e histórico y el aporte a posibles variables explicativas vinculadas con la ocurrencia de incendios forestales (Ríos-Quiroz et al., 2021).

Para el análisis espacio temporal de incendios forestales se calcularon cuatro indicadores descriptores del régimen de incendios: extensión (AQ<sub>r</sub>), frecuencia (F), recurrencia (REC) y estacionalidad (EST), los cuales se agruparon en un índice espaciotemporal de incendios forestales (IETIF). Dicho análisis se hizo con dos enfoques espaciales considerando: i) la totalidad del área de estudio y ii) los ejidos. Para este último enfoque, se separó la información por cada polígono ejidal a fin de definir una clasificación de los ejidos con diferentes niveles de afectación por incendios forestales.

Los indicadores descriptores se consideraron y calcularon de la siguiente manera:

**a) Extensión.** El número de incendios (número de PCPC) y superficies por año se obtuvo mediante geoprocésamiento con ArcGis 10.8®. Únicamente se consideraron PCPC con extensión mayor a 4 ha, aplicando el criterio de área mínima cartografiable para la escala de 1:50 000 (Priego et al., 2010). El indicador de extensión (AQ<sub>r</sub>) corresponde al porcentaje de superficie quemada a escala ejidal, el cual se calculó conforme a la ecuación 1 considerando la superficie de los PCPC dentro del ejido  $x$  (AQ<sub>x</sub>) para el período 2012–2021 con respecto a la superficie de cada ejido (A<sub>x</sub>) dentro del área de estudio:

$$AQ_r = \left( \frac{AQ_x}{A_x} \right) \times 100 \quad (1)$$

**b) Frecuencia de incendios.** La frecuencia se consideró como el número de incendios en un mismo sitio o polígono durante el período de estudio (adaptado de Gutiérrez Martínez et al., 2018). Para ello, se unieron las capas anuales



de PCPC (2012-2021) con lo que se obtuvieron polígonos con diferentes combinaciones de años con incendios, posteriormente se agruparon por frecuencia de incendios, se contabilizaron y se sumaron sus superficies para cada frecuencia.

**c) Recurrencia de incendios.** La recurrencia se expresó como el número de años transcurridos entre dos incendios consecutivos en un mismo sitio para la década de 2012 – 2021 (adaptado de Gutiérrez Martínez et al., 2018). Para ello, se extrajeron los años en que ocurrieron incendios, de cada polígono de la capa unión de PCPC (2012 - 2021) y se obtuvo la diferencia entre pares de años consecutivos.

**d) Estacionalidad de incendios.** La estacionalidad se expresó como el número de meses de ocurrencia de incendios. Para este caso se utilizaron las capas de PC anuales, a las que se les extrajeron las fechas y se contabilizaron los PC por mes, con lo que se construyeron gráficas de frecuencias anuales y para el período 2012-2021. Para el análisis por ejido, se realizó la unión de las capas de PC anuales con la capa de ejidos y se contabilizó el número de meses en los que ocurrieron incendios durante el período estudiado para cada ejido.

Para el establecimiento del IETIF, se construyó una matriz con los cuatro indicadores (AQr, F, REC y EST), cuyos valores se estandarizaron a escala de 0-1, mediante el método de transformación lineal por intervalo (norma-

lización Min-Max) (Muhammad Ali, 2022), de acuerdo con la ecuación 2.

$$X_{est} = \frac{(X_i - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (2)$$

donde:

$X_{est}$  : valor estandarizado de un indicador

$X_i$  : valor original del indicador

$X_{min}$  y  $X_{max}$  : valor mínimo y máximo observados del indicador, respectivamente

Los valores estandarizados de los cuatro indicadores fueron promediados para obtener el IETIF para cada ejido, conforme a la ecuación 3.

$$IETIF = \frac{AQr_{est} + F_{est} + REC_{est} + EST_{est}}{4} \quad (3)$$

donde  $AQr_{est}$ ,  $F_{est}$ ,  $REC_{est}$  y  $EST_{est}$  son los valores estandarizados correspondientes.

Los valores estandarizados de los indicadores como los del IETIF se clasificaron en cinco niveles mediante la división de la escala 0-1 en intervalos iguales, asignándose las siguientes categorías: a) muy bajo, b) bajo, c) medio, d) alto y e) muy alto (Tabla 1) (Flores-Garnica y Flores-Rodríguez, 2020).

TABLA 1. Nivel, intervalo de valores estandarizados y valores absolutos de los indicadores de extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad para el Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197.

Nivel	Val. St.	AQx	Frec.	Rec.	Est.
Muy Bajo	0.000 – 0.199	≤ 8.6%	≤ 1	4.32 ≤ y 0	0 – 2
Bajo	0.200 – 0.399	8.7% – 17.2%	2	3.63 - 4.31	3 – 4
Medio	0.400 – 0.599	17.3% – 25.8%	3	2.94 - 3.62	5 – 6
Alto	0.600 – 0.799	25.9% – 34.4%	4	2.25 - 2.93	7 – 8
Muy alto	0.800 – 1	≥ 34.5%	≥ 5	1.56 - 2.24	≥ 9

Val. St.: intervalo de valores estandarizados; AQx: porcentaje de superficie de los PCPC en el período 2012 – 2021 de cada ejido con respecto a la superficie total de cada ejido dentro del área de estudio; Frec.: número de incendios ocurridos en un mismo polígono en el período 2012 – 2021; Rec.: número de años transcurridos entre la ocurrencia de dos incendios consecutivos en un mismo polígono en el período 2012 – 2021; Est.: número de meses en los que ocurrieron incendios en el período 2012-2021.

Los valores de los indicadores estandarizados cercanos a cero indican baja proporción de superficie afectada, baja frecuencia, alta recurrencia (muchos años entre eventos o sin repetición) y ocurrencia en pocos meses del año. Por el contrario, los valores cercanos a uno indican alta proporción de superficie afectada, alta frecuencia, baja recurrencia y ocurrencia durante la mayor parte del año. Así, los valores del IETIF cercanos a cero indican baja presión por incendios en el ejido, mientras que valores cercanos a uno indican alta presión por incendios forestales. Finalmente, se elaboraron mapas de clasificación por semaforización de los ejidos de acuerdo con los cinco niveles establecidos, tanto de los cuatro indicadores calculados como del IETIF.

