



Dinámica espaciotemporal, causas y efectos de los megaincendios forestales en México

Spatiotemporal dynamics, causes and effects of mega-wildfires in Mexico

Christoph Neger¹, José Francisco León-Cruz², Leopoldo Galicia Sarmiento³ y Lilia de Lourdes Manzo-Delgado³

¹ Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Departamento de Geografía Social. Ciudad de México, México.

² Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Departamento de Geografía Física. Ciudad de México, México. jleon@geografia.unam.mx; lgalicia@geografia.unam.mx

³ Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. Laboratorio de Análisis Geoespacial. Ciudad de México, México. lmanzo@geografia.unam.mx

* Autor de correspondencia. neger@geografia.unam.mx

RESUMEN

Los megaincendios se refieren a igniciones forestales de gran magnitud con marcados impactos ambientales y socioeconómicos. El presente artículo investiga la dinámica espacial y temporal de la ocurrencia de megaincendios y sus causas y efectos en las últimas dos décadas en México, donde este fenómeno ha sido poco explorado. Mediante un sistema de información geográfica y las bases de datos del *Global Fire Atlas* y de la Comisión Nacional Forestal se analizó la distribución espacial de la ocurrencia y superficie afectada; mientras que los impactos socioeconómicos se identificaron a partir de la revisión de fuentes hemerográficas. Los resultados demuestran que incendios de más de 500 ha y 1000 ha son frecuentes en casi todo el país, pero los eventos de más de 10 000 hectáreas son escasos y se concentran principalmente en los estados del norte. El número de megaincendios en México es mínimo en comparación con el total de incendios registrados a escala nacional. Sin embargo, abarcan gran parte de la superficie afectada, 45.8% según los datos de la Comisión Nacional Forestal y 58% según el *Global Fire Atlas* para los incendios en superficies mayores a 500 ha. La causa directa en la mayoría de los casos es de origen antropogénica, aunque existe una porción importante de megaincendios que resultaron de causas naturales, sobre todo en el norte del país. Con respecto a los efectos socioeconómicos estos fenómenos también abarcan un porcentaje significativo de los costos y daños generados.

PALABRAS CLAVE: degradación forestal, gestión de riesgos, incendios de vegetación, impactos socioambientales, manejo del fuego, prevención del riesgo de desastres.

ABSTRACT

The term mega-fire refers to ignitions of great extension with considerable environmental and socio-economic impacts. The present paper investigates the spatial and temporal dynamics of mega-fires and their causes and effects in Mexico over the last two decades. In this country, the mega-fire phenomenon has received little attention to date. The spatial distribution of mega-fires and the burned areas were analyzed through a geographical information system and the databases of the Global Fire Atlas and the National Forestry Commission, whereas the socio-economic impacts were identified by a review of newspaper sources. The results show that fires with an affected area of 500 to 1000 hectares are frequent almost all over the country, while events of more than 10 000 hectares are rare and concentrated mainly in the northern states. The number of mega-fires in Mexico is minimal compared to all wildfires registered nationally. However, they make up a large proportion of the burned areas, 45.8%, according to the database of the National Forestry Commission, and 58%, according to the Global Fire Atlas, for fires larger than 500 ha. The direct cause, in most cases, has an anthropogenic origin, yet an important number of mega-fires are caused naturally, especially in the north of the country. Regarding socio-economic effects, these phenomena produce a significant proportion of the costs and damages.

KEYWORDS: forest degradation, risk management, vegetation fires, social-environmental impacts, fire management, disaster risk prevention.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales forman parte de los fenómenos que inciden en el mantenimiento y la dinámica de los bosques y las selvas del mundo. La mayoría de los incendios forestales afectan una superficie de pocas hectáreas y tienen impactos mínimos. Sin embargo, en las décadas previas a la realización de este estudio se ha documentado un incremento en la frecuencia de los incendios que alcanzan mayores extensiones y generan daños considerables. Williams y Hyde (2009) calcularon que 95% de la superficie quemada en total en los Estados Unidos (EE. UU.) se debía a un número pequeño (menos de 2%) de incendios de grandes extensiones. Dicha tendencia se ha observado también en otras partes del mundo, como en Canadá, España y Portugal (Ferreira-Leite et al., 2015).

Existen diferentes términos para describir los incendios de gran tamaño; la palabra “megaincendio” es la que ha tomado especial relevancia en los últimos años (Tedim et al., 2018). Además de su tamaño, también suelen ser eventos de alta intensidad, que generan efectos socioambientales negativos sobre el territorio (Ferreira-Leite et al., 2015). Los megaincendios pueden llegar a ser verdaderos desastres, con elevados costos humanos (Williams, 2013), como lo sugiere el alto número de fallecimientos directamente relacionados a los incendios o por el humo generado (Ferreira-Leite et al., 2015; Johnston et al., 2021); así como propiciar efectos devastadores en los ecosistemas y la biodiversidad (Adams et al., 2013; Jones et al., 2019). También se han observado casos de inundaciones o deslizamientos de tierra como consecuencia de la pérdida de vegetación derivada de estos fenómenos (de la Barrera et al., 2018; Diakakis et al., 2017).

A escala mundial, los megaincendios suelen ocurrir bajo condiciones meteorológicas de sequía, con altas temperaturas y eventos de viento intenso que generan condiciones propicias para su propagación (Ferreira-Leite et al., 2015). Otro factor que aumenta el riesgo de estos fenómenos es una alta disponibilidad de combustibles, muchas veces consecuencia de la supresión de los incendios forestales recurrentes de menor tamaño. En este sentido,

los enfoques de manejo forestal que incluyen el uso estratégico del fuego han sido identificados como una alternativa prometedora para reducir la ocurrencia de megaincendios (Adams et al., 2013; Williams, 2013).

