Investigaciones Geográficas • Instituto de Geografía • UNAM
eISSN: 2448-7279 • DOI: https://doi.org/10.14350/rig.60488 • ARTÍCULOS
Núm. 108 • Agosto • 2022 • e60488
www.investigacionesgeograficas.unam.mx

# La investigación geográfica de los incendios forestales en México: una perspectiva bibliométrica y territorial

## *Geographical research on forest fires in Mexico: a bibliometric and territorial perspective*

Neger, C.,* Manzo Delgado, L. de L.** y Galicia Sarmiento, L.***

Recibido: 29/10/2021. Aprobado: 26/05/2022. Publicado: 23/06/2022.

**Resumen.** En México se queman anualmente en promedio más de 400 mil hectáreas de vegetación natural, con repercusiones en los ecosistemas y en la sociedad. El presente artículo revisa los enfoques, hallazgos y oportunidades en la investigación geográfica de los incendios forestales en México. El análisis bibliométrico sugiere que los estudios de índole geográfica se han realizado en colaboración con grupos de investigación interdisciplinarios e interinstitucionales. Los resultados desde la perspectiva geográfica indican que los estudios de incendios se han realizado a lo largo y ancho del país, aunque hay una concentración mayor en el extremo noroeste y en el centro de México. Los temas principales de investigación geográfica son: 1) el análisis geoespacial, que se ha enfocado en determinar las zonas afectadas por incendios forestales, estimar las emisiones y elaborar mapas y modelos de riesgo; y 2) la documentación de los regímenes del fuego a partir de la dendrocronología, los sedimentos, y la estructura de la vegetación. En estas dos líneas de estudio se resalta el papel significativo del clima y de las actividades humanas en la incidencia de incendios forestales. En contraste, son escasos los estudios sobre el manejo del fuego desde la Geografía Humana. Aunado a esto, se requiere una mayor integración de los estudios desde las diferentes ramas de la disciplina y una mayor colaboración de geógrafos físicos, humanos y especialistas en el análisis geoespacial.

**Palabras clave:** incendios forestales, manejo del fuego, riesgos socio-ambientales, conservación, análisis de redes bibliométricas

**Abstract.** Forest fires are a phenomenon that impacts the environment and society. They cause severe adverse effects but also play a role in the natural dynamics of ecosystems. Mexico has a significant incidence of forest fires, with an annual average of more than 400 thousand hectares of burned natural vegetation in recent years. The complex merge of social and environmental causes and effects, and their implications in the territory, make forest fires an ideal topic of study from a geographic perspective. The objective of this work was to analyze the approaches, findings, and research opportunities of Geography regarding the territorial dynamics of forest fires in Mexico. This analysis comprised (1) the compilation of advances in geographic studies on the subject, (2) the discussion of the results of these studies and their relevance, and (3) the identification of challenges and opportuni-

* Instituto de Geografía, Geografía Social, UNAM. Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria,. Coyoacán, 04510, CdMx, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5210-5005. Email: neger@geografia.unam.mx. Autor de correspondencia.
** Instituto de Geografía, Laboratorio de Análisis Geoespacial, UNAM. Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria,. Coyoacán, 04510, CdMx, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4833-6497. Email: llmanzo@geografia.unam.mx
*** Instituto de Geografía, Geografía Física, UNAM. Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria,. Coyoacán, 04510, CdMx, México. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5808-6471

ties for future research in this field through a geographic approach.

The methodology consisted of a literature review guided by the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) concept. The SALSA (Search, Appraisal, Synthesis, and Analysis) approach was used to search for information, working with data from the Scopus platform. We considered papers published in geographic journals authored by researchers working in geographic institutions. The selected publications were processed through a bibliometric analysis and content review. The first includes data visualization using graphs, maps created in ArcGIS, and diagrams of scientific collaboration networks developed in the Gephi program.

We identified 41 papers published from 1983 to June 2021. The number of publications has increased in recent years. An increasingly interdisciplinary dynamic is also noted, with publications by academics from other disciplines in geographic journals and articles by geographers jointly with other researchers in non-specialized journals. The disciplines with the largest collaborations are Ecology, Environmental Sciences, Biology, Forest Sciences, Atmospheric Sciences, and Mathematics. This research topic has had an outstanding international orientation, involving scientists from ten countries. Studies have been conducted throughout the country, particularly in central Mexico and the northwest area (Baja California and Sonora). The field most investigated is geospatial analysis (51.3 %), followed by Physical Geography (36.6 %). Meanwhile, Human Geography has been scarcely addressed to date. Analyzing the co-authorship and citation networks, a lack of integration of geographic studies on forest fires in Mexico is observed, especially between studies on Physical and Human Geography.

Geospatial analysis studies have focused mainly on identifying affected areas and hazard modeling using geographic information systems and remote sensing. Additionally, some studies have estimated fire emissions. The primary focus of Physical Geography studies has been the research of fire regimes, mainly using dendrochronological methods. Few studies have also dealt with the effects of fires on the soil and the assessment of forest fuels. Works related to Human Geography have addressed the role of rural communities in fire management, particularly from local case studies.

In conclusion, despite the limited number of geographic studies published in peer-reviewed journals, there are significant contributions and growing interest in this discipline. It is recommended to strengthen geographic studies in this area, consolidate the existing lines of research, and add new approaches through which Geography can make a valuable contribution. Investigating the role of fires in air pollution in large cities, hazard modeling at regional and local levels, the effects of climate change, and the spread of invasive plants is essential. Finally, Geography can make a greater contribution to fire management by leveraging recent advances in this discipline on topics including governance and risk management.

**Keywords:** forest fires, fire management, socio-environmental risks, conservation, bibliometric network analysis

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son uno de los fenómenos de mayor relevancia para entender la dinámica y conservación de los ecosistemas forestales, debido a que pueden causar su degradación y deforestación (Ávila-Flores *et al.*, 2010; Galicia *et al.*, 2014; Bravo *et al.*, 2020), pero también forman parte de los procesos naturales en diversos ecosistemas (Rodríguez-Trejo, 2014). La interrelación de factores humanos y físicos, de causas y efectos ambientales y sociales y sus implicaciones en el territorio hacen de los incendios forestales un tema de estudio idóneo para la geografía. Chuvieco *et al.* (1998, p. 11) expresaron la relación de la disciplina con los incendios forestales de la siguiente manera:

- El fenómeno de los incendios forestales tiene una clara manifestación territorial, ya que tanto los factores como los efectos se distribuyen en el espacio y son afectados por él. En este sentido, resulta de gran interés la aportación de nuestra disciplina para el análisis del riesgo y de las consecuencias de los incendios forestales.

Chuvieco *et al.* (1998) esbozaron la contribución geográfica al estudio de los incendios sintetizando las contribuciones en diferentes áreas temáticas con el objetivo de impulsar futuras investigaciones en estas líneas. Identificaron dos perspectivas principales: primero, el análisis de la prevención de incendios, y segundo, el estudio de los efectos. Los autores observaron que gran parte de los estudios se realizaron con el apoyo de tecnologías como la percepción remota y los sistemas de información geográfica, novedosas en aquellos momentos.

Dos décadas después, las tecnologías empleadas en la geografía han experimentado un desarrollo extraordinario que permiten un entendimiento más fino de este fenómeno. Al mismo tiempo, ha incrementado la investigación interdisciplinaria

(Simon y Graybill, 2010), creando la posibilidad de conectar los estudios geográfios sobre incendios forestales con otras disciplinas que investigan esta temática (Bowman *et al.*, 2013). Frente a este panorama, surge el interés en analizar cómo se ha desarrollado el estudio geográfico de los incendios forestales, y cuáles han sido sus contribuciones y sus principales hallazgos en México.

México es un país con gran importancia para la conservación de los ecosistemas forestales y, al mismo tiempo, presenta alta incidencia de incendios forestales; el promedio anual de hectáreas quemadas fue de 442 000 entre 2015 y 2019 (CONAFOR, 2019). En este contexto, es importante demonstrar cómo la geografía –mexicana e internacional– ha contribuido a comprender mejor la dinámica territorial de estos incendios. Se espera que esta investigación contribuya a crear un mayor interés para generar líneas de investigación sobre incendios forestales con énfasis territorial y socioambiental. Al mismo tiempo, se pretende proporcionar un panorama de los estudios que se realizan dentro de la geografía, y de esta manera impulsar un mayor intercambio de conocimientos y nuevas colaboraciones científicas.

## OBJETIVO

Este artículo analiza los enfoques, hallazgos y oportunidades de investigación de la geografía con respecto a la dinámica territorial de los incendios forestales en México, a través de un análisis bibliométrico y la síntesis e integración de la literatura de incendios generado por geógrafos y entidades geográficas. En este sentido se definen los siguientes objetivos particulares: 1) recopilar los avances de los estudios geográficos en la generación de conocimiento sobre los incendios forestales en el país; 2) discutir los hallazgos y la relevancia de estos trabajos en el contexto nacional, y 3) identificar los retos y oportunidades para futuras investigaciones geográficas en este ámbito.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se basa en una revisión de literatura, orientada en las recomendaciones metodológicas de conceptos y elementos de información preferidos para revisiones sistemáticas y meta-análisis (PRISMA, por sus siglas en inglés) (Moher *et al*. 2009; Page *et al*. 2021). La Figura 1 presenta los pasos metodológicos más relevantes, siguiendo el esquema búsqueda-evaluación-síntesis-análisis (SALSA, por sus siglas en inglés) (Grant y Booth, 2009), mismos que se describen a continuación:

1) La búsqueda se enfocó en revistas científicas incluidas en la base de datos académica de alcance internacional Scopus, que incluye información detallada de las publicaciones.