## RESULTADOS

### Indicadores espaciotemporales

Durante el período estudiado (2012–2021), se presentaron 811 incendios forestales en superficies mayores a 4 ha

(Tabla 2) que representan 9% de la superficie incluida en el análisis (60 917.7 ha). Alrededor de 44 526 ha se quemaron solo una vez, mientras que 16 392 ha tuvieron una frecuencia de incendios mayor (Fig. 2a). Al sumar las superficies de los incendios anuales del período, la cifra asciende a ~80 122 ha (12%).

La mayoría de los incendios (686) ocurridos en el área tuvo una cobertura menor a 100 ha (Tabla 2; Fig. 2b). No obstante, los años con mayor superficie anual de incendios forestales fueron 2013 (15 494.9 ha), 2015 (18 088.7ha) y 2017 (15 026.8ha). En contraste, los años con menor superficie incendiada fueron 2012 (525.7 ha) y 2014 (499.1 ha). Se identificó un patrón de alternancia de años con superficie de incendios forestales anual pequeña (< 6000 ha) y grande ( $\geq$  6000 ha), excepto 2019 y 2020 que presentaron superficie anual grande de forma consecutiva (Tabla 2; Fig. 2b).

TABLA 2. Superficie incendiada y número de incendios por clase de tamaño y por año en el período 2012-2021 en el Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197.

Tamaño (ha)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
Muy pequeño (4 a 99)	25	79	22	82	54	92	51	151	75	55	686
Pequeño (100 a 499)	-	14	1	21	11	17	5	11	10	3	93
Mediano (500 a 999)	-	5	-	1	3	2	-	2	2	-	15
Grande (1000 a 1999)	-	4	-	1	-	4	1	1	-	-	11
Muy grande ( $\leq$ 2000)	-	-	-	3	-	1	-	1	1	-	6
Total en el año	25	102	23	108	68	116	57	166	88	58	811
Superficie incendiada ( $1 \times 10^3$ ha)	0.5	15.5	0.5	18.1	5.1	15.0	3.3	11.5	9.1	1.6	0.5

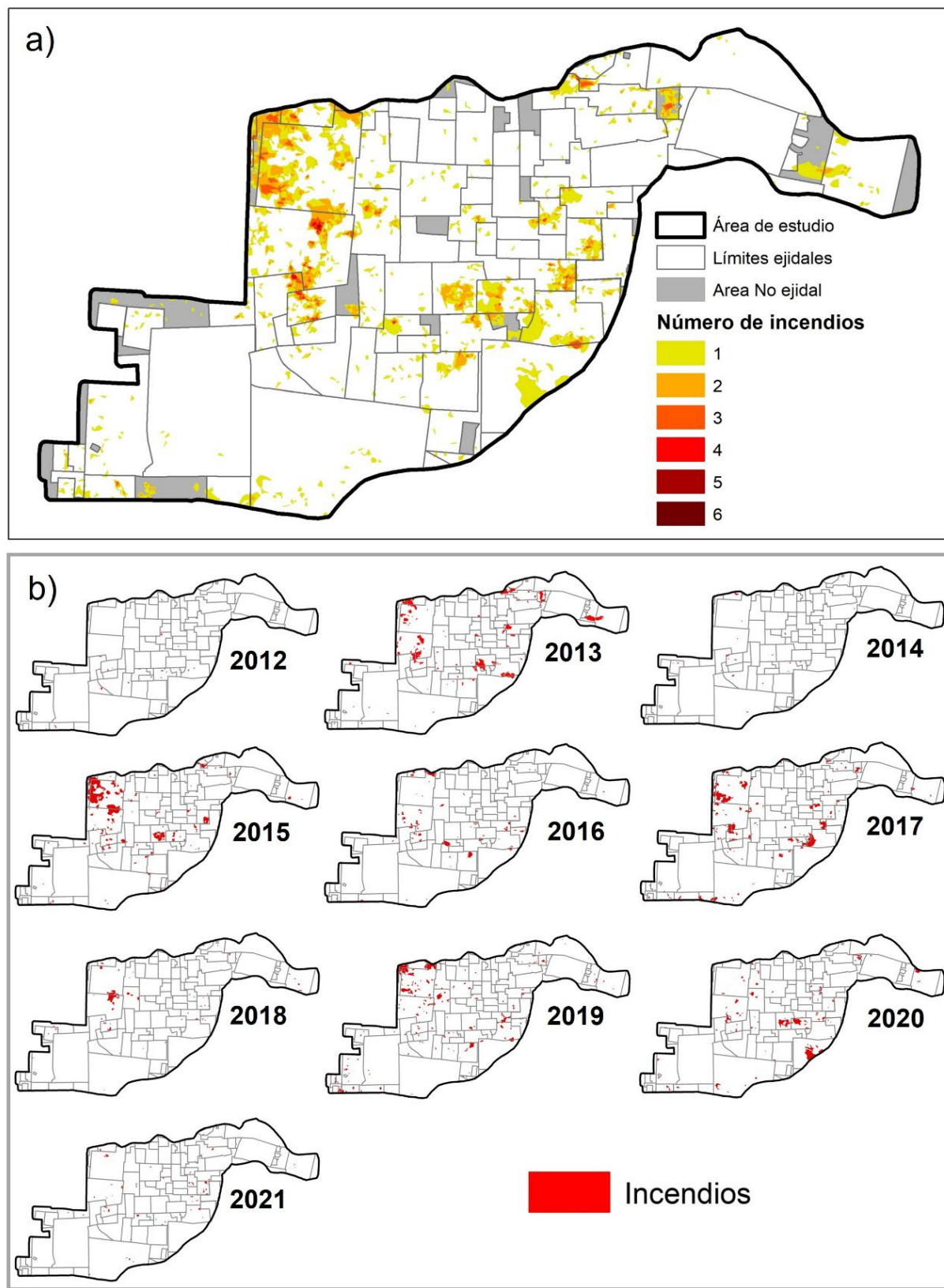


FIGURA 2. Número de incendios forestales registrados en los ejidos del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197 para el período 2012 – 2021 (a) y área incendiada por año (b).