A pesar de la creciente relevancia de los megaincendios a escala mundial, no existe una definición ampliamente aceptada para clasificar un incendio forestal como un megaincendio. Tedim et al. (2018) sugieren que algunas definiciones toman en cuenta la intensidad o los impactos registrados, mientras que, otras consideran únicamente la superficie afectada. Con respecto a la superficie, los criterios establecidos muestran también una gran discrepancia. En los EE. UU., un incendio debe sobrepasar las 40 469 ha (100 mil acres) para ser clasificado como megaincendio según el *National Interagency Fire Center*. En contraste, en la Unión Europea (UE), se considera un megaincendio cuando apenas sobrepasa las 500 ha (Tedim et al., 2018). Otra definición basada en la superficie surge de los estudios realizados en Grecia y en México, donde consideran un megaincendio a partir de 1000 ha (Dimitrakopoulos et al., 2011, Galicia et al., 2014).

Para el caso de México, Galicia et al. (2014) analizaron la incidencia de los megaincendios y sus efectos en la deforestación de bosques y selvas en los años 1998-2005 en los estados de Chiapas, Oaxaca, Chihuahua, Durango y Tamaulipas. Asimismo, se documentó su correlación con el fenómeno meteorológico de El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Fuera de este avance, existe poco conocimiento acerca del fenómeno de los megaincendios en el país. La Comisión Nacional Forestal (Conafor), en sus registros anuales, contiene un análisis del tamaño de los incendios; sin embargo, la categoría más grande es de superficies mayores a 51 ha (Snigf, 2021), muy por debajo de las definiciones internacionales de los megaincendios. En un trabajo de Manzo-Delgado (2016) acerca de la detección de incendios forestales mediante el análisis satelital, estos fenómenos se identificaron con respecto al área afectada, en cinco categorías, incluyendo incendios de alta relevancia (> 1000 ha) y de gran relevancia (> 3000 ha), con un desglose a escala estatal para los años 2000 a 2014, además de presentar la distribución cartográfica de la superficie



afectada por los incendios de gran relevancia. No obstante, no se presentan detalles acerca de las causas y efectos de estos eventos.

Los trabajos que indagan en los efectos más específicos de los grandes incendios en el país son escasos, enfocándose únicamente en estudios de caso. Se puede mencionar la investigación de Román-Cuesta y Martínez-Vilalta (2006), quienes hablan de los efectos en la vegetación en general y de Ortiz-Maciel et al., (2010) que escriben acerca de los efectos en la especie amenazada cotorra-serrana oriental *Rhynchopsitta terrisi*.

La falta de mayor conocimiento acerca de los megaincendios impide generar estrategias para prevenir y mitigar las consecuencias de estos eventos extremos. Por lo tanto, se considera de suma importancia conocer la frecuencia, la distribución, las causas y los efectos de estos eventos en el país, a fin de salvaguardar la conservación de su patrimonio natural y prevenir los efectos adversos a la sociedad y en los ecosistemas. En este contexto, el presente estudio plantea la hipótesis de que los megaincendios, definidos como aquellos de más de 500 ha, son un fenómeno que ocurre frecuentemente en el país, y que su incidencia tiene picos en los meses de primavera y en años secos, concentrándose en zonas con clima templado y vegetación adaptada al fuego. Finalmente, se presume que la mayoría de estos eventos son causados por actividades humanas, y que ocasionan daños no solo en los ecosistemas, sino también en la sociedad.

OBJETIVOS

Dada la relevancia de los megaincendios en el país, tanto para la conservación de los ecosistemas como para la protección de la sociedad, los objetivos del presente estudio fueron: i) analizar la distribución espaciotemporal de los megaincendios en México, e ii) identificar las causas directas e indirectas, y caracterizar sus impactos ambientales y socioeconómicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se definió a los megaincendios como todos aquellos eventos de más de 500 ha, de acuerdo con el valor mínimo

de superficie definida para este fenómeno que se encuentra en la literatura disponible (Tedim et al., 2018). También se consideraron en el análisis y la discusión todos los incendios de más de 1000 ha, definidos previamente como tamaño mínimo de un megaincendio en México (Galicia et al., 2014). Posteriormente, se generó cartografía a escala nacional para analizar la distribución espaciotemporal de los megaincendios. La primera fuente consultada fueron los registros de la Conafor sobre la extensión de los incendios forestales en México, disponibles a escala nacional como polígonos para los años 2010 a 2019 en el Sistema Nacional de Información y Gestión Forestal (Snigf, 2021). Cabe mencionar que estos registros se basan principalmente en datos de campo y que no siempre son exactos, como lo sugiere lo registrado con imágenes satelitales (González-Gutiérrez et al., 2020). Además, los datos de la Conafor toman en cuenta únicamente las superficies forestales afectadas y excluyen otros usos de suelo como pastizales cultivados, campos agrícolas y áreas urbanas. Por tanto, se optó por integrar una fuente de datos adicional, el *Global Fire Atlas* de Andela et al. (2019), con datos disponibles para los años 2003 a 2016. Aquí se registra la extensión de las áreas quemadas mayores de 21 ha a escala mundial, que toma como base el producto MCD64A1, generado con imágenes satelitales MODIS (resolución espacial de 500 m). Su confiabilidad, evaluada con imágenes Landsat (30 m), ha sido considerada aceptable para áreas quemadas mayores a 100 ha en bosques, matorrales y sabanas distribuidos en los EE. UU. (Andela et al., 2019), lo que puede ser una limitante para analizar incendios de menor superficie. Las dos fuentes de datos están disponibles públicamente para su descarga en formato *Shapefile* (.shp) y fueron integradas en el sistema de información geográfica (SIG) de acceso libre Quantum GIS. Además, los datos de los eventos de incendios se integraron a hojas de cálculo. Se evaluaron todos los datos disponibles y se comparó de manera particular el periodo para el cual se cuenta con datos de las dos fuentes que va de 2010 a 2016.