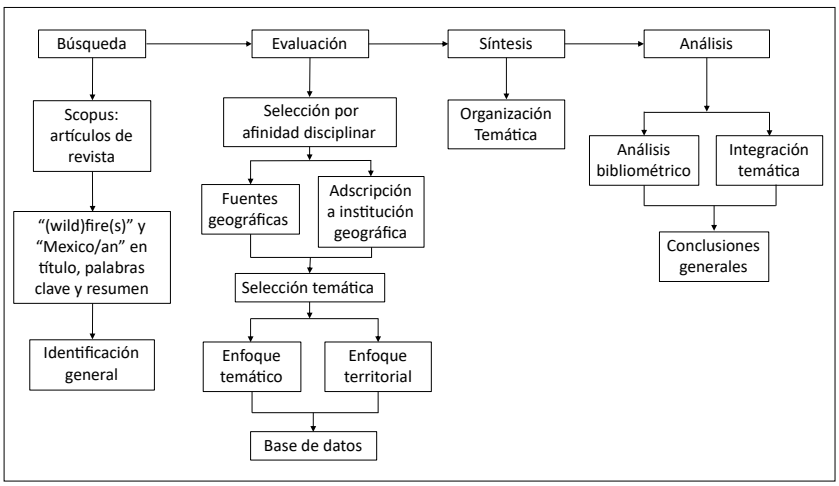



Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de revisión. Fuente: elaboración propia.

Esto fue de utilidad para diferentes aspectos del análisis, especialmente la información de la adscripción de los autores. Como términos de búsqueda se definieron '*fire*' y '*wildfire*' (en plural y en singular) y además '*Mexico*' y '*Mexican*', incluidos en el título, el resumen o las palabras clave de las publicaciones (clave de búsqueda: (LIMIT-TO ( SRCTYPE, "j") AND TITLE-ABS-KEY (mexico OR mexican) AND TITLE-ABS-KEY (fire OR fires OR wildfire OR wildfires)).

2) Para evaluar la pertinencia de las publicaciones, se descargaron como lista de Excel y se filtraron para seleccionar, primero, las publicaciones de revistas de índole geográfica (se definieron como tales las revistas que llevan en su nombre la palabra "Geografía" o que se publicaron por una institución o asociación geográfica) y, segundo, de autores adscritos a instituciones geográficas. Como siguiente paso, se revisaron los títulos de las publicaciones resultantes para evaluar si correspondían al tema de incendios forestales en México; en caso de que el título no fuera suficientemente claro, se revisó el resumen. Además, se agregaron dos publicaciones de revistas indexadas que no se habían encontrado en la búsqueda en Scopus.[1]
3) En el siguiente paso de síntesis, las publicaciones resultantes se revisaron y se clasificaron en diferentes categorías temáticas, las cuales formaron las bases para el análisis subsecuente.
4) El análisis se enfocó en dos aspectos, el análisis bibliométrico cuantitativo y el análisis de contenido cualitativo de síntesis e integración del contenido. Con respecto al primero, se aplicó un análisis de las redes de citación y coautoría mediante el software Gephi (https://gephi.org) y se visualizaron la procedencia de los autores y s enfoques espaciales de las publicaciones, con el apoyo del software de información geográfica ArcMap (https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis bibliométrico de las publicaciones geográficas sobre incendios forestales en México

En total se identificaron 41 artículos de incendios forestales en México publicados por investigadores adscritos a instituciones geográficas o en revistas indexadas de índole geográfica. Aunque es un número limitado, en los últimos años se ha registrado un auge considerable (Figura 2). En conjunto, el 41.5% de los trabajos se publicaron entre 2018 y la primera mitad de 2021; y solo tres trabajos (7.3%) se publicaron antes de 2004, con la primera publicación en 1983. Diez de los artículos fueron publicados en revistas geográficas y 21 tienen al menos un autor o autora con adscripción a una institución geográfica, mientras que en diez casos tanto la revista como la autoría tienen una orientación hacia la geografía. El porcentaje de esta última categoría bajó de 43.8% de las publicaciones hasta el 2010 a solo 16.0% en los años posteriores, sugiriendo un interés cada vez más interdisciplinario de este campo de investigación.

Las fuentes con más publicaciones son las revistas *International Journal of Wildland Fire* e *Investigaciones Geográficas*, con cuatro publicaciones cada una, seguidas por el *Journal of Biogeography* con tres publicaciones. En total, 33 (80.5%) de los artículos se publicaron en revistas extranjeras. El primer artículo se publicó en 1983 en la revista *Science*; en 2000, siguió el de *Journal of Biogeography* como primera revista de corte geográfico y en 2005 *Investigaciones Geográficas* como primera revista mexicana. Cabe mencionar que la revista mexicana ya había publicado un artículo sobre incendios forestales en México antes de haber sido indexada en Scopus (Palacio-Prieto *et al.*, 1999).

Con respecto a la autoría, dos estudios fueron publicados exclusivamente por investigadores adscritos a instituciones geográficas. Las disciplinas con las que más se colaboró fueron la ecología e investigación en ecosistemas (siete publicaciones),

[1] Se trata de publicaciones mencionados por Chuvieco (1998), con autoría del geógrafo estadounidense R. A. Minnich; en los registros Scopus no se especificó exactamente su adscripción institucional.

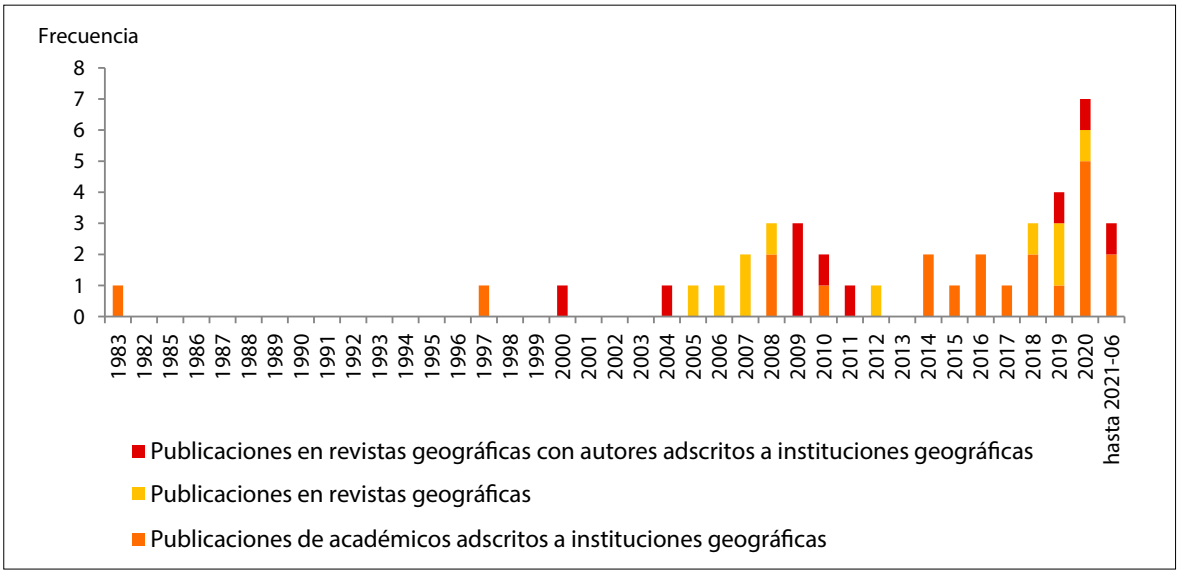



Figura 2. Frecuencia de publicaciones geográficas en revistas indexadas sobre incendios forestales en México por año. Fuente: Elaboración propia con base en Scopus (2021).