A escala ejidal, Chun Ek, Río Verde, Altos de Sevilla y Nuevo Tabasco (zonas noroeste y centro-este) presentaron nivel muy alto de extensión de incendios ( $AQ_r \geq 34.5\%$ ) en el período estudiado. Los ejidos Paraíso, El Bajío, Nuevo Canaan y N.C.P.E. Río Escondido estuvieron en nivel alto ( $AQ_r = 25.9-34.4\%$ ), mientras que algunos ejidos con nivel muy bajo ( $AQ_r \leq 8.6\%$ ) fueron El Cafetal, Xpujil, Becan y La Libertad. Cabe destacar que en 2015 en el ejido Río Verde, Quintana Roo se presentó el incendio de mayor extensión, abarcando una superficie de 4377.5 ha, además se registraron otros dos incendios con una extensión  $\geq 2000$  ha mayormente (66%) distribuidos en el mismo ejido (Fig. 2b). Aunado a lo anterior, se registraron 18 incendios de diferentes extensiones en el ejido Río Verde, dando una superficie quemada de 8095 ha. Otros ejidos que presen-

taron incendios  $\geq 2000$  ha fueron Altos de Sevilla (en el año 2013), Reforma (en 2017) y Bacalar (en 2020). Por otra parte, los ejidos Altamirano, Gral. Heriberto Jara, Manuel Ávila Camacho y Nueva Loria no presentaron incendios, debido a que su porción dentro del área de estudio fue muy pequeña (Fig. 3).

En relación con la frecuencia de los incendios, alrededor de 53% de los incendios analizados se presentaron sin repetición espacial en el mismo sitio en el período 2012-2021. De la misma forma, 73% de la superficie incendiada posee frecuencia unimodal. Pese a lo anterior, la media de la frecuencia de incendios fue de 1.66 para el número de polígonos analizados y de 1.32 para sus superficies. La frecuencia máxima obtenida fue de seis incendios y el polígono donde se presentó ocupó una superficie de siete hectáreas.

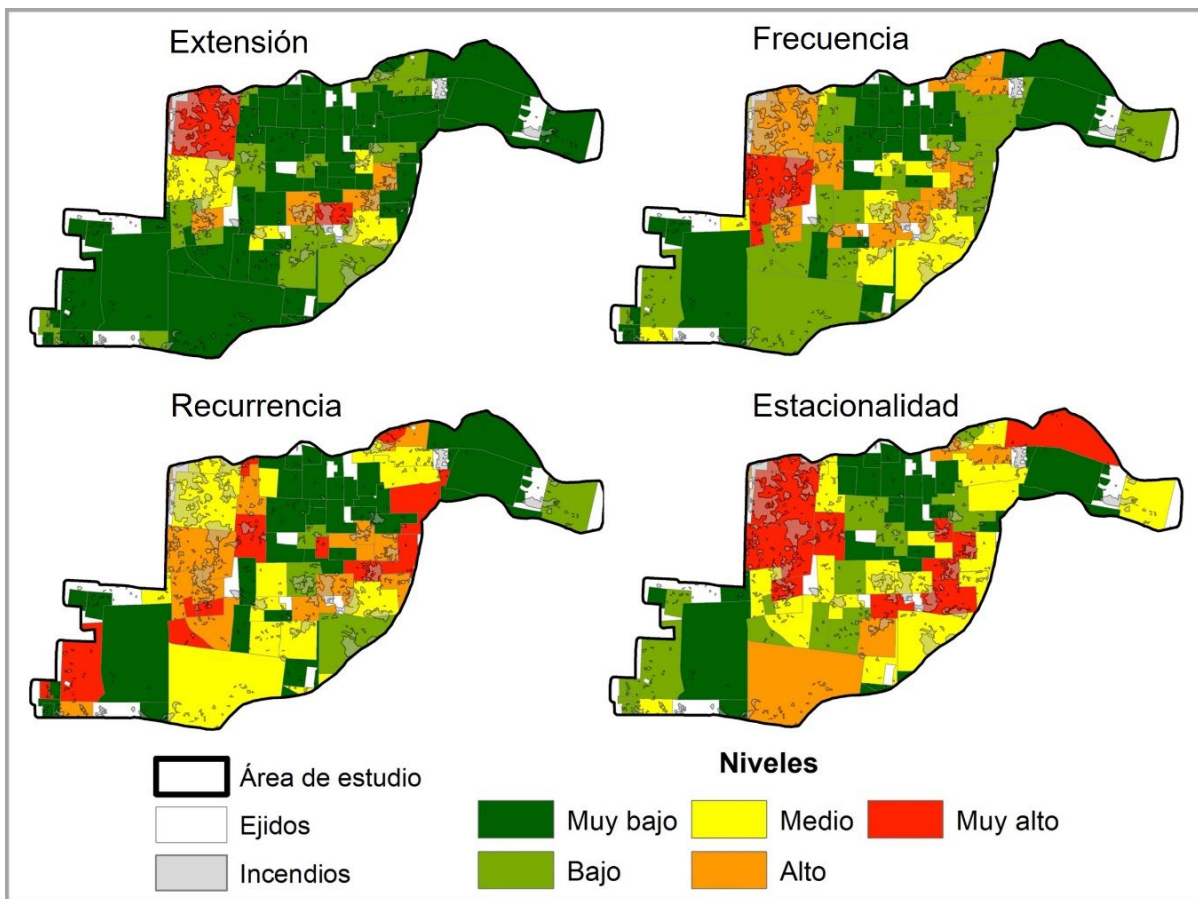


FIGURA 3. Distribución espacial de niveles de extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad de incendios forestales en ejidos ubicados dentro del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197, para el período 2012-2021.



Los ejidos Miguel Alemán y Cinco de Mayo (zona centro-oeste) presentaron frecuencia de incendios muy alta ( $Freq \geq 5$ ), dentro del AICA-197. Ejidos como Altos de Sevilla, California, El Bajío, Río Verde y Valle Hermoso presentaron frecuencia alta ( $Freq=4$ ). Los ejidos que presentaron muy bajo nivel de frecuencia ( $\leq 1$ ) fueron Noh Bec, Nuevo Becal y Petcacab y Polinkin (Fig. 3).