En el SIG se integraron los datos de cobertura del suelo a escala nacional en el 2015 de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio,

2020), para revisar de la manera más exacta posible cuáles han sido los ecosistemas afectados. Debido a que una gran variedad de los incendios registrados en el *Global Fire Atlas* se presentaban en los límites nacionales con EE. UU. y Guatemala, la información del área total afectada incluía territorio extranjero. Por lo anterior, se recalcularon las áreas totales afectadas en función de los polígonos de incendios cortados previamente. Posteriormente, y haciendo uso de la herramienta de histograma zonal, se calculó la frecuencia de los tipos de cobertura vegetal afectada por cada incendio registrado en el *Global Fire Atlas*. Dicho proceso se replicó para el caso de los polígonos de incendios de la Conafor. De esta manera también se confirmó que en el caso de los megaincendios, la mayor parte de los registros del *Global Fire Atlas* se refiere también a vegetación forestal (más de 66.8%, no incluyendo los pastizales que pueden ser naturales o cultivados). En los datos del *Global Fire Atlas* no existe información respecto a las causas de los incendios; por lo tanto, la única fuente con datos específicos acerca de este aspecto fue la Conafor. Finalmente, empleando los datos de precipitación acumulada a escala nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021), fueron calculadas las anomalías anuales en función del periodo analizado con los datos del *Global Fire Atlas* (2003-2016).

Para conocer los efectos ecológicos y sociales específicos de los eventos de incendios, fuera de los datos básicos registrados, se realizó un análisis hemerográfico. Este se basó en buscadores como *Google News* y *Yahoo News*, así como acervos hemerográficos de periódicos de circulación nacional. Los datos obtenidos acerca de megaincendios e incendios con impactos considerables (daños ambientales o afectaciones de personas, bienes o infraestructuras) se integraron en una base de datos donde se definieron tres categorías de impactos: sociales, económicos y ambientales. Además, se incluyeron datos generales de ubicación, fecha, magnitud del incendio, e información acerca del combate y, donde fuera posible, la causa. Cabe mencionar que estas fuentes de datos no son producto de un proceso sistemático, y son por lo general datos tomados al momento, basados en una revisión

superficial del evento en cuestión. Este registro se completó con documentos disponibles en línea de organismos públicos encargados de la prevención y gestión del riesgo de desastres, especialmente del Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred).

RESULTADOS

La dinámica espaciotemporal de los megaincendios en México de 2003 a 2019

En México cada año se registra un número considerable de megaincendios forestales (Fig. 1) con superficies de más de 500 ha (promedio anual de 633 eventos entre 2003 y 2016 según el *Global Fire Atlas*, y 74 según los registros de la Conafor en el periodo 2010-2019) e incluso de más de 1000 ha (*Global Fire Atlas*: 278/año; Conafor: 37/año), mientras que los eventos con una extensión mayor a las 10 000 ha son mucho menos frecuentes (*Global Fire Atlas*: 4/año; Conafor: 3/año). Con respecto a la definición estadounidense de megaincendios (> 40 468 ha), solo existen registros excepcionales en el 2011; en este año, los incendios en el estado de Coahuila ocasionaron la quema de 367 845 ha, de acuerdo con el *Global Fire Atlas*, y 320 000 ha según los registros de la Conafor (Fig. 2; Tabla 1). Cabe mencionar que el dato del *Global Fire Atlas* considera la superficie total quemada en al menos un momento; y no contempla zonas donde se mitigó el incendio y posteriormente se volvió a activar.

Las diferencias de las cifras entre los datos que ofrecen el *Global Fire Atlas* y la Conafor se atribuyen a que no para todos los incendios registrados por la Conafor fueron disponibles los datos para estimar su tamaño (marcados como “no disponible” en las figuras 1 y 2). Además, el *Global Fire Atlas* registra incendios en áreas forestales y no forestales relacionadas con quemadas en áreas de cultivo, pastizales cultivados y zonas urbanas; pero al basarse en puntos de calor obtenidos a través del sensor MODIS, no registra muchos incendios de menor tamaño (< 21 ha). A pesar de estas diferencias, las dos bases de datos confirman que los megaincendios —de aquí en adelante definidos como incendios en superficies mayores a 500 ha, si no se



proporciona otra información adicional—, si bien ocuparon un porcentaje mínimo de los incendios registrados (7.3% de acuerdo con el *Global Fire Atlas* para el periodo de 2003 a 2016 y 1.0% de acuerdo con la Conafor para el periodo de 2010 a 2019), abarcaron una porción importante de la superficie afectada (*Global Fire Atlas*:

58.0%, Conafor: 45.8%; Fig. 2). Es importante resaltar que, dentro de estos megaincendios, el mayor porcentaje — 55.9% para el *Global Fire Atlas* y 50.3% para la Conafor—, está contenido en el intervalo de 500 ha a 1000 ha de extensión (Fig. 3).