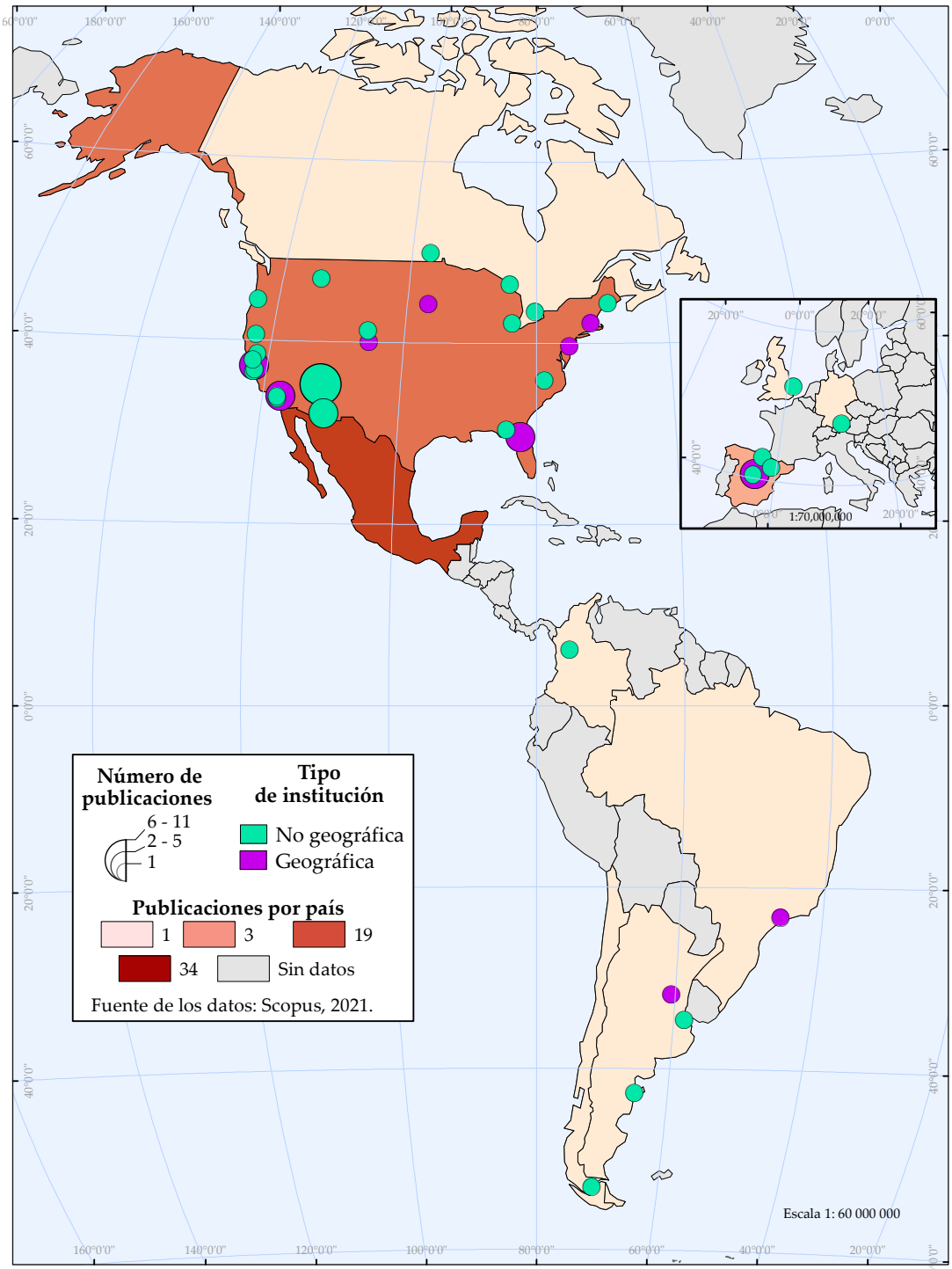
ciencias ambientales e investigaciones sobre recursos naturales (cinco), ciencias forestales (cinco), ciencias de la atmósfera, biología y matemáticas (tres cada una). Las publicaciones en revistas geográficas, sin autoría geográfica, fueron redactadas principalmente por investigadores en ciencias forestales (dos) y en estudios sobre recursos naturales y ecosistemas (dos).

La mayoría de las publicaciones (82.9%) se realizaron con la participación de académicos adscritos a instituciones mexicanas. El segundo país con mayor número de publicaciones es EE.UU., con la participación en casi la mitad de los artículos (46.3%). Le sigue España (7.3%), mientras que otros países solo cuentan con una publicación (Figura 3).

La UNAM es la principal institución con participación en 20 estudios (48.8%), con sus sedes en la Ciudad de México y en Morelia. En este contexto, los principales institutos y centros con orientación geográfica son el Instituto de Geografía (once publicaciones) y el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (cuatro), y con orientación no geográfica, el Centro de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (cinco). Otras instituciones mexicanas con publicaciones destacadas de índole geográfica son el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, con sedes en Gómez Palacio, Tlaxcala y General Terán (seis), la Universidad Autónoma Chapingo, con sedes en Texcoco y Zacatecas (cinco), la Universidad Juárez del estado de Durango (cuatro), y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), ubicada en la ciudad de México (cuatro) (Figura 4).

A nivel internacional, resalta el Departamento de Agricultura de los EE.UU. (USDA, por sus siglas en inglés), con seis publicaciones de investigadores adscritos a diferentes sedes, entre otras la Rocky Mountain Research Station en Flagstaff, Arizona, con cuatro artículos. La Universidad de California también cuenta con la participación de académicos de diferentes sedes, con un total de ocho publicaciones, tres de ellas del Departamento de Geografía, en la sede de Riverside. Además, el Servicio Forestal de los EE.UU. (USFS, por sus siglas en inglés, con diferentes sedes) cuenta con cuatro publicaciones.

La mayoría de los 94 autores han participado en solo un artículo. Los autores con el mayor número de artículos de índole geográfica son los siguiente: L. Manzo-Delgado con cinco publicaciones, y le




Nota: las publicaciones por institución para México se indican en la Figura 4.

Figura 3. Publicaciones geográficas en revistas indexadas sobre incendios forestales en México por país e instituciones extranjeras involucradas. Fuente: elaboración propia con base en Scopus (2021).

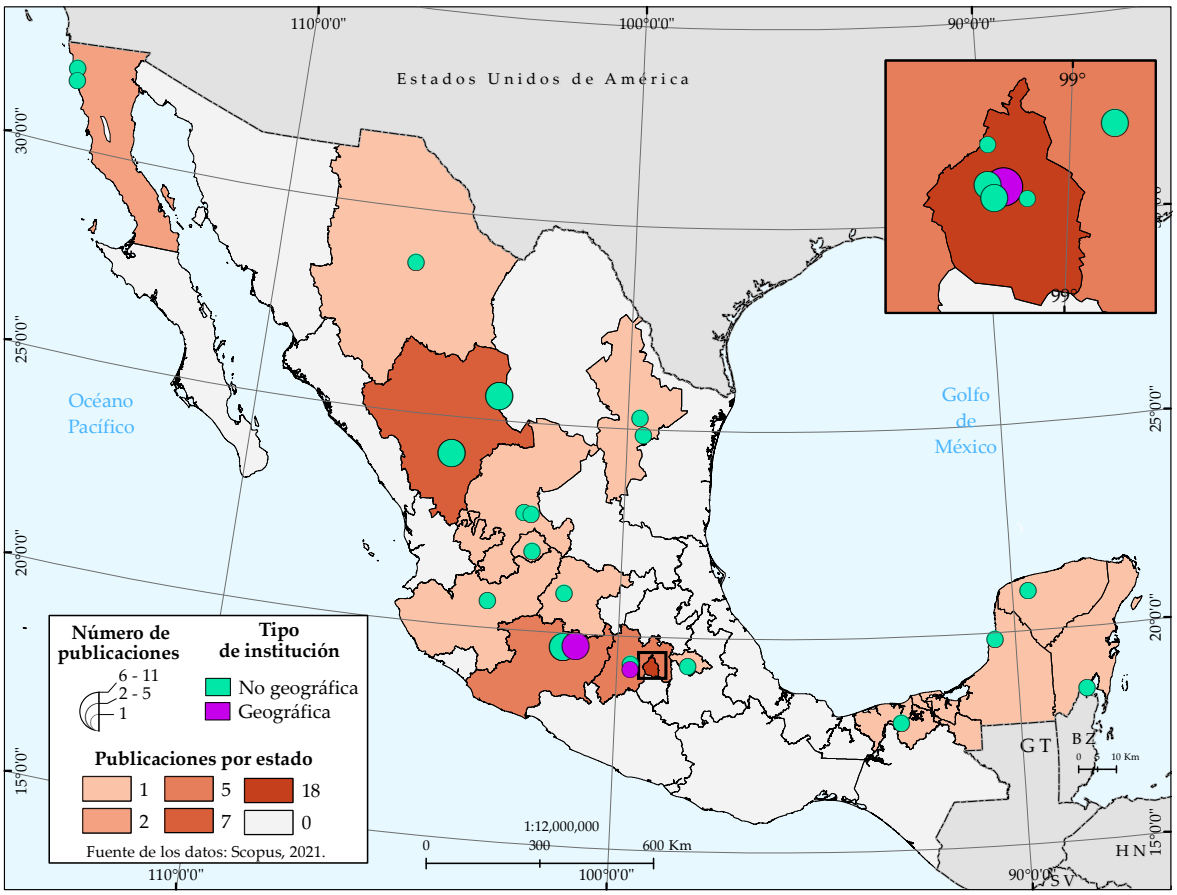



Figura 4. Publicaciones geográficas en revistas indexadas sobre incendios forestales en México por estado y principales instituciones mexicanas involucradas. Fuente: elaboración propia con base en Scopus (2021).

siguen con cuatro J. Cerano-Paredes, R. Cervantes-Martínez, J. M. Iñiguez, D. R. Pérez-Salicrup y J. Villanueva-Díaz. En la Figura 5 se aprecian los grupos de los principales autores que han publicado en conjunto. Es evidente el carácter interdisciplinario de las colaboraciones entre investigadores adscritos a instituciones geográficas y académicos de otras disciplinas.

Con respecto a la orientación temática de los estudios identificados, quince (36.6%) se clasificaron como afines a la geografía física (Figura 6), enfocados en los regímenes del fuego en diferentes áreas de estudio, en efectos sobre el suelo y en la evaluación de los combustibles forestales. La perspectiva más analizada (51.3% de los estudios), es la de los trabajos relacionados al análisis geoespacial, con la aplicación de sistemas de información geográfica y de técnicas de percepción remota. Cuatro tienen como tema principal las emisiones causadas por el fuego y los veinte restantes se ocupan de la identificación de áreas quemadas y la elaboración de modelos de peligro de incendios. Cinco de estos trabajos se basan en aspectos físicos y doce también toman en consideración aspectos humanos. A pesar del papel relevante del ser humano en la dinámica de los incendios forestales, solo cuatro publicaciones (9.8 %) tienen una afinidad clara con la Geografía Humana. Además, se identificó un artículo de revisión interdisciplinario (Laushman *et al.*, 2020).