La recurrencia entre dos incendios consecutivos en 2012-2021 presentó una moda de dos años; esto es, en la mayoría de las áreas con una frecuencia de incendios  $>1$ , el segundo evento ocurrió en un intervalo de dos años. De la misma forma, la media fue de 2.7 años, de acuerdo con el cálculo realizado con el número de polígonos, y de 2.3 años por la superficie que sumaron dichos polígonos. Algunos ejidos con nivel de recurrencia muy alto ( $< 2$  años) fueron California y El Gallito; con nivel alto (2.25 años – 2.93 años) San Fernando, Miguel Alemán y Altos de Sevilla; y con nivel

muy bajo ( $> 4.32$  años), los ejidos Gustavo Díaz Ordaz, Iturbide y Nuevo Jerusalén (Fig. 3).

Respecto a la estacionalidad de incendios, se identificó una tendencia con 83.6% de ocurrencia de incendios en los meses de marzo a mayo, con un pico máximo (4604 PC) en este último mes. También, se identificaron dos años cuyo patrón difiere del resto: i) 2017, cuando la temporada de incendios se estableció desde el inicio del año y alcanzó máximos en marzo y abril, y ii) 2019, cuyos incendios se distribuyeron en un rango más amplio, con picos en abril y junio (Fig. 4).

Por último, la estacionalidad de incendios más alta (11 meses) se presentó en los ejidos El Bajío, El Gallito y Nuevo Canaán. En Chun Ek, Laguna Om, N.C.P.E. San Pedro Peralta y Valle Hermoso, la estacionalidad fue alta (7 meses), mientras que algunos de los ejidos que presentaron muy baja (1 mes) fueron Noh Bec, Canaán y Chac-Choben (Fig. 3).

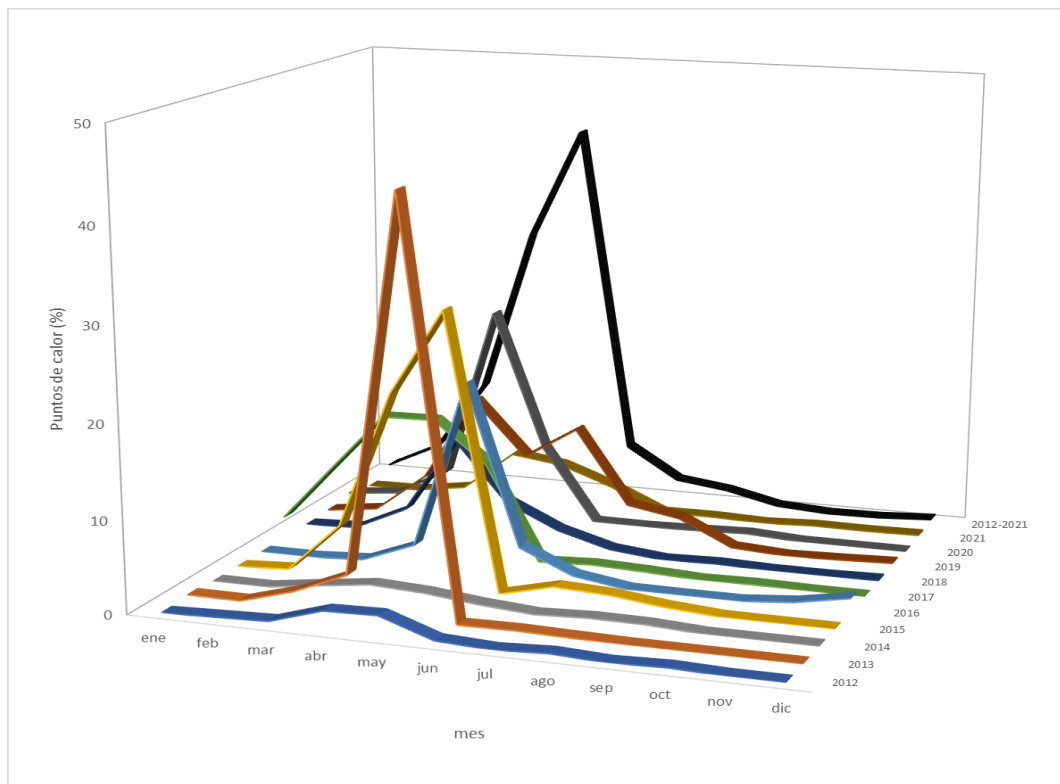


FIGURA 4. Estacionalidad de incendios forestales por año y para la década 2012-2021 del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197.

### Índice espaciotemporal de incendios forestales

De manera general, se identificaron cuatro zonas críticas de incendios forestales, de las cuales, dos fueron de mayor magnitud (noroeste y centro-este) al presentarse ejidos con niveles de IETIF medio a muy alto, y dos con niveles medios (norte y suroeste). El ejido con muy alto nivel de IETIF fue Río Verde y algunos con nivel alto fueron Paraíso, Nuevo Tabasco, Nuevo Canaán, el Bajío y Miguel Alemán, mientras que con nivel muy bajo de IETIF fueron N. C. P. E. Gabino Vázquez, Lic. Isidro Favela, El Progreso, Noh Bec y 18 de marzo (zonas centro-norte y noreste) (Fig. 5).

### DISCUSIÓN

La proporción del área de estudio afectada por incendios forestales (9%) fue similar a la encontrada por Manzo-Delgado y López-García (2020) (11%) en selvas húmedas de la Reserva de la Biosfera Montes Azules y su zona de influencia, en Chiapas, sureste de México, en los años 1998, 2003 y 2015, en una superficie de 770.341 ha. Estos autores también observaron que pocos incendios superaron las 1000 ha, similar a los resultados de este trabajo, lo cual coincide con lo documentado por Gutiérrez-Martínez et al. (2018) y Zamudio et al. (2023) para otros ecosistemas como una asimetría en la distribución de las extensiones.