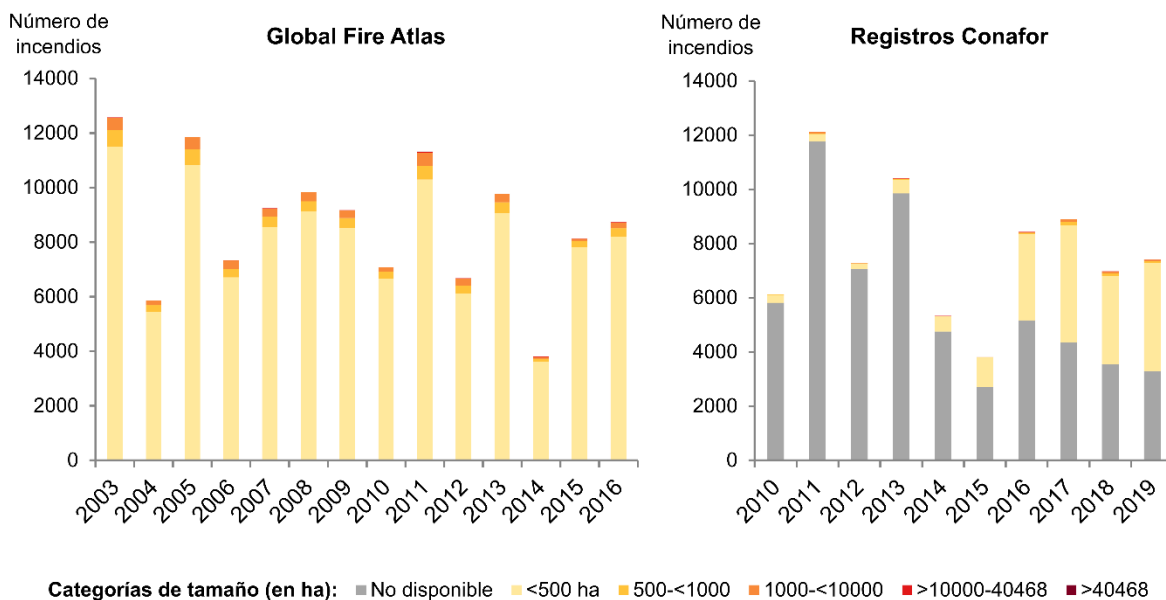


FIGURA 1. Número de incendios de diferentes tamaños en México por año.

Fuente: elaboración propia con base en Andela et al. (2019) y Snigf (2021).

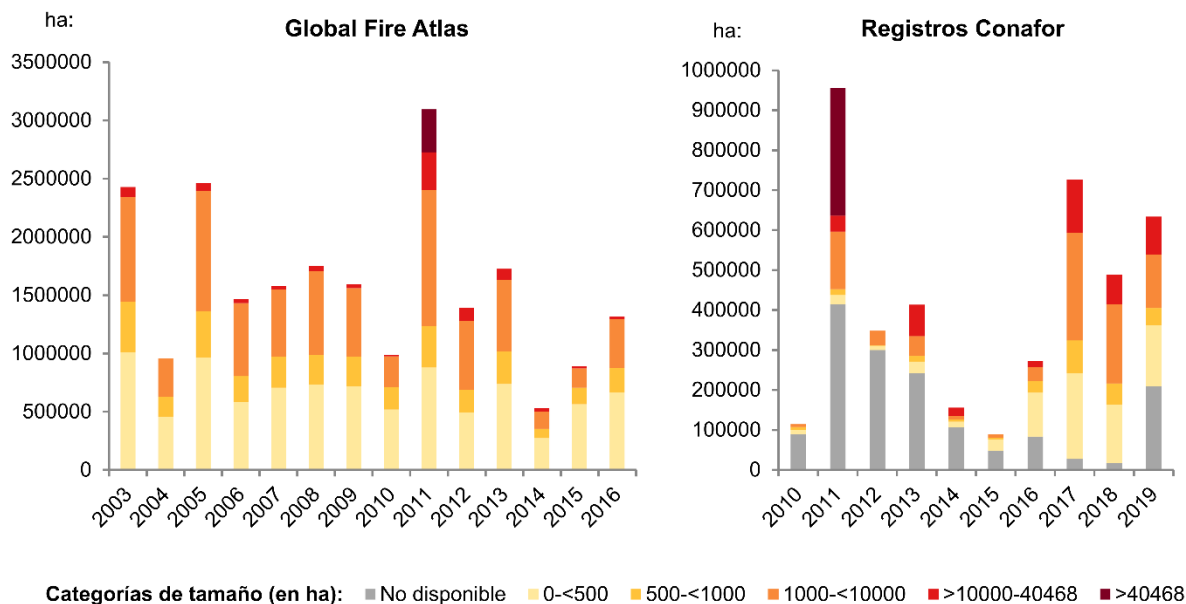


FIGURA 2. Superficie afectada por incendios de diferentes tamaños en México por año.

Fuente: elaboración con base en Andela et al. (2019) y Snigf (2021).

Tabla 1. Los diez incendios de mayor tamaño de México (2003-2019).

Superficie Fire Atlas (ha)	Superficie Conafor (ha)	Fecha	Duración (días)	Estado	Municipio	Causa	Vegetación principal
170 102	170 000	16/03/2011	55	Coahuila	Acuña	Natural	B. pino-encino
155 374	150 000	17/03/2011	54*	Coahuila	Ocampo	Natural	Matorral
20 322	39 980	13/06/2013	20	Sonora	Fronteras	Natural	B. pino-encino
31 962	-	19/10/2007	13	Baja California	Playas de Rosarito	Desconocida	Matorral
27 889	-	28/06/2003	11	Baja California	Tecate	Desconocida	Matorral
25 724	-	06/06/2012	25	Sonora	Nogales	Desconocida	Matorral
24 267	-	13/04/2006	42	Quintana Roo	Cancún	Desconocida	Selva perennifolia
-	23809	26/04/2019	38	Durango	Durango	Desconocida	Bosque mixto
22 380	-	17/04/2011	33	Sonora	Imuris	Desconocida	Matorral
22 209	-	23/09/2009	14	Baja California	Ensenada	Desconocida	Matorral

Fuente: elaboración con base en Andela et al. (2019) y Snigf (2021).