Los artículos identificados han sido citados 759 veces en otras publicaciones en revistas indexadas, siendo los más referidos los trabajos de Minnich

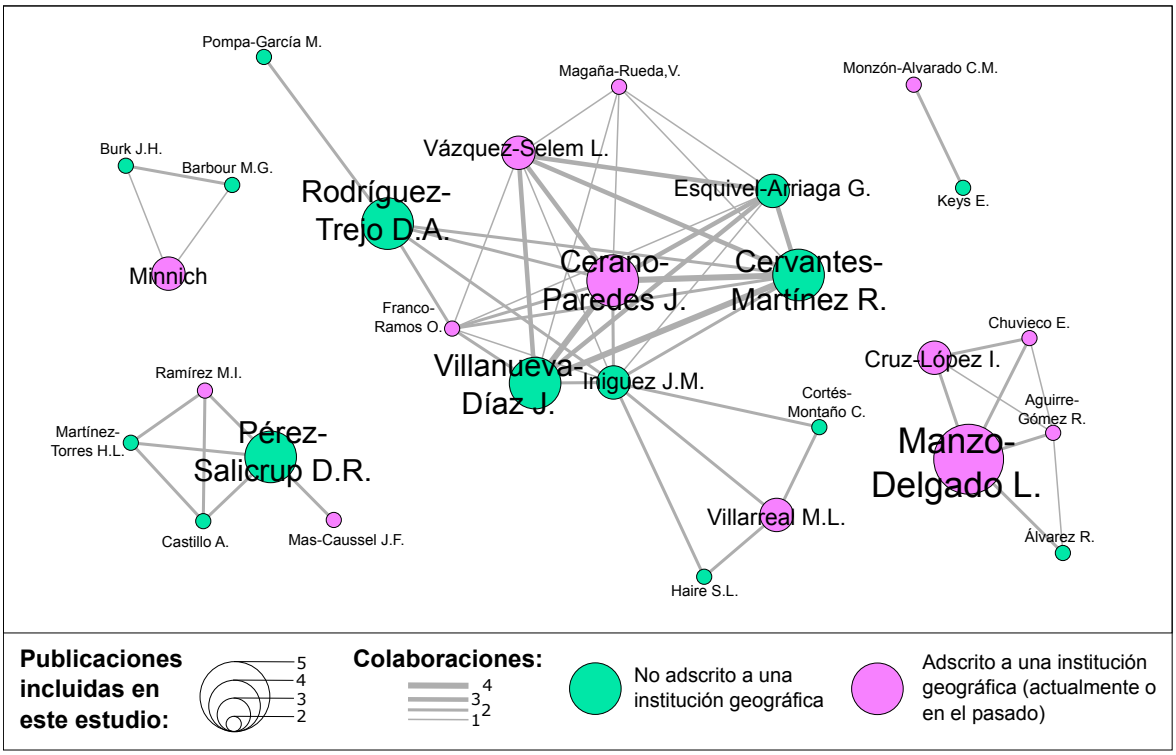



Figura 5. Principales autores y redes de coautoría de las publicaciones geográficas en revistas indexadas sobre incendios forestales en México. Fuente: elaboración propia con base en Scopus (2021).

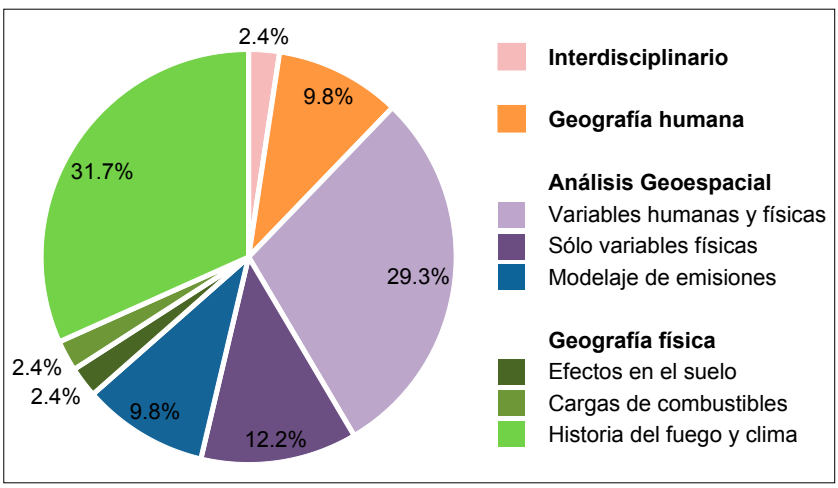
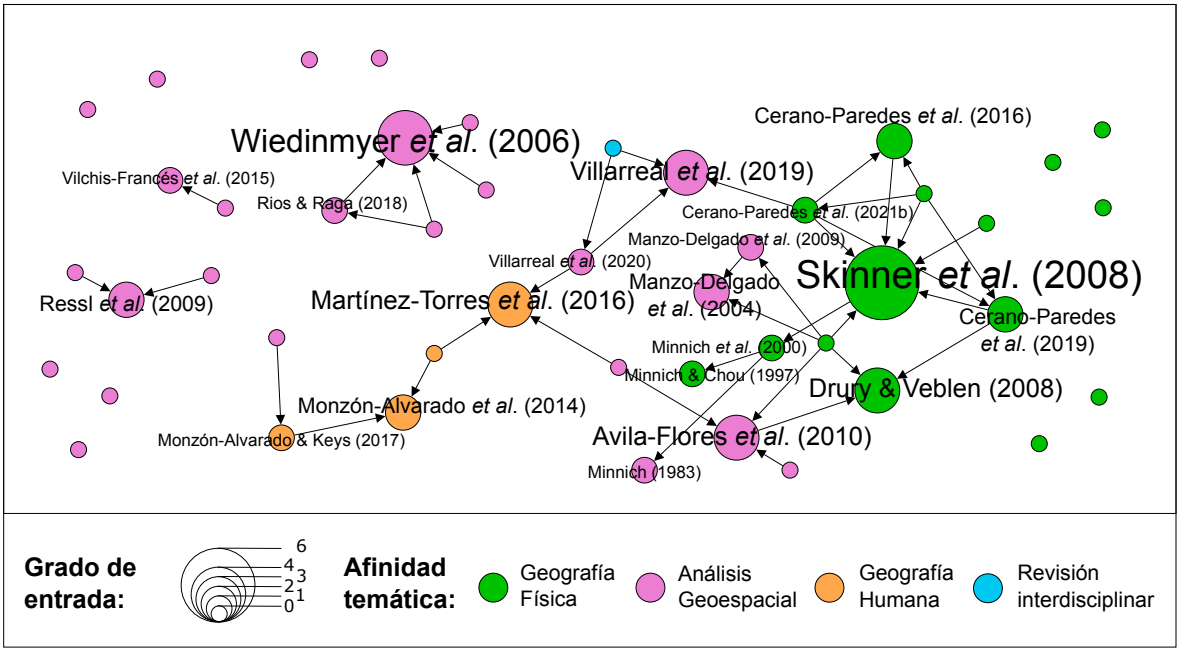



Figura 6. Enfoques temáticos de las publicaciones geográficas en revistas indexadas sobre incendios forestales en México. Fuente: elaboración propia con base en Scopus (2021).

y Chou (1997) con 140 citas, de Minnich *et al.* (2000) con 106 citas, y de French *et al.* (2011) con 102 citas. La Figura 7 representa las 36 citas dentro del grupo de las 41 publicaciones seleccionadas en esta revisión. Se trata de una red de citación de baja densidad (densidad de grafos: 0.02) con menos citas que publicaciones. Además, 23 trabajos no son citados por ninguno de los demás estudios y




Nota: El grado de entrada se refiere al número de veces que una publicación es citada por las otras publicaciones seleccionadas.

Figura 7. Red de citación de las publicaciones geográficas en revistas indexadas sobre incendios forestales en México. Fuente: elaboración propia con base en *Scopus* (2021).

18 estudios no citan a ninguno de los demás trabajos, lo cual sugiere una falta de integración de los estudios geográficos sobre incendios forestales y fuego en México. No obstante, se pueden apreciar algunos subgrupos de publicaciones que presentan una mayor densidad de citas, sobre todo con respecto a las publicaciones de geografía física. Los estudios de análisis geoespacial se conectan tanto con los trabajos afines a la geografía humana y a la geografía física, pero no hay ninguna conexión directa entre ambas.

Las publicaciones se enfocan en diferentes escalas de análisis, desde ejidos hasta estudios a nivel nacional o incluso internacional. Cuatro trabajos toman en cuenta todo el territorio nacional y uno estudia las áreas naturales protegidas federales que también se encuentran dispersadas por todas las entidades federativas (French *et al.*, 2011). Los estados Aguascalientes, Baja California Sur, Nayarit, San Luis Potosí, Sinaloa y Zacatecas solo han sido considerados en los estudios a nivel nacional. En general las publicaciones regionales se concentran en el noroeste y el centro del país (Figura 8). Baja California, Michoacán y Puebla son las entidades más representados con 12 publicaciones, y el Estado de México con 11 trabajos (incluyendo los estudios a nivel nacional). Debido al enfoque priorita-rio en el centro y noreste del país, predominan aquellos sobre ecosistemas templados, particularmente en bosques de encino y coníferas (19 de los estudios).