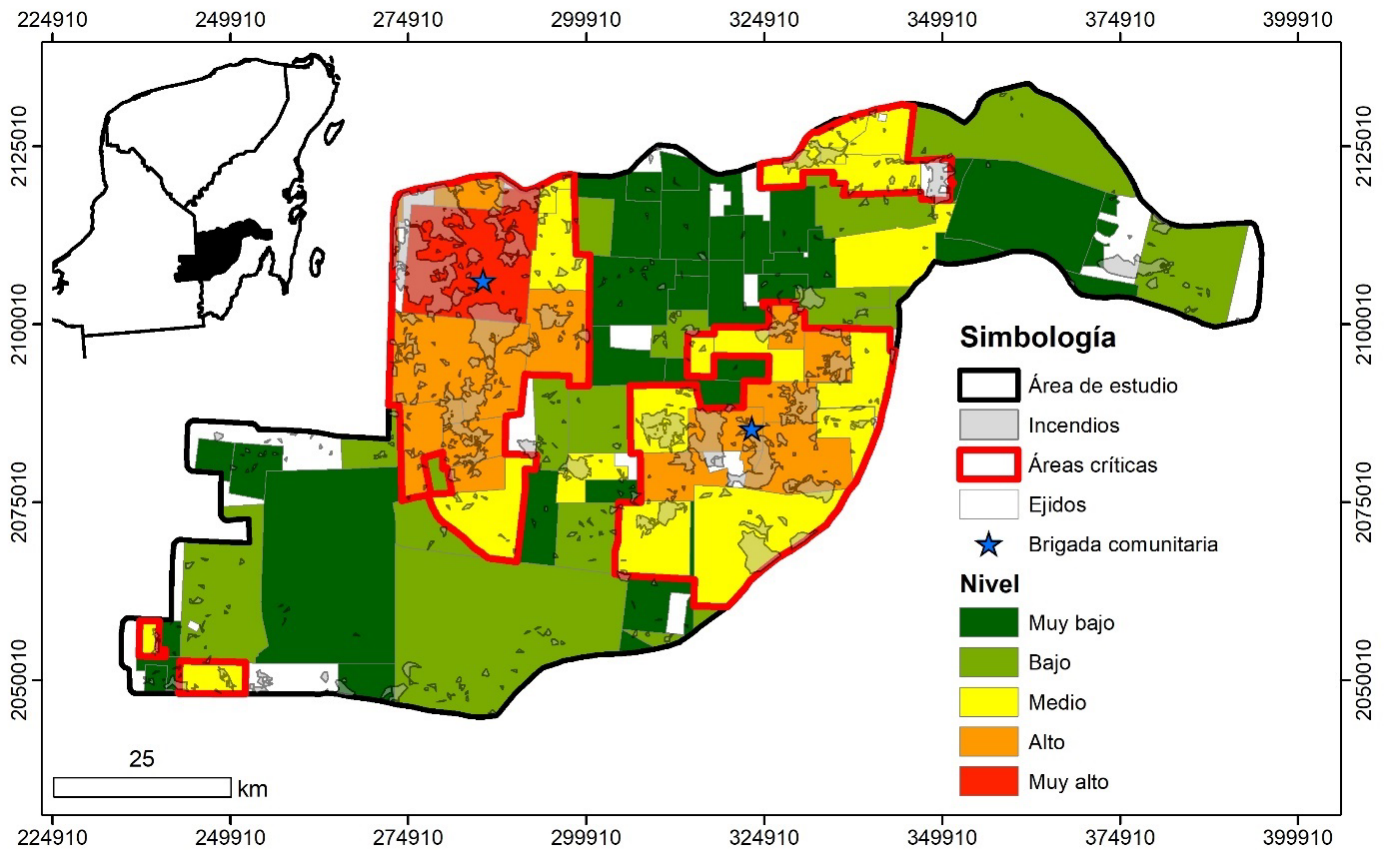


FIGURA 5. Niveles del índice espaciotemporal de incendios forestales (IETIF) en ejidos ubicados dentro del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197, para el periodo 2012 – 2021.

Se delimitan en rojo las áreas críticas y se señalan con estrellas azules los centros de población de los ejidos Altos de Sevilla y Río Verde.



En cuanto a la distribución espacial, se identificó un patrón de agregación en zonas críticas con incendios de mayor extensión ( $\geq 2000$ ), a diferencia de otras áreas con incendios más pequeños ( $< 100$  ha). Similar a esto, Manzo-Delgado y López-García (2020) señalaron agregación de incendios en áreas asociadas a uso agropecuario y con vegetación secundaria. Este comportamiento de los incendios forestales se alinea con patrones encontrados por Carrillo-García et al. (2012), Pérez-Verdín et al. (2013), Flores-Garnica et al. (2021), Villar-Hernández et al. (2022) y Zúñiga-Vásquez et al. (2017) para diferentes estados y a escala nacional en México, utilizando técnicas de geostatística.

En relación con lo anterior, se ha documentado que la mayoría de los incendios forestales que ocurren en México son originados por actividades antrópicas, como las agrícolas y ganaderas, en las que el fuego es empleado para preparar las tierras (Flores-Garnica et al., 2021), espe-

cialmente en ecosistemas tropicales húmedos (Tyukavina et al., 2022). Estas características son comunes en los ejidos que presentaron niveles muy altos de extensión de incendios (Chun Ek, Río Verde, Altos de Sevilla y Nuevo Tabasco) en el presente trabajo (Fig. 6).

Por otro lado, los años con mayores extensiones de incendios, como 2015, están asociados con el fenómeno de El Niño Oscilación Sur intenso (Servicio Meteorológico de Golden Gate, 2024), similar a lo ocurrido en el año 1998 y 2003 en otras selvas de México (Maldonado-Méndez et al., 2009; Manzo-Delgado y López-García, 2020). Lo anterior se confirma con datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2023) que señalan que 2015 fue un año seco (1050 mm de precipitación anual) y fue precedido de un año lluvioso (2014: 1630 mm), esta situación promovió la generación de gran cantidad de biomasa que posteriormente se convirtió en combustible.



FIGURA 6. Imagen aérea que muestra una vista panorámica de un área afectada por un incendio dentro del Área de Importancia para la Conservación de las Aves 197.

Se observan áreas de pastizal cultivado quemados y sin quemar, así como áreas de selvas secundarias parcialmente siniestradas por el fuego.