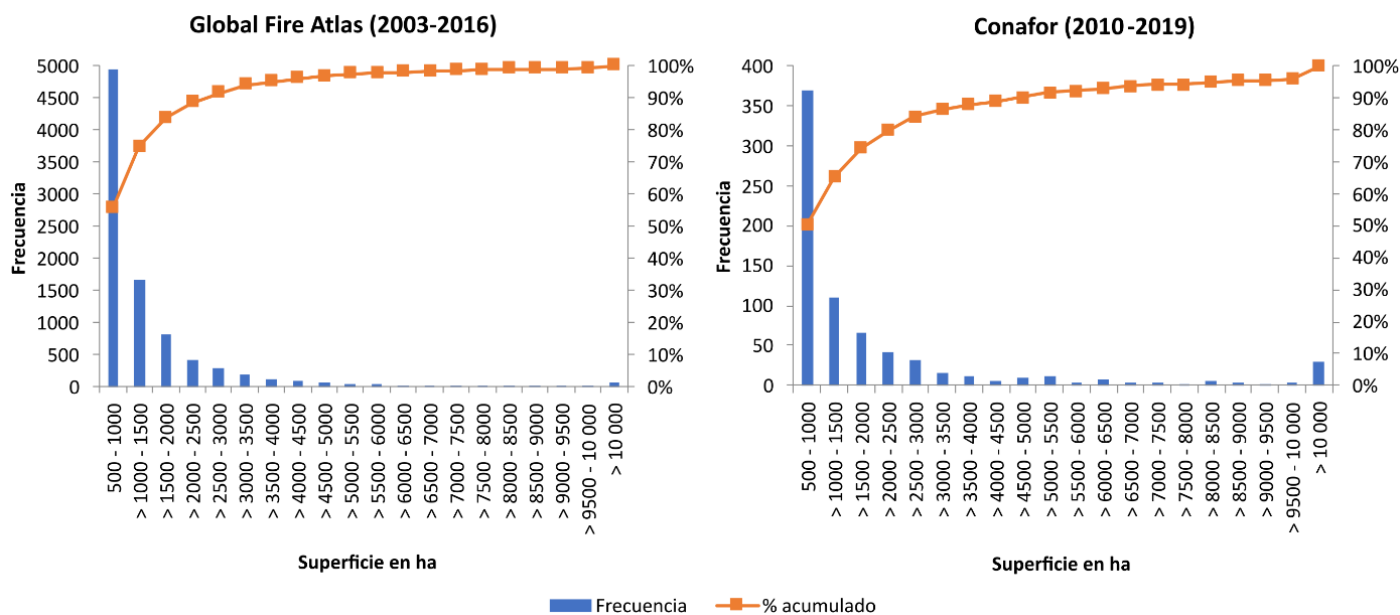


Figura 3. Histograma de la frecuencia de los megaincendios de diferentes tamaños en México.

Fuente: elaboración con base en Andela et al. (2019) y Snigf (2021).



Las dos bases de datos coinciden en la variación anual del número de incendios y la superficie afectada. En las dos fuentes de datos, 2011 tuvo la mayor superficie quemada registrada; en contraste, en 2010 y de 2012 a 2016 la incidencia fue relativamente baja. En este último periodo, 2013 registró el mayor número de incendios y la mayor superficie afectada, y 2014 y 2015 los valores más bajos. Para los años anteriores al 2010, el *Global Fire Atlas* registró valores más altos, sobre todo para los años 2003 y 2005. A su vez, la Conafor presentó mayores números de incendios y de superficies afectadas para los años 2017 a 2019. Por lo tanto, para el periodo 2003-2019 los datos no mostraron una tendencia clara de incremento o decremento con respecto a la incidencia de megaincendios en México.

El porcentaje de la superficie afectada por megaincendios solía ser más alto en años con una alta incidencia de incendios forestales. En este sentido, resalta el año 2011, cuando los megaincendios abarcaron 71.6% de la superficie, de acuerdo con los datos del *Global Fire Atlas*, y 54.3% de la superficie registrada por la Conafor. Dicho organismo, registró que la superficie afectada por los megaincendios fue aún mayor en los años 2017 (66.7%) y 2018 (66.6%). Al contrario, los años con menor porcentaje de megaincendios fueron 2015 con 36.3% de acuerdo con los datos del *Global Fire Atlas*, y 2012, con 10.8% según la Conafor.

La ocurrencia de megaincendios se concentró en abril y mayo (Fig. 4), meses en que la frecuencia de estos eventos superó la de los incendios forestales más pequeños. En los registros obtenidos del *Global Fire Atlas*, 64.8% de los incendios ocurrieron entre abril y mayo; mientras que, para el caso de los megaincendios el porcentaje ascendió a 67.2%. Según la Conafor, este mismo periodo contempló 47.6% de todos los incendios y 64.9% de los megaincendios. En contraste, el porcentaje de megaincendios registrados al final del invierno y a principios de la primavera (febrero y marzo) fue menor en comparación con los registros de los incendios en general. El menor número de incendios y de megaincendios se observó en los meses de otoño (septiembre, octubre y

noviembre), que abarcaron entre 1.3% y 1.7% del total. Este patrón fue parecido para casi todos los estados, con excepción de Baja California, donde la mayor parte de los megaincendios ocurrió en verano (64.1% de junio a agosto, de acuerdo con la Conafor, y 53.7%, según el *Global Fire Atlas*), y otro porcentaje significativo en otoño, entre septiembre y octubre (23.1%, según la Conafor, y 20.1% en los datos del *Global Fire Atlas*). Algunos de los incendios de mayor tamaño observados en México se registraron en este estado durante los meses de verano y otoño (Tabla 1).