## Principales hallazgos

### *Análisis geoespacial*

La primera investigación geográfica de incendios que incluyó una región de México la llevó a cabo Minnich (1983), quien utilizó imágenes de satélite Landsat para evidenciar que el aumento de los incendios en el chaparral de Baja California estaba relacionado con la supresión del fuego y las sequías severas. Por su parte, el primer estudio geográfico de incendios para México a nivel nacional fue desarrollado por Palacio-Prieto *et al.* (1999), quienes utilizaron imágenes satelitales para detectar y analizar la distribución de los puntos de

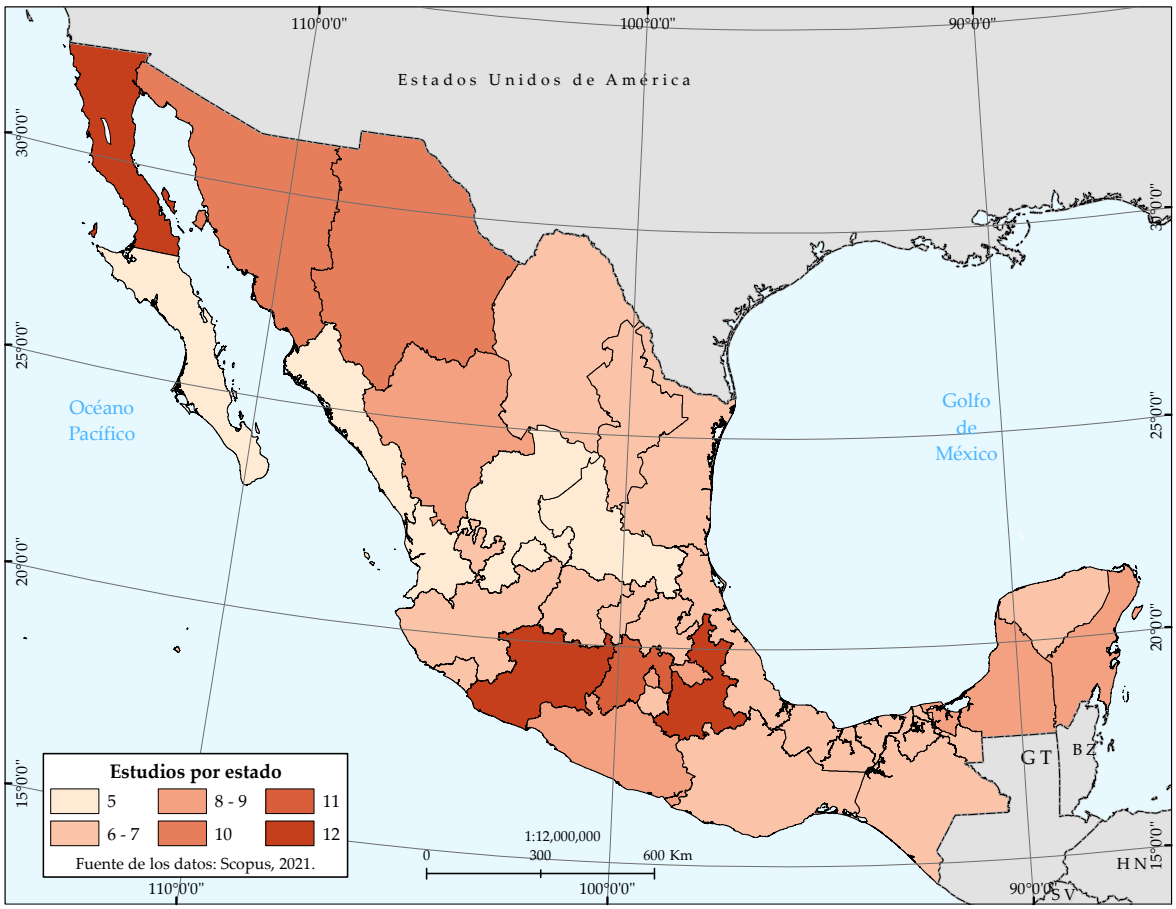



Figura 8. Enfoque territorial de las publicaciones geográficas en revistas indexadas sobre incendios forestales en México. Fuente: elaboración propia con base en Scopus (2021).

calor de la temporada de 1998. Posteriormente, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) estableció el primer sistema operativo de alarma temprana de incendios en México, basado en la detección de puntos de calor (presentado por Ressl *et al.*, 2009), que se mantiene hasta la fecha y se actualiza constantemente. González *et al.* (2019) y Bravo *et al.* (2020) demostraron la utilidad del análisis satelital para complementar los registros de campo de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

Otros estudios de análisis geoespacial demostraron la relación entre los incendios forestales y el clima, mostrando la influencia del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) (Manzo-Delgado *et al.*, 2004; Galicia *et al.*, 2014). También se encontró que, si bien el clima juega un papel importante, los incendios además se relacionan con las actividades agropecuarias y con procesos de deforestación y cambio de uso del suelo (Ávila-Flores *et al.*, 2010; Bravo *et al.*, 2020). Pompa-García *et al.* (2018) y Galván y Magaña (2020) coincidieron en la observación de que la dinámica de los incendios en el norte del país se relaciona, en primer lugar, con el clima, y en el sur con las actividades antrópicas.

Con base en la identificación de diferentes indicadores, diversos estudios han trabajado en el modelaje de la probabilidad de ocurrencia de incendios, considerando, en particular, los combustibles forestales (Muñoz *et al.*, 2005), la temperatura de la superficie terrestre y el índice de vegetación de

diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) (Manzo-Delgado *et al*. 2009), el índice estandarizado de precipitación de tres meses, anomalías mensuales de temperatura máxima de la superficie, susceptibilidad de la vegetación al fuego y el índice de influencia humana (Galván y Magaña (2020), la biomasa forestal (Farfán *et al*., 2018) y diferentes variables antrópicas (Muñoz *et al*., 2005, Vilchis-Frances *et al*., 2015; Farfán *et al*., 2018). La integración de las variables dependientes e independientes ha sido modelada con diferentes herramientas, incluyendo evaluación multicriterio (Muñoz *et al*., 2005), regresión logística (Manzo-Delgado *et al*., 2009; Vilchis-Frances *et al*., 2015), modelos lineales generalizados mixtos (Farfán *et al*., 2018) e interpolación lineal (Galván y Magaña, 2020).

Chuvieco *et al*. (2008) elaboraron el primer mapa desde la geografía de áreas quemadas para todo México en diferentes coberturas de vegetación utilizando imágenes del sensor MODIS. Otros estudios analizaron más a fondo las causas de la dinámica de los incendios; Manzo-Delgado y López-García (2020) demostraron la tendencia decreciente de incendios en la Reserva de la Biosfera Montes Azules y Pagan *et al*. (2021) revelaron el aumento de áreas quemadas en relación con la implementación del programa Sembrando Vida en el 2019. Dupuy *et al*. (2007) demostraron la capacidad de la selva en el noreste de Quintana Roo de recuperarse después de incendios.

Otro enfoque del análisis geoespacial ha sido el modelaje de emisiones, cuya cantidad varía considerablemente con el ecosistema afectado, como lo demuestran investigaciones en diferentes áreas de América del Norte (French *et al*., 2011). Cruz *et al*. (2019), en el análisis de tres ecorregiones mexicanas, y Corona-Núñez *et al*. (2020), mediante un estudio nacional, coincidieron en que en los bosques tropicales se genera la mayor cantidad de emisiones. Además, Corona-Núñez *et al*. (2020) demostraron la relevancia de las emisiones de los incendios, contribuyendo con el 19% nacional de las emisiones de $CO_2$.

*Geografía física*

El principal enfoque de los estudios de geografía física ha sido la investigación de los regímenes del fuego. Este se ha desarrollado en el centro de México (Puebla/Veracruz) (Cerano-Paredes *et al*., 2019, 2021a, 2021b), en el norte (Durango) (Cerano-Paredes *et al.* 2016; Drury y Veblen, 2008), y en el extremo noroeste (Baja California/norte de Sonora) (Arizpe *et al*., 2020, Brunelle *et al*., 2010; Minnich *et al*., 2000; Minnich y Chou, 1997; Skinner *et al*., 2008; Stephens y Libby, 2006; Villarreal *et al*., 2019; 2020), reflejando la heterogeneidad ambiental de los regímenes de fuego. Se han utilizado diferentes métodos como la dendrocronología, análisis de sedimentos, y análisis de la estructura de los bosques. Los diferentes estudios han revelado alteraciones considerables en el régimen de fuego en las décadas recientes, relacionadas con la variabilidad climática y las actividades antrópicas. Minnich y Chou (1997) y Villarreal *et al*. (2019, 2020) encontraron regímenes del fuego diferenciales transfronterizos entre México y los EE.UU. Stephens y Libby (2006) estudiaron las causas históricas de incendios forestales en bosques de pino de la Alta y Baja California, e indicaron que las prácticas de quema tradicional tuvieron efectos en el grosor de la corteza de los pinos en diferentes áreas.