En términos de frecuencia, se obtuvo que 73% de la superficie incendiada en el AICA-197 presentó solo un incendio durante el período analizado, respaldando la hipótesis de la baja frecuencia de incendios en selvas (Rodríguez-Trejo, 2008). Sin embargo, debido a la sustitución de coberturas naturales por pastizales, el régimen de incendios se ha modificado (Rodríguez-Trejo, 2014), lo que incrementa su frecuencia y recurrencia, como lo encontrado en ejidos con actividad agropecuaria preponderante, Río Verde, Miguel Alemán y Cinco de Mayo. Estos ejidos fueron formados por inmigrantes de otros estados mexicanos en la década de 1970 con una limitada cultura de manejo del fuego (Ellis et al. 2017; Huchin-Ochoa et al, 2022).

La recurrencia alta se atribuye a que las selvas quemadas tienen mayor probabilidad de repetición de incendios en años siguientes. Esto es consecuencia de la apertura del dosel por la mortalidad de árboles y la invasión de especies inflamables (i.e. *Pteridium aquilinum*), dificultando la recuperación de la selva y aumentando el peligro de incendios (Rodríguez-Trejo, 2014; Baptiste et al., 2019; López-Martínez et al., 2023), como pudiera ocurrir en ejidos como Río Escondido, Altos de Sevilla, Río Verde y Miguel Alemán, que presentan áreas degradadas por el fuego e invadidas por *P. aquilinum*.

La temporada de incendios forestales se enfatizó en los meses más secos y cálidos (i.e. marzo a mayo), lo cual se corroboró con datos del SMN (2023), que señalan que dichos meses presentaron entre 2% y 8% de la precipitación anual y temperatura media entre 26.8 °C y 28.9 °C. Lo anterior también concuerda con lo que establecen Pérez-Verdín et al. (2013), Gutiérrez Martínez et al. (2018) y Flores-Garnica et al. (2021), en referencia a que los factores meteorológicos, así como los factores socioeconómicos, influyen en la temporada de incendios debido a que en la época seca se realizan las labores de preparación de tierras agropecuarias que utilizan fuego.

Cabe destacar que ejidos con manejo forestal, como Noh Bec, Petcacab, Nuevo Becal y Laguna Om, presentaron bajos niveles de IETIF, manteniendo selvas relativamente conservadas, que guardan combustibles

pesados y húmedos todo el tiempo, donde el fuego difícilmente se propaga (Gutiérrez Martínez et al., 2018; Briones-Herrera et al., 2019). Además, el manejo forestal promueve la organización social para la prevención y combate de incendios (Pérez-Verdín et al., 2013).

Los insumos utilizados (i.e. PC y PCPC), son relevantes para analizar la dinámica espaciotemporal de los incendios forestales a una mesoescala. En particular, la incorporación de los ejidos como unidades espaciales permitió identificar patrones territoriales en el régimen de incendios que no serían evidentes mediante enfoques más generales.

Una ventaja destacable de la metodología empleada es el uso de datos de libre acceso, lo que facilita tanto su manejo como su replicabilidad. Además, estos insumos complementan la información recopilada en campo por la Conafor, la cual presenta limitaciones en términos de cobertura espacial y precisión (Zúñiga-Vásquez et al., 2017). Sin embargo, una de las principales limitaciones del enfoque es la baja resolución espacial de los sensores utilizados: MODIS (1000 m) y VIIRS (375 m), lo que restringe la precisión en la delimitación de las áreas quemadas. Frente a ello, una alternativa sería la incorporación de imágenes satelitales de mayor resolución, como las proporcionadas por el sensor Sentinel-2 (10 m – 20 m), que permiten una caracterización más detallada del patrón espacial de los efectos del fuego (Warner et al., 2017).

Pese a estas limitaciones, el análisis de las características espaciales y temporales de los incendios, integradas en el IETIF, permitió jerarquizar unidades territoriales (ejidos), las cuales fueron representadas cartográficamente. Esta jerarquización facilitó la detección de zonas con alta vulnerabilidad a incendios, lo que permite priorizar acciones de restauración, vigilancia y protección, apoyando de esta manera a la conservación de las áreas forestales.

Se espera que la aplicación de estas técnicas en la planificación territorial y en la asignación eficiente de recursos contribuya al diseño de estrategias para el manejo adaptativo, que, a su vez, consideren las peculiaridades locales del uso del fuego. Esto podría favorecer la



conservación de áreas forestales y el mantenimiento de regímenes de fuego compatibles con los ecosistemas (Cochrane y Ryan, 2009; Jardel et al., 2014).

## CONCLUSIONES

El análisis del régimen de incendios forestales en el período 2012–2021, mediante los indicadores de extensión, frecuencia, recurrencia y estacionalidad, permitió identificar patrones significativos en la dinámica del fuego dentro del AICA 197, al sur de la península de Yucatán. La integración de estos indicadores en un índice espaciotemporal (IETIF) facilitó la evaluación comparativa entre ejidos, señalando áreas con distintos niveles de afectación y vulnerabilidad.

La variabilidad del IETIF entre ejidos estuvo vinculada al uso del suelo. Ejidos que han mantenido estrategias de conservación y manejo forestal mostraron niveles de afectación muy bajos a bajos, mientras que aquellos con actividades agropecuarias predominantes o zonas invadidas por *Pteridium aquilinum* registraron niveles de afectación de medio a muy alto. Esta información resulta clave para orientar acciones focalizadas de restauración y prevención.

A pesar de la baja resolución espacial de los sensores MODIS y VIIRS, la combinación de sus datos con unidades territoriales ejidales, mediante técnicas de análisis espacial, demostró ser una herramienta útil para evaluar y jerarquizar el impacto de los incendios forestales. Su aplicación puede apoyar la toma de decisiones informadas en el diseño de estrategias de manejo integral del fuego, tanto a escala local como regional.

## RECONOCIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por la beca de doctorado proporcionada al primer autor. Al Programa de doctorado en Geografía de la Universidad Autónoma del estado de Quintana Roo por permitir el desarrollo de la presente investigación en el marco de los estudios de doctorado del primer autor. Al M. C. Juan Antonio Álvarez Trinidad, por su asesoría en el análisis estadístico de los datos.