En general, los incendios de mayor tamaño (mayores a las 10 000 ha) se registraron en el extremo norte del país, tanto en Coahuila como en el límite entre Sonora y Chihuahua, sobre todo en el Archipiélago Madreño (Fig. 5). La Sierra Madre Occidental concentró el mayor número de megaincendios, tanto en los datos del *Global Fire Atlas* como en los de la Conafor. Otra zona con una concentración destacada de megaincendios fue el extremo noroeste de Baja California. Asimismo, la Conafor provee datos de mayores agrupaciones de megaincendios alrededor de la Sierra Madre Oriental, la costa sur del Pacífico y el estado de Quintana Roo. En el caso de los datos del *Global Fire Atlas*, los registros de megaincendios se distribuyeron a lo largo de todo el país, y solo algunas regiones quedaron exentas, sobre todo en la región del desierto de Chihuahua, en el centro-norte de México.

La tabla 2 presenta las cifras por estado para los años 2010 a 2016 —en los cuales se cuenta con información del *Global Fire Atlas* y de la Conafor—, y las sumas de todos los años que contienen ambas bases de datos. Los resultados permiten apreciar diferencias significativas entre los dos registros, no obstante, algunos estados aparecen en ambas fuentes de datos entre los de menor incidencia, sobre todo aquellos con poca extensión territorial y altas densidades de población en el centro del país. En contraste, los estados del norte y sur de México concentraron el mayor número de megaincendios y la mayor superficie afectada. Según la Conafor, la mayor superficie se observó en el norte del país, pero en los registros del *Global Fire Atlas*, el valor de superficie afectada fue más alto en los estados hacia el sur.

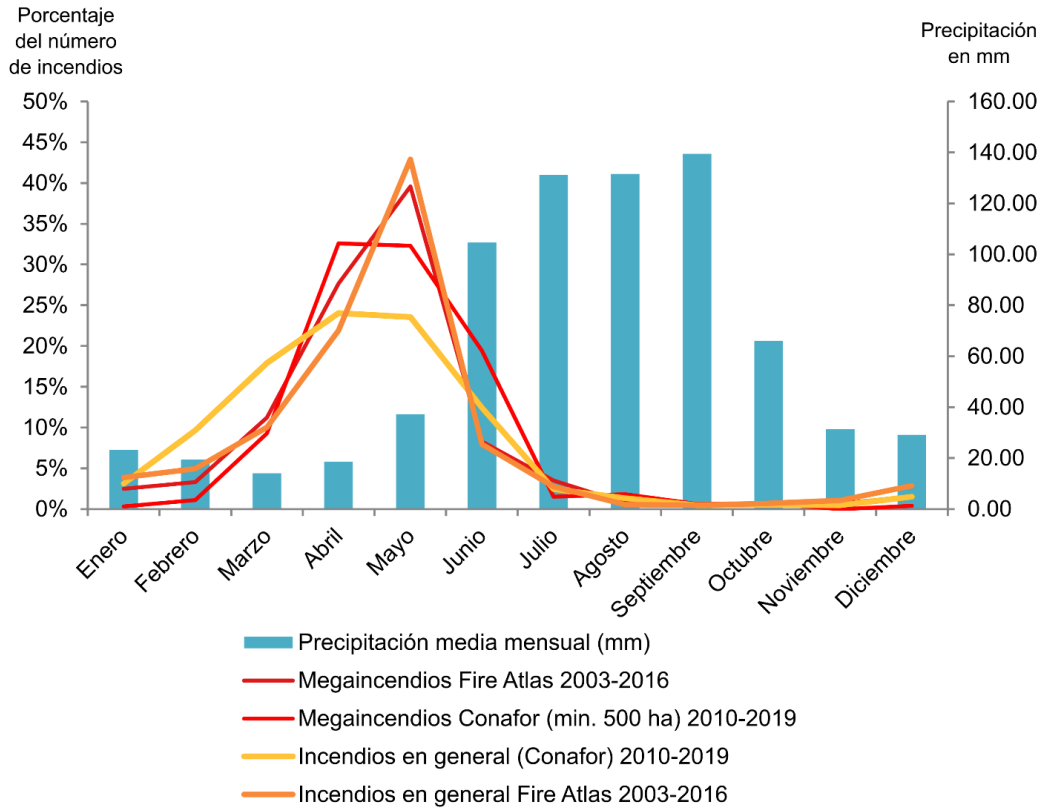


FIGURA 4. Dinámica estacional de los megaincendios en México.

Fuente: elaboración con base en Andela et al. (2019), Snigf (2021) y Cicese (s. f.).