Aparte de la influencia antrópica, como uno de los factores principales para los regímenes del fuego se han identificado las condiciones climáticas como ENOS y el *Índice de Oscilación Decadal del Pacífico (PDO*). En Chignahupan, Puebla, ENOS es el mecanismo de forzamiento climático que reduce la precipitación y aumenta la ocurrencia de incendios forestales (Cerano-Paredes *et al*., 2016). Asimismo, en el Cofre de Perote los incendios extensos se sincronizaron con las condiciones de sequía (según los índices de ancho de anillo), el índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI) y ENOS (Cerano-Paredes *et al*., 2021a).

En la Sierra San Pedro Mártir los años sin incendios registrados coincidieron con años más húmedos que el promedio histórico. En contraste, los años de incendios generalizados fueron secos y asociados con cambios de fase de la PDO (Skinner *et al*., 2008). En general, los incendios también se asociaron con condiciones cálidas/húmedas cinco años antes del incendio, por lo que su ocurrencia puede estar asociado con el tiempo necesario para

acumular la cantidad suficiente de combustibles. En la Ciénega de San Bernardino (en la frontera entre Sonora y Arizona) los resultados sugieren que los cambios en la estacionalidad de las precipitaciones relacionadas con ENOS explican la variabilidad de largo plazo de los incendios (8000 años) (Brunelle *et al*., 2010). Arizpe *et al*. (2020) reportan que tanto la precipitación de invierno (estación fría) como la de verano (monzón) regulan la ocurrencia de incendios regionales en la ecorregión del Archipiélago Madrense.

Entre otros enfoques de geografía física, los estudios geográficos sobre cargas de combustibles y efectos del fuego en el suelo en México hasta ahora han sido pocos y con enfoques muy localizados (Wong y Villers, 2007; Pérez *et al*., 2009; Villers *et al*., 2012), por lo que no es posible generalizar los resultados a nivel nacional. De hecho, Laushman *et al*. (2020) resaltan la falta de estudios en tratamiento de combustibles en el norte de México para proponer estrategias de manejo en la zona fronteriza con los EE.UU. No obstante, también mencionan que hay menos fuegos de gran tamaño de este lado de la frontera, ya que existen menores concentraciones de combustibles a causa de las prácticas prevalentes de uso del fuego tradicional y menos esfuerzos de suprimir el fuego completamente.

*Geografía humana*

Tanto los estudios de la historia del fuego como los modelos de riesgo subrayan el papel fundamental del factor humano en la ocurrencia de los incendios forestales. En este contexto, los trabajos que tratan la gestión del fuego cobran importancia. Los estudios con participación geográfica en este ámbito se han enfocado en el papel de las comunidades locales en dos casos locales, el municipio de Calakmul, Campeche (Monzón-Alvarado *et al*., 2014; Monzón-Alvarado y Keys, 2017) y la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (Martínez-Torres *et al*., 2016, 2018). Por un lado, demuestran la vulnerabilidad económica de los pequeños productores agrícolas frente a políticas rígidas de manejo del fuego (Monzón-Alvarado *et al*., 2014; Monzón-Alvarado y Keys, 2017). Por otro lado, describen la relevancia del conocimiento local en la prevención de los incendios forestales, y su adaptación a cambios sociales y ambientales (Martínez-Torres *et al*., 2016, 2018). En conjunto, las cuatro publicaciones mencionadas demandan un mayor involucramiento de las personas locales en el diseño de las políticas y estrategias de gestión del fuego para obtener mejores resultados tanto sociales como ambientales.

## Retos para la investigación de incendios forestales bajo las lentes de la Geografía

La presente revisión permite identificar necesidades y oportunidades de investigación desde la perspectiva geográfica. Por ejemplo, en los estudios del análisis geoespacial hace falta analizar la contribución de los incendios a la contaminación en las ciudades (Cruz-Núñez y Bulnes-Aquino, 2019), y realizar estudios de validación de los incendios reportados (González-Gutiérrez *et al*., 2019), debido a que estos registros son utilizados para la generación de índices y modelos de peligro de incendios (Pompa-García *et al*., 2018). También es necesario incrementar la modelación de la probabilidad de la ocurrencia de incendios a escala regional y local (Farfán Gutiérrez *et al*., 2020). En el caso de los estudios de geografía física, es necesario integrar los factores del cambio climático y de las plantas invasoras que pueden contribuir a aumentar el riesgo de incendios (Laushman *et al*., 2020). En el área de geografía humana, el enfoque social para estudiar el manejo del fuego ha sido restringido a pequeñas zonas. Esto a pesar de la importancia a nivel internacional de estudiar el uso y manejo del fuego desde diferentes enfoques como la gobernanza (Mistry *et al*., 2019) y la gestión del riesgo (Dunn *et al*., 2017) –líneas de investigación con una larga tradición en la geografía, lo que le permitiría a esta rama del conocimiento contribuir de mejor manera a los desafíos de gestión del fuego que enfrenta México–.

El presente trabajo permite ver que la geografía se ha abierto campo en nuevos enfoques que aún no se tenían contemplados en el estudio global de Chuvieco *et al*. (1998), asimismo, se observa un aumento considerable de estudios geográficos acerca de los incendios forestales en México. Sin embargo, se identificaron también líneas de inves-

tigación mencionados por el estudio del 1998 que aun han sido poco explorados por los geógrafos en México, como el estudio del estrés hídrico en los combustibles forestales y los efectos edafológicos de los incendios. Por otra parte, se encontró que aún no se cuenta con ninguna publicación indexada desde la geografía en el país con respecto a los patrones de regeneración posincendio.

Jardel-Peláez *et al*. (2010) realizaron un taller de expertos de diferentes instituciones en el año 2008 con el objetivo de identificar las prioridades de investigación en manejo del fuego en México. Las prioridades identificadas por estos autores se agruparon en cuatro temáticas principales: 1) la generación de información básica para el manejo del fuego; 2) estudios sobre la ecología del fuego; 3) trabajos sobre manejo del fuego integrado a la gestión del territorio y los recursos naturales, y 4) temas transversales. Los estudios contemplados en la presente investigación muestran una contribución significativa a los primeros dos ejes temáticos. En cuanto a la generación de información básica, resaltan los modelos de peligro y la evaluación de los impactos de los incendios (áreas quemadas). Sin embargo, ha sido poco el involucramiento de la geografía en estudios sobre combustibles forestales. Con respecto a la ecología del fuego, ha sido importante el aporte de los trabajos geográficos al conocimiento de los regímenes del fuego. No obstante, los efectos del manejo y los impactos del cambio climático han sido escasamente abordados desde la perspectiva geográfica. Referente a la investigación sobre el manejo del fuego, los aportes de la geografía han sido pocos, pero los estudios identificados demuestran el potencial de la disciplina para contribuir a esta temática. En el ámbito de los temas transversales, los estudios de análisis geoespacial han apoyado en el establecimiento de servicios de información útiles para el manejo del fuego. Sin embargo, con respecto a los otros dos aspectos clave en esta última prioridad, la mejora del marco legal y normativo, y la formación de científicos y profesionales de campo, la presente revisión no permite determinar si la geografía hasta la fecha haya tenido un papel significativo. No obstante, al revisar repositorios institucionales de tesis, como el de la UNAM (DGBSDI, 2021), se aprecia un creciente número de tesis de geografía relacionado al tema de los incendios forestales (hasta junio de 2021, en la UNAM sumaron 15 trabajos), sugiriendo una aportación de la disciplina a la formación de científicos especializados.

Como demuestran los resultados presentados en este artículo, la geografía tiene el potencial de jugar un papel fundamental en la comprensión integrada del fenómeno de los incendios forestales (territorial y socioambiental). Por lo tanto, es preciso aumentar los esfuerzos de la geografía en México en este ámbito, consolidando las líneas de investigación existentes y emprendiendo nuevas, además de fomentar la cooperación no solo con otras disciplinas sino entre las diferentes subdisciplinas de la geografía. De esta manera, sería posible crear un campo integrado e interdisciplinario de estudios de pirogeografía, como lo contemplan Bowman *et al*. (2013).

**Limitaciones del estudio**

Este trabajo se enfoca exclusivamente en la contribución desde la geografía al estudio de los incendios forestales en México, teniendo en cuenta tanto los investigadores adscritos a instituciones geográficas y las revistas de índole geográfica. Esto significa que quedaran fuera todos los estudios que no corresponden a estos criterios, pero no quiere decir que otras disciplinas no contribuyan a la comprensión de la dinámica territorial de los incendios forestales en el país. Muchas de las fuentes incluidas en este estudio retoman avances de investigadores de las ciencias forestales, la biología, las ciencias de la sustentabilidad, entre otros. También son de suma importancia las aportaciones de la CONAFOR, institución encargada con el manejo del fuego en México (CONAFOR, 2021), que no solamente recopila y publica los datos acerca de la incidencia de incendios forestales en el país, sino también ha apoyado la producción de conocimiento científico, como el desarrollo de un sistema de predicción de incendios con base en un SIG (Vega-Nieva *et al*., 2018).

Este trabajo se enfocó además solamente en los artículos publicados en revistas indexadas en Scopus, lo cual garantiza investigaciones de alta calidad académica y permite realizar los análisis bi-

bliométricos aplicados en este estudio. No obstante, existen también otras publicaciones de geógrafos sobre incendios forestales y manejo del fuego en México con resultados relevantes, publicados en revistas no indexadas en Scopus o en capítulos de libros (por ejemplo, Monzón-Alvarado, 2018, o Minnich y Franco-Vizcaíno, 2002) y las tesis de estudiantes de geografía mencionadas en el subcapítulo anterior que no pudieron ser incluidas, pero que forman parte del acervo de investigación sobre incendios forestales en México.

## CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La contribución de la geografía al estudio de los incendios forestales en México, medida a través de artículos indizados, hasta la fecha, es limitada, pero ha ido aumentando en los últimos años. Los estudios provienen tanto de instituciones mexicanas como extranjeras y son en la gran mayoría de carácter interdisciplinario. Se han realizado a lo largo y ancho del país, aunque hay una concentración mayor en el extremo noroeste y en el centro de México. La principal línea de investigación con participación geográfica es el análisis geoespacial que se ha enfocado en determinar las zonas afectadas por incendios forestales, estimar las emisiones y elaborar mapas y modelos de riesgo. Estos avances han sido de suma importancia para avanzar en la gestión del riesgo de los incendios forestales en el país. Otra línea de investigación que se ha consolidado en los últimos años es el estudio de regímenes del fuego a partir de la dendrocronología. En las dos vertientes se ha evidenciado también la influencia que tienen la variabilidad climática y las actividades humanas en la incidencia y régimen de incendios forestales. Estudios con otros enfoques, particularmente desde la geografía humana, han sido pocos y muy localizados. Se recomienda reforzar y fomentar el estudio de incendios forestales desde la geografía, dado el potencial que tiene para contribuir al análisis de este fenómeno. Aunado a esto, se precisa una mayor integración de los estudios desde las diferentes ramas de la disciplina y una mayor colaboración de geógrafos físicos, humanos y especialistas en el análisis geoespacial.

## REFERENCIAS


Arizpe A. H., Falk D. A., Woodhouse C. A. y Swetnam T.W. (2020). Widespread fire years in the US-Mexico Sky Islands are contingent on both winter and monsoon precipitation. *International Journal of Wildland Fire*, *29*(12), 1072-1087. https://doi.org/10.1071/WF19181

Ávila-Flores, D., Pompa-Garcia, M., Antonio-Nemiga, X., Rodríguez-Trejo, D. A., Vargas-Pérez, E. y Santillan-Perez, J. (2010). Driving factors for forest fire occurrence in Durango state of Mexico: A geospatial perspective. *Chinese Geographical Science, 20*(6), 491-497. https://doi.org/10.1007/s11769-010-0437-x

Bowman, D., O'Brien, J. y Goldammer, J. G. (2013). Pyrogeography and the global quest for sustainable fire management. *Annual Review of Environment and Resources*, *38*, 57-80. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-082212-134049

Bravo, J. J., Carbajal, I. L., Gallardo, B., Morales, J. C. y Cruz, B. (2020). El uso de los Sistemas de Información Geográficas para el análisis e interpretación de anomalías térmicas de la Región Costa-Sierra Occidental de Jalisco, México. *Anales de Geografia delLa Universidad Complutense, 40*(2), 283-298. https://doi.org/10.5209/aguc.72975

Brunelle A., Minckley T. A., Blissett S., Cobabe S. K. y Guzmán B. L. (2010). A ~8000 year fire history from an Arizona/Sonora borderland Ciénega. *Journal of Arid Environments*, *74*(4), 475-481. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.10.006

Cerano-Paredes, J., Iniguez, J. M., Villanueva-Díaz, J., Cervantes-Martínez, R., Cambrón-Sandoval, V. H., Estrada-Arellano, J. R., Esquivel-Arriaga, G., Franco-Ramos, O., Vázquez-Selem, L. y Cardoza-Martínez, G. F. (2020). Using tree-rings to reconstruct fire history information from forested areas. *Journal of Visualized Experiments, 164*, e61698. https://doi.org/10.3791/61698

Cerano-Paredes, J., Iniguez, J. M., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Franco-Ramos, O., y Rodríguez-Trejo, D. A. (2021a). Effects of climate on historical fire regimes (1451–2013) in *Pinus hartwegii* forests of Cofre de Perote National Park, Veracruz, Mexico. *Dendrochronologia, 65,* 125784. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125784

Cerano-Paredes, J., Rodríguez-Trejo, D. A., Iniguez, J. M., Cervantes-Martínez, R., Villanueva-Díaz, J. y Franco-Ramos, O. (2021b). Fire history (1896–2013) in an *Abies religiosa* forest in the Sierra Norte of Puebla, Mexico. *Forests, 12*, 700. https://doi.org/10.3390/f12060700

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Guerra-de la Cruz, V. y Fulé, P. Z. (2016). Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de *Pinus hartwegii* al norte del estado de Puebla, México. *Bosque, 37*(2), 389-399. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200017

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Magaña-Rueda, V. O., Constante-García, V., Esquivel-Arriaga, G. y Valdez-Cepeda, R. D. (2019). Climatic influence on fire regime (1700 to 2008) in the Nazas watershed, Durango, Mexico. *Fire Ecology, 15*(9). https://doi.org/10.1186/s42408-018-0020-x

Chuvieco, E., Martín, M. P., Martínez, J., y Salas, F. J. (1998). Geografía e incendios forestales. *Serie Geográfica*, 7, 11-17. Recuperado de: https://core.ac.uk/download/pdf/58902337.pdf

Chuvieco E., Opazo S., Sione W., Del Valle H., Anaya J., Di Bella C., Cruz, I., Manzo, L., López, G., Mari, N., González-Alonso, F., Morelli, F., Setzer, A., Csiszar, I., Kanpandegi, J. A., Bastarrika, A. y Linoati, R. (2008). Global burned-land estimation in Latin America using MODIS composite data. *Ecological Applications*, *18*(1), 64-79. https://doi.org/10.1890/06-2148.1

CONAFOR. (2019). *Estado que Guarda el Sector Forestal en México 2019*. Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: https://www.gob.mx/conafor/documentos/estado-que-guarda-el-sector-forestal-en-mexico-2019

CONAFOR. (2021). *Programa de Manejo del Fuego 2020-2024*. Comisión Nacional Forestal. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/464834/PROGRAMA_DE_MANEJO_DEL_FUEGO_2019.pdf

Corona-Núñez, R. O., Li, F. y Campo, J. E. (2020). Fires represent an important source of carbon emissions in Mexico. *Global Biogeochemical Cycles, 34*, e2020GB006815. https://doi.org/10.1029/2020GB006815

Cruz-López, M. I., Manzo-Delgado, L. L., Aguirre-Gómez, R., Chuvieco, E., y Equihua-Benítez, J. A. (2019). Spatial distribution of forest fire emissions: A case study in three Mexican ecoregions. *Remote Sensing, 11*, 1185. https://doi.org/10.3390/rs11101185

Cruz-Núñez, X. y Bulnes-Aquino, E. (2019). Emission impact of wildfires: El Tepozteco 2016. *Atmósfera*, *32*(2), 85-93. https://doi.org/10.20937/ATM.2019.32.02.01

DGBSDI. (2021). TESISUNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información, Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: https://tesiunam.dgb.unam.mx/

Drury S. A. y Veblen, T. T. (2008). Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecology*, *197*(2), 299-316. https://doi.org/10.1007/s11258-007-9379-5

Dunn, C. J., Calkin, D. E. y Thompson, M. P. (2017). Towards enhanced risk management: planning, decision making and monitoring of US wildfire response. *International Journal of Wildland Fire*, 26(7), 551-556. https://doi.org/10.1071/WF17089

Dupuy, J. M., González, J. A., Iriarte, S., Calvo, L. M., Espadas, C., Tun, F. y Dorantes, A. (2007). Cambios de cobertura y uso del suelo (1979-2000) en dos comunidades rurales en el noroeste de Quintana Roo. *Investigaciones Geográficas*, *62*, 104-124. https://doi.org/10.14350/rig.29975

Farfán, M., Pérez-Salicrup, D. R., Flamenco-Sandoval, A., Nicasio-Arzeta, S., Mas, J.-F. y Ramírez, I. (2018). Modeling anthropic factors as drivers of wildfire occurrence at the Monarch Butterfly Biosphere. *Madera y Bosques, 24*(3), e2431591. https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431591

Farfán, M., Flamenco, A., Rodríguez, C. R., Rodrigues de Sousa, L., González, I. y Gao, Y. (2020). Cartografía de la probabilidad de ocurrencia a incendios forestales para el estado de Guanajuato: Una aproximación antrópica de sus fuentes de ignición. *Acta Universitaria, 30*, 1-15. https://doi.org/10.15174.au.2020.2953

French, N. H. F., De Groot, W. J., Jenkins, L. K., Rogers, B. M., Alvarado, E., Amiro, B., de Jong, B., Goetz, S., Hoy, E., Hyer, E., Keane, R., Law, B. E., McKenzie, D., McNulty, S. G., Ottmar, R., Pérez-Salicrup, D. R., Randerson, J., Robertson, K. M. y Turetsky, M. (2011). Model comparisons for estimating carbon emissions from North American wildland fire. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 116*(2), G00K05. https://doi.org/10.1029/2010JG001469

Galicia, L., Cuevas, M. L., González, L. M. y Couturier, S. (2014). Detección del cambio ambiental en selvas y bosques de México con percepción remota: un enfoque multiescalar de espacio y tiempo. *Interciencia*, *39*(6), 368-374. Recuperado de https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/11/368-GALICIA-7.pdf

Galván, L. y Magaña, V. (2020). Forest fires in Mexico: An approach to estimate fire probabilities. *International Journal of Wildland Fire, 29*(9), 753-763. https://doi.org/10.1071/WF19057