## REFERENCIAS

- Baptiste, J. A., Macario, P. A., Islebe, G. A., Vargas-Larreta, B., Pool, L., Valdez-Hernández, M., & López-Martínez, J. O. (2019). Secondary succession under invasive species (*Pteridium aquilinum*) conditions in a seasonal dry tropical forest in southeastern Mexico. *PeerJ*, 7, e6974. <https://doi.org/10.7717/peerj.6974>
- Briones-Herrera, C. I., Vega-Nieva, D. J., Monjarás-Vega, N. A., Flores-Medina, F., Lopez-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Carrillo-Parra, A., Pulgarín-Gámiz, M. Á., Alvarado-Celestino, E., González-Cabán, A., Arellano-Pérez, S., Álvarez-González, J. G., Ruiz-González, A. D., & Jolly, W. M. (2019). *Modeling and mapping forest fire occurrence from aboveground carbon density in Mexico*. *Forests*, 10(5), 402. <https://doi.org/10.3390/f10050402>
- Briones-Herrera, C. I., Vega-Nieva, D. J., Briseño-Reyes, J., Monjarás-Vega, N. A., López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Alvarado, E., Arellano-Pérez, S., Jardel-Peláez, E. J., Pérez-Salicrup, D. R., & Jolly, W. M. (2022). Fuel-specific aggregation of active fire detections for rapid mapping of forest fire perimeters in Mexico. *Forests*, 13(1), 124. <https://doi.org/10.3390/f13010124>
- Briones-Herrera, C. I., Vega-Nieva, D. J., Monjarás-Vega, N. A., Briseño-Reyes, J., López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Alvarado-Celestino, E., Arellano-Pérez, S., Álvarez-González, J. G., Ruiz-González, A. D., Jolly, W. M., & Parks, S. A. (2020). Near real-time automated early mapping of the perimeter of large forest fires from the aggregation of VIIRS and MODIS active fires in Mexico. *Remote Sensing*, 12(20), 2061. <https://doi.org/10.3390/rs12122061>
- Carrillo-García, R. L. C., Rodríguez-Trejo, D. A., Tchikoué, H., Monterroso-Rivas, A. I., & Santillán-Pérez, J. (2012). Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. *Interciencia*, 37(9), 678–683.
- Chuvieco, E., Mouillot, F., van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I., Heil, A., Hawbaker, T. J., & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45–64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>
- Chuvieco, S. E. (2009). Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 173–181. <https://rac.es/ficheros/doc/00917.pdf>
- Cochrane, M. A., & Ryan, K. C. (2009). Fire and fire ecology: Concepts and principles. En M. A. Cochrane (Ed.), *Tropical fire ecology. Climate change, land use, and ecosystem dynamics* (pp. 25–62). Springer-Praxis.

- Comisión Nacional Forestal (s/f). *Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales [SPPIF]*. <http://forestales.ujed.mx/incendios2>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]. (2015). *Áreas de importancia para la conservación de las aves, 2015, escala: 1:250000*. Sección Mexicana del Consejo Internacional para la Preservación de las Aves-CONABIO. <http://geoportall.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/aicas15gw.html>
- Díaz-Delgado, D., & Ruíz-Ramos, J. (2019). La teledetección en la caracterización del régimen de incendios y de los efectos sobre la vegetación. En F. García-Novo, M. Casal, & J. G. Pausas (Eds.), *Ecología de la regeneración de zonas incendiadas* (pp. 131–146). Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía – ACSYMA. <https://oro.open.ac.uk/59612/7/59612.pdf>
- Díaz-Gallegos, J. R., Mas, J. F., & Velázquez-Montes, A. (2008). Monitoreo de los patrones de deforestación en el Corredor Biológico Mesoamericano, México. *Interciencia*, 33(12), 882–890. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913804>
- Ellis, E. A., Hernández-Gómez, I. U., & Romero-Montero, J. A. (2017). Processes and causes of forest cover change in the Yucatan Peninsula. *Ecosistemas*, 26(1), 101–111. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-1.16>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 - Informe principal*. <https://doi.org/10.4060/ca9825es>
- Flores-Garnica, J. G., & Flores-Rodríguez, A. G. (2020). Análisis comparativo del número e intervalos de clases de riesgo de incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(62), 4–30. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.775>
- Flores-Garnica, J. G., Reyes-Alvarado, A. G., & Reyes-Cárdenas, O. (2021). Relación espaciotemporal de puntos de calor con superficies agropecuarias y forestales en San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(64), 127–145. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i64.857>
- Gutiérrez-Martínez, G., Orozco-Hernández, M. E., Ordóñez-Díaz, J. A. B., & Camacho-Sanabria, J. M. (2018). Régimen y distribución de los incendios forestales en el Estado de México (2000 a 2011). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(29), 92–107. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i29.219>
- Huchin-Ochoa, S. A., Navarro-Martínez, A., Ellis, E. A., & Hernández-Gómez, I. U. (2022). Deforestación en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México durante el período 1993–2017. *Madera y Bosques*, 28(3), e2832396. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2832396>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2001). *Conjunto de datos vectoriales fisiográficos. Continuo Nacional Serie I. Sistema topográficos. Escala 1:1 000 000*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2007). *Conjunto de datos vectorial edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2008). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000 de unidades climáticas*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/#Descargas>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2018). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000, Serie VII. Conjunto Nacional*. Inegi. <https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/#Descargas>
- Jardel, E. J., Pérez-Salicrup, D., Alvarado, E., & Morfín-Ríos, J. E. (2014). *Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: Guía de campo*. Comisión Nacional Forestal. <https://www.gob.mx/publicaciones/es/articulos/principios-y-criterios-para-el-manejo-del-fuego-en-ecosistemas-forestales-guia-de-campo?idiom=es>
- Lim, Ch. H., Kim, Y. S., Won, M., Kim, S. J., & Lee, W. K. (2019). Can satellite-based data substitute for surveyed data to predict the spatial probability of forest fire? A geostatistical approach to forest fire in the Republic of Korea. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 719–739. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1543210>
- López-Martínez, J. O., Sanaphre-Villanueva, L., Macario-Mendoza, P. A., Escobar-López, A., Aragón-Moreno, A. A., Islebe, G. A., & Vargas-Larreta, B. (2023). Identifying alternative stable states in a tropical landscape using remote sensing. *Plant Ecology*, 224, 605–615. <https://doi.org/10.1007/s11258-023-01323-3>
- Maldonado-Méndez, M. L., Rodríguez-Trejo, D. A., Guízar-Nolazco, E., Velázquez-Martínez, J., & Nájuez-Jiménez, S. (2009). Reducción en riqueza de especies arbóreas por incendios en la Reserva Selva El Ocote, Chiapas. *Ciencia Forestal en México*, 34(106), 127–148.
- Manzo-Delgado, L. L., & López-García, J. (2020). Análisis espacial y temporal de áreas quemadas en 1998, 2003 y 2015 en la Reserva de la Biosfera Montes Azules, Chiapas, México. *Bosque*, 41(1), 11–24. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000100011>
- Muhammad Ali, P. J. (2022). Investigating the impact of Min-Max data normalization on the regression performance of K-Nearest Neighbor with different similarity measurements. *ARO - The Scientific Journal of Koya University*, 10(1), 85–91. <https://doi.org/10.14500/aro.10955>