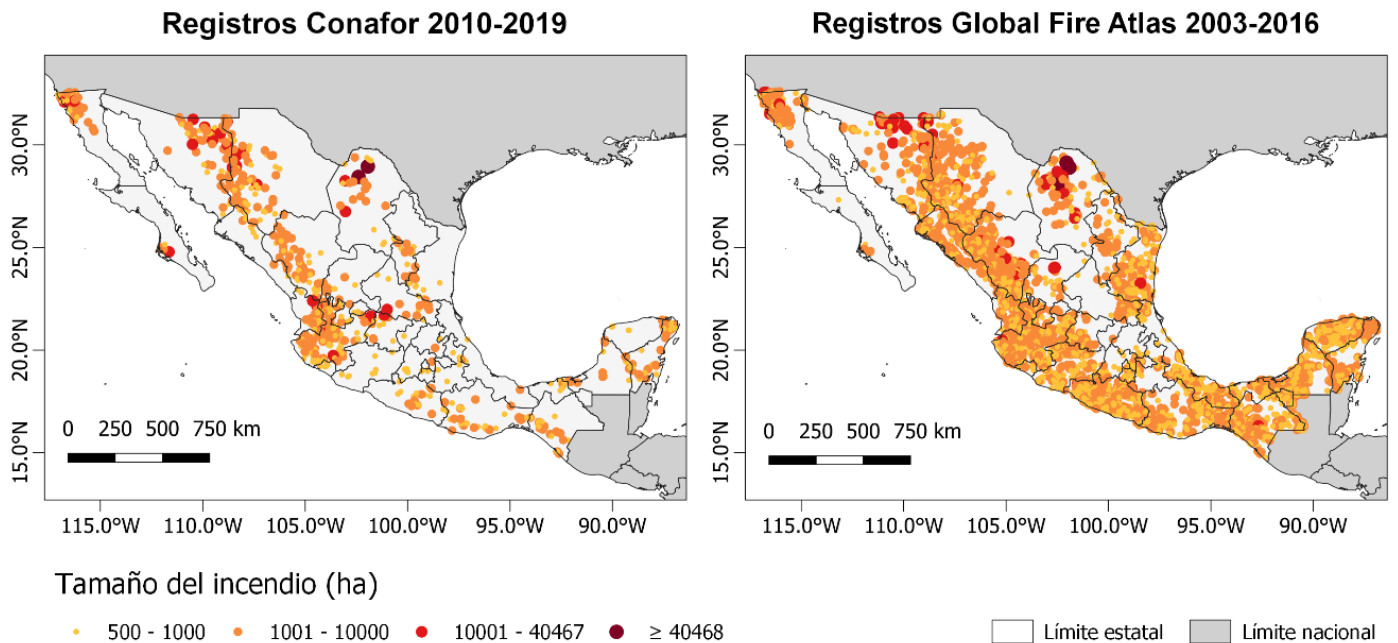


FIGURA 5. Distribución espacial de los megaincendios en México.

Fuente: elaboración con base en Andela et al. (2019) y Snigf (2021).

TABLA 2. Megaincendios (≥ 500 ha) a escala estatal.

	<i>Global Fire Atlas</i>				Conafor			
	2003-2016		2010-2016		2010-2016		2010-2019	
	Núm.	ha	Núm.	ha	Núm.	ha	Núm.	ha
Norte	2491	3950669	1182	1941329	108	648419	346	1300581
Baja California	134	334464	54	101855	17	28523	39	121902
BCS	6	14117	6	14117	5	22986	5	22986
Chihuahua	10	9181	4	3253	15	53274	87**	292757**
Coahuila	686**	955030**	280**	349254	9	364300**	26	384291**
Durango	558	977030**	262	497690**	21**	33099	71**	119081
Nuevo León	40	57990	28	41965	10	15930	12	18691
Sinaloa	566	747913	283**	382584	2	1820	8	18549
Sonora	272	559119	157	390241	19	115506**	65	279772**
Tamaulipas	171	200828	96	118265	3	6461	11	13937
Zacatecas	48	94997	12	42105	7	6520	22	28615
Centro	2284	2754801	961	1163473	63	64800	228	376739
Aguascalientes	2*	3468*	0*	0*	0*	0*	4	3320
Colima	372	520763	254	364641	4	2482	7	4314
CDMX	2*	1562*	2*	1562*	0*	0*	0*	0*
Guanajuato	198	219938	33	39985	3	3863	11	23701
Hidalgo	4	3039*	2*	1712*	1	1252	1*	1252*
Jalisco	632	807125	222	265552	31**	29360	121**	207398
México	27	24675	9	8154	1	500	6	5680
Michoacán	360	365158	141	147568	3	1878	8	5497
Morelos	15	10208	5	2996	4	2506	6	3553
Nayarit	278	406199	117	158641	0*	0*	35	83719
Puebla	31	28653	8	6527	3	4757	8	9018
Querétaro	4	5823	3	4025	1	758	3*	2571*
San Luis Potosí	41	53569	27	41023	7	12336	12	21067
Tlaxcala	3*	9074	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Veracruz	315	295547	138	121087	5	5108	6	5649
Sur	3293	4654548	1240	2046301	64	118034	161	244600
Campeche	767**	899003	269	283137	10	13331	17	38379
Chiapas	79	676352	50	626411**	9	8513	28	31670
Guerrero	1189**	1596812**	483**	632314**	7	5306	24	22973
Oaxaca	461	549073	201	233963	2	2472	37	44537
Quintana Roo	162	273673	84	122230	26**	76880**	39	89954
Tabasco	304	316296	78	89913	7	5076	8	5920
Yucatán	331	343339	75	58333	3	6456	8	11167
Interestatales	794	1509290	316	653892	-	-	-	-
Nacional	8862	12869308	3699	5804993	237	840329	735	1921920

Nota: se marcan con el símbolo de ** los estados con mayor superficie acumulada; y con * los estados con menor superficie acumulada. Fuente: elaboración con base en Andela et al. (2019) y Snigf (2021).

La tabla 3 muestra que el mayor tamaño promedio de los megaincendios se presentó en el norte del país, mientras que los de menor superficie promedio estuvieron en el centro. La diferencia es particularmente destacada en los datos de la Conafor; con esto se explica por qué, si bien el número de incendios en el norte fue más alto, la discrepancia en la superficie fue aún mucho mayor.