González-Gutiérrez, I., Mas-Caussel, J. F., Morales-Manilla, L. M. y Oceguera-Salazar, K. A. (2019). Thematic accuracy of hotspots and wildfires in Michoacán, Mexico. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 26*(1), 17-35. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.011

Grant, M. J. y Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, *26*(2), 91-108. https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x

Jardel-Peláez, E. J., Frausto-Leyva, J. M., Pérez-Salicrup, D., Alvarado, E., Morfín-Ríos, J. E., Landa, R. y Llamas-Casillas, P. (2010). *Prioridades de Investigación en Manejo del Fuego en México*. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México. Recuperado de: https://www.camafu.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/Priorids_Investg_eBook_OK.pdf

Laushman, K. M., Munson, S. M. y Villareal, M. L. (2020). Wildfire Risk and Hazardous Fuel Reduction Treatments Along the US-Mexico Border: A Review of the Science (1986-2019). *Air, Soil and Water Research*, *13*, 1-7. https://doi.org/10.1177/1178622120950272

Manzo-Delgado, L., Aguirre-Gómez, R. y Álvarez, R. (2004). Multitemporal analysis of land surface temperature using NOAA-AVHRR: Preliminary relationships between climatic anomalies and forest fires. *International Journal of Remote Sensing*, *25*(20), 4417-4424. https://doi.org/10.1080/01431160412331269643

Manzo-Delgado, L., Sánchez-Colón, S. y Álvarez, R. (2009). Assessment of seasonal forest fire risk using NOAA-AVHRR: A case study in central Mexico. *International Journal of Remote Sensing, 30*(19), 4991-5013. https://doi.org/10.1080/01431160902852796

Manzo-Delgado, L. L. y 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://doi.org/10.4067/S0717-92002020000100011

Martínez-Torres, H. L., Castillo, A., Ramírez, M. I. y Pérez-Salicrup, D. R. (2016). The importance of the traditional fire knowledge system in a subtropical montane socio-ecosystem in a protected natural area. *International Journal of Wildland Fire, 25*(9), 911-921. https://doi.org/10.1071/WF15181

Martínez-Torres, H. L., Pérez-Salicrup, D. R., Castillo, A. y Ramírez, M. I. (2018). Fire management in a natural protected area: What do key local actors say? *Human Ecology, 46*(4), 515-528. https://doi.org/10.1007/s10745-018-0013-z

Minnich, R. A. (1983). Fire Mosaics in Southern California and Northern Baja California. *Science*, *219*(4590), 1287-1294. https://doi.org/10.1126/science.219.4590.1287

Minnich, R. A. y Franco-Vizcaíno, E. (2002). Divergence in Californian Vegetation and Fire Regimes Induced by Differences in Fire Management across the U.S.-Mexico Boundary. En J. J. Batema, L. Fernandez y R. T. Carson (eds), *Both Sides of the Border. The Economics of Non-Market Goods and Resources* (vol. 2, pp. 385-402). Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47961-3_18

Minnich, R. A., Barbour, M. G., Burk, J. H. y Sosa-Ramírez, J. (2000). Californian mixed-conifer forests under unmanaged fire regimes in the Sierra San Pedro Mártir, Baja California, Mexico. *Journal of Biogeography, 27*(1), 105-129. https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2000.00368.x

Minnich, R. A. y Chou, Y. H. (1997). Wildland Fire Patch Dynamics in the Chaparral of Southern California and Northern Baja California. *International Journal of Wildland Fire*, *7*(3) 221 – 248. https://doi.org/10.1071/WF9970221

Mistry, J., Belloni, I., Eloy, L. y Bilbao, B. (2019). New perspectives in fire management in South American savannas: The importance of intercultural governance. *Ambio*, *48*, 172-179. https://doi.org/10.1007/s13280-018-1054-7

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. y The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med*, *6*(7), e1000097. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097

Monzón-Alvarado, C. M. y Keys, E. (2017). Synergistic vulnerabilities: Climate variability and fire management policy increase farming challenges in southeastern Mexico. *Regional Environmental Change, 17*(2), 489-500. https://doi.org/10.1007/s10113-016-1035-y

Monzón-Alvarado, C. M. (2018). El manejo del fuego en Calakmul, Campeche: incendios forestales, gobernanza y variabilidad local de la precipitación. *CIENCIA ergo-sum*, *25*(3). https://doi.org/10.30878/ces.v25n3a1.

Monzón-Alvarado, C. M., Waylen, P. y Keys, E. (2014). Fire management and climate variability: Challenges in designing environmental regulations. *Land Use Policy*, *39*, 12-21. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.03.003

Muñoz, C. A., Treviño, E. J., Verástegui, J., Jiménez, J., y Aguirre, O. A. (2005). Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. *Investigaciones Geográficas, 56*, 101-117. https://doi.org/10.14350/rig.30099

Palacio-Prieto, J. L., Luna-González, L. y Macías-Morales, L. (1999). Detección de incendios en México utilizando imágenes AVHRR (temporada 1998). *Investigaciones Geográficas*, *38*. https://doi.org/10.14350/rig.59074

Pagan, A., Rogan, J., Schmook, B., Christman, Z. y San-

germano, F. (2021). Understanding agricultural fire dynamics in the southern Yucatán Peninsular Region using the MODIS (C6) active fire product. *Remote Sensing Letters, 12*(7), 715-726. https://doi.org/10.1080/2150704X.2021.1931530

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M. y Moher, D. (2021). Updating guidance for reporting systematic reviews: development of the PRISMA 2020 statement. *Journal of Clinical Epidemiology*, *134*, 123-112. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2021.02.003

Pérez, C. A., López, J. y Vela, G. (2009). Influencia del relieve en las propiedades de un suelo afectado por incendio en El Volcán el Pelado, Centro de México. *Investigaciones Geográficas, 69*, 7-20. https://doi.org/10.14350/rig.18001

Pompa-García, M., Camarero, J. J., Rodríguez-Trejo, D. A. y Vega-Nieva, D. J. (2018). Drought and spatiotemporal variability of forest fires across Mexico. *Chinese Geographical Science, 28*(1), 25-37. https://doi.org/10.1007/s11769-017-0928-0

Ressl, R., Lopez G., Cruz I., Colditz R.R., Schmidt M., Ressl S., y Jiménez R. (2009). Operational active fire mapping and burnt area identification applicable to Mexican Nature Protection Areas using MODIS and NOAA-AVHRR direct readout data. *Remote Sensing of Environment*, 113(6), 1113-1126. https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.016

Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de Vegetación. Su Ecología, Manejo e Historia* (vol. 1.). México: Colegio de Postgraduados.

Simon, G. L. y Graybill, J. K. (2010). Geography in interdisciplinarity: Towards a third conversation. *Geoforum*, *41*(3), 356-363. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.11.012

Skinner, C. N., Burk, J. H., Barbour, M. G., Franco-Vizcaíno, E. y Stephens, S. L. (2008). Influences of climate on fire regimes in montane forests of north-western Mexico. *Journal of Biogeography, 35*(8), 1436-1451. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01893.x

Stephens, S. L. y Libby, W. J. (2006). Anthropogenic fire and bark thickness in coastal and island pine populations from Alta and Baja California. *Journal of Biogeography*, *33*(4), 648-652. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01387.x

Vega-Nieva, D. J., Briseño-Reyes, J., Nava-Miranda, M. G., Calleros-Flores, E., López-Serrano, P. M., Corral-Rivas, J. J., Montiel-Antuna, E., Cruz-López, M. I., Cuahutle, M., Ressl, R., Alvarado-Celestino, E., González-Cabán, A., Jiménez, E., Álvarez-González, J. G., Ruiz-González, A. D., Burgan, R. E. y Preisler H. K. (2018). Developing Models to Predict the Number of Fire Hotspots from an Accumulated Fuel Dryness Index by Vegetation Type and Region in Mexico. *Forests, 9*, 190. https://doi.org/10.3390/f9040190

Vilchis-Francés, A. Y., Díaz-Delgado, C., Magaña-Lona, D., Bâ, K. M. y Gómez-Albores, M. Á. (2015). Modelado espacial para peligro de incendios forestales con predicción diaria en la cuenca del Río Balsas. *Agrociencia, 49*(7), 803-820. Recuperado de https://bit.ly/3H9ietb

Villarreal, M. L., Haire, S. L., Iniguez, J. M., Cortés Montaño, C. y Poitras, T. B. (2019). Distant neighbors: Recent wildfire patterns of the madrean sky islands of southwestern united states and northwestern mexico. *Fire Ecology, 15*(2), 1-20. https://doi.org/10.1186/s42408-018-0012-x

Villarreal, M. L., Iniguez, J. M., Flesch, A. D., Sanderlin, J. S., Cortés, C., Conrad, C. R. y Haire, S. L. (2020). Contemporary fire regimes provide a critical perspective on restoration needs in the mexico-united states borderlands. *Air, Soil and Water Research, 13*, 1-18. https://doi.org/10.1177/1178622120969191

Villers, S., Villers, L., y López, J. (2012). Modelos que relacionan las características biofísicas del terreno con la presencia de combustibles forestales en las montañas centrales de México. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles, 59*, 367-388. https://doi.org/10.21138/bage.1462

Wong, J. C., y Villers, M. de L. (2007). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: Un estudio en el Parque Nacional la Malinche. *Investigaciones Geográficas, 62*, 87-103. https://doi.org/10.14350/rig.29971