- Murthy, K. K., Sinha, S. K., Kaul, R., & Vaidyanathan, S. (2019). A fine-scale state-space model to understand drivers of forest fires in the Himalayan foothills. *Forest Ecology and Management*, 432, 902–911. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.10.009>
- Neger, C., León-Cruz, J. F., Galicia-Sarmiento, L., & Manzo-Delgado, L. (2022). Dinámica espaciotemporal, causas y efectos de los megaincendios forestales en México. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822453. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822453>
- Pausas, J. G. (2012). *Incendios forestales*. Editorial Catarata y CSIC.
- Pérez-Verdín, G., Márquez-Linares, M. A., Cortés-Ortiz, A., & Salmerón-Macías, M. (2013). Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 19(2), e192339. <https://doi.org/10.21829/myb.2013.192339>
- Priego, S. A. G., Bocco, G., Mendoza, M., & Garrido, A. (2010). *Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisaje*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología - Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental - Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/ciga.9789688179239p.2011>
- Registro Agrario Nacional [RAN]. (2017). *Datos geográficos perimetrales de los núcleos agrarios certificados por estado*. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/datos-geograficos-perimetrales-de-los-nucleos-agrarios-certificados-por-estado>
- Reyes-Bueno, F., & Balcázar-Gallegos, C. (2021). Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 50–60. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634>
- Ríos-Quiroz, D. del C., Castillo-Santiago, M. A., Guízár-Vázquez, F., & Medina-Sanson, L. (2021). Historia y cambios en el paisaje en dos ejidos de la Selva Lacandona, Chiapas. *Cuadernos Geográficos*, 60(2), 236–254. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v60i2.15813>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). Fire regimes, fire ecology and fire management in Mexico. *AMBIO*, 37(7), 548–556. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.548>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de vegetación: Su ecología, manejo e historia*. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, SEMARNAT, Programa de Prevención y Combate de Incendios Forestales, CONAFOR, CONANP, Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl, ANCF, AMPF.
- Rodríguez-Trejo, D. A., Tchikoué, H., Cántora-González, C., Contreras-Aguado, R., & de la Rosa-Vázquez, A. (2011). Modelaje del peligro de incendio forestal en las zonas afectadas por el huracán Dean. *Agrociencia*, 45(5), 593–608.
- Servicio Meteorológico de Golden Gate. (2024). *Años e intensidades de El Niño y La Niña basados en el Índice del Niño Oceánico (ONI)*. <https://ggweather.com/enso/oni.htm>
- Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. (2023). *Normales climatológicas por estado*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>
- Silva, J. J. A. da, Pacheco, A. d. P., Ruiz-Armenteros, A. M., & Henriques, R. F. F. (2023). Evaluation of the ability of SLSTR (Sentinel-3B) and MODIS (Terra) images to detect burned areas using spatial temporal attributes and SVM classification. *Forests*, 14(1), 32. <https://doi.org/10.3390/f14010032>
- Tyukavina, A., Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A. H., Stehman, S. V., Turubanova, S., Parker, D., Zalles, V., Lima, A., Kommareddy, I., Song, X.-P., Wang, L., & Harris, N. (2022). Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 825190. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190>
- van Wees, D., van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Andela, N., Chen, Y., & Morton, D. C. (2021). The role of fire in global forest loss dynamics. *Global Change Biology*, 27(11), 2377–2391. <https://doi.org/10.1111/gcb.15591>
- Villar-Hernández, B. J., Pérez-Elizalde, S., Rodríguez-Trejo, D. A., & Pérez-Rodríguez, P. (2022). Análisis espacio temporal de la ocurrencia de incendios forestales en el estado mexicano de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 120–144. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1274>
- Warner, T. A., Skowronski, N. S., & Gallagher, M. R. (2017). High spatial resolution burn severity mapping of the New Jersey Pine Barrens with WorldView-3 near-infrared and shortwave infrared imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(2), 598–616. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1268739>
- Zamudio, D. A. C., Guerra, B. R., Vázquez, J. L. A., Garnica, J. G. F., Avilés, L. C., Aguilar, R. T., Cantú, D. H. N., Bautista, A. A., Hernández, J. M., Quiroz, D. C., Nava, N. T., & Hernández, R. G. (2023). Trends in global and Mexico research in wildfires: A bibliometric perspective. *Open Journal of Forestry*, 13, 182–199. <https://doi.org/10.4236/ojf.2023.132012>
- Zang, J., Qiu, F., & Zhang, Y. (2024). A global dataset of forest regrowth following wildfires. *Scientific Data*, 11, 1052. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03896-8>
- Zúñiga-Vásquez, J. M., Cisneros-González, D., Pompa-García, M., Rodríguez-Trejo, D. A., & Pérez-Verdín, G. (2017). Modelación espacial de incendios forestales en México: Una integración de dos fuentes de datos. *Bosque*, 38(3), 563–574. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000300014>

Manuscrito recibido el 14 de marzo de 2025

Aceptado el 22 de julio de 2025

Publicado el 31 de octubre de 2025

Este documento se debe citar como:

López-Toledo, J. F., Camacho-Sanabria, J. M., Alcérreca-Huerta, J. C., & Macario-Mendoza, P. A. (2025). Régimen de incendios forestales en ejidos del sur de la península de Yucatán (2012-2021). *Madera y Bosques*, 31, 312671. <https://doi.org/10.21829/myb.2025.312671>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.