Las causas de los megaincendios

La ocurrencia de los megaincendios en México se relacionó con el régimen pluviométrico. Los meses de mayor incidencia de megaincendios coincidieron con la parte final de la temporada más seca del país (febrero a mayo; Fig. 4). De acuerdo con la distribución mensual de la precipitación en México (1961-2000), obtenida a través de la base de datos en malla de CLICOM (Cicese, 2021), en el periodo comprendido entre noviembre y abril se observaron alrededor de 173 mm en promedio, lo que representó solo 23% de la precipitación anual. La figura 4 sugiere que los megaincendios, en comparación con los incendios forestales en general, se concentraron más en los tiempos de menor disponibilidad de agua. Se puede recalcar cómo en el mes de junio, que se presenta como el mes inicial del temporal de lluvias en México, se observa una caída drástica en el número de incendios y megaincendios. Si bien esta dinámica estacional es regular en prácticamente todo el territorio nacional, existe el caso extraordinario del estado de Baja California.

La variación anual de los incendios forestales y de los megaincendios también ha sido relacionada con oscilaciones climáticas. Estudios previos han mencionado que ENOS juega un papel determinante en este contexto a partir de los impactos que este fenómeno tiene en la generación de precipitaciones en el país, y, por ende, en la generación de periodos húmedos y secos prolongados (Cerano-Paredes et al., 2021; Corona-Núñez et al., 2020). También se han encontrado efectos diferenciados a escala local del impacto de ENOS en la generación de incendios en México (Farfán et al., 2021). En el presente estudio, los años con mayores afectaciones por megaincendios en México se relacionaron con las fases neutra y negativa de ENOS: 2003, 2004 y 2011.

Por el contrario, las menores afectaciones se ubicaron en la fase positiva de ENOS, en 2015.

Otros eventos singulares, como la ocurrencia de ciclones tropicales previo a los megaincendios, han sido mencionados también como factores que incrementan el riesgo de generación de estos fenómenos. Lo anterior, debido a la acumulación de materia orgánica que puede servir como combustible (Rodríguez-Trejo, 2011; López-Portillo et al., 1990). Para el caso que aquí se presenta, no se encontró una correlación clara sobre temporadas de ciclones tropicales más o menos activas y su incidencia sobre la generación de materia orgánica útil como combustible.

Con respecto a la relación entre la precipitación y los megaincendios los resultados muestran que, en términos generales, los mayores impactos de los megaincendios (por ejemplo, 2003, 2005 y particularmente 2011) se relacionaron con anomalías negativas de precipitación (Fig. 6). El periodo 2010-2011 es un caso interesante. En este se observa, primero, una anomalía positiva fuertemente marcada y relacionada con un periodo húmedo en el país. Este periodo puede ser entendido como un generador de materia orgánica, que, para el siguiente año, durante un constante y marcado periodo de sequía, fue transformado en una gran cantidad de combustible que detonó en el año con mayor cantidad de hectáreas quemadas a escala nacional. En el periodo comprendido entre 2003 y 2005, la relación entre precipitación e impactos por megaincendios es clara. Los periodos de sequía en 2003 y 2005 se asociaron con altos impactos por el fuego, mientras que el año húmedo 2004 se destacó por su baja cantidad de afectaciones por megaincendios. Dicha relación no fue tan clara para el periodo 2006-2009, donde las hectáreas afectadas por los megaincendios parecen estables y se pueden observar transiciones de periodos húmedos y secos. Es importante notar que estas relaciones se enmarcaron en el contexto nacional, por lo que la influencia de fenómenos locales o regionales, no fueron captadas en este nivel de análisis. Asimismo, se entiende a la ocurrencia de los megaincendios como multifactorial, donde estos no son modulados únicamente por la disponibilidad de agua, sino



TABLA 3. Tamaño promedio de los megaincendios forestales a escala estatal.

	<i>Global Fire Atlas</i>		Conafor	
	2003-2016	2010-2016	2010-2016	2010-2019
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
Norte	1586	1642	6004	3759
Baja California	2496	1886	1678	3126
BCS	2353	2353	4597	4597
Chihuahua	918	813	3552	3365
Coahuila	1392	1247	40478	14780
Durango	1751	1900	1576	1677
Nuevo León	1450	1499	1593	1558
Sinaloa	1321	1352	910	2319
Sonora	2056	2486	6079	4304
Tamaulipas	1174	1232	2154	1267
Zacatecas	1979	3509	931	1301
Centro	1206	1211	1029	1652
Aguascalientes	1734	0	0	830
Colima	1400	1436	621	616
CDMX	781	781	0	0
Guanajuato	1111	1212	1288	2155
Hidalgo	760	856	1252	1252
Jalisco	1277	1196	947	1714
México	914	906	500	947
Michoacán	1014	1047	626	687
Morelos	681	599	627	592
Nayarit	1461	1356	0	2392
Puebla	924	816	1586	1127
Querétaro	1456	1342	758	857
San Luis Potosí	1307	1519	1762	1756
Tlaxcala	3025	0	0	0
Veracruz	938	877	1022	942
Sur	1413	1650	1844	1519
Campeche	1172	1053	1333	2258
Chiapas	8561	12528	946	1131
Guerrero	1343	1309	758	957
Oaxaca	1191	1164	1236	1204
Quintana Roo	1689	1455	2957	2307
Tabasco	1040	1153	725	740
Yucatán	1037	778	2152	1396
Interestatales	1901	2069	-	-
Nacional	1452	1569	3546	2615

Fuente: Elaboración con base en Andela et al. (2019) y Snigf (2021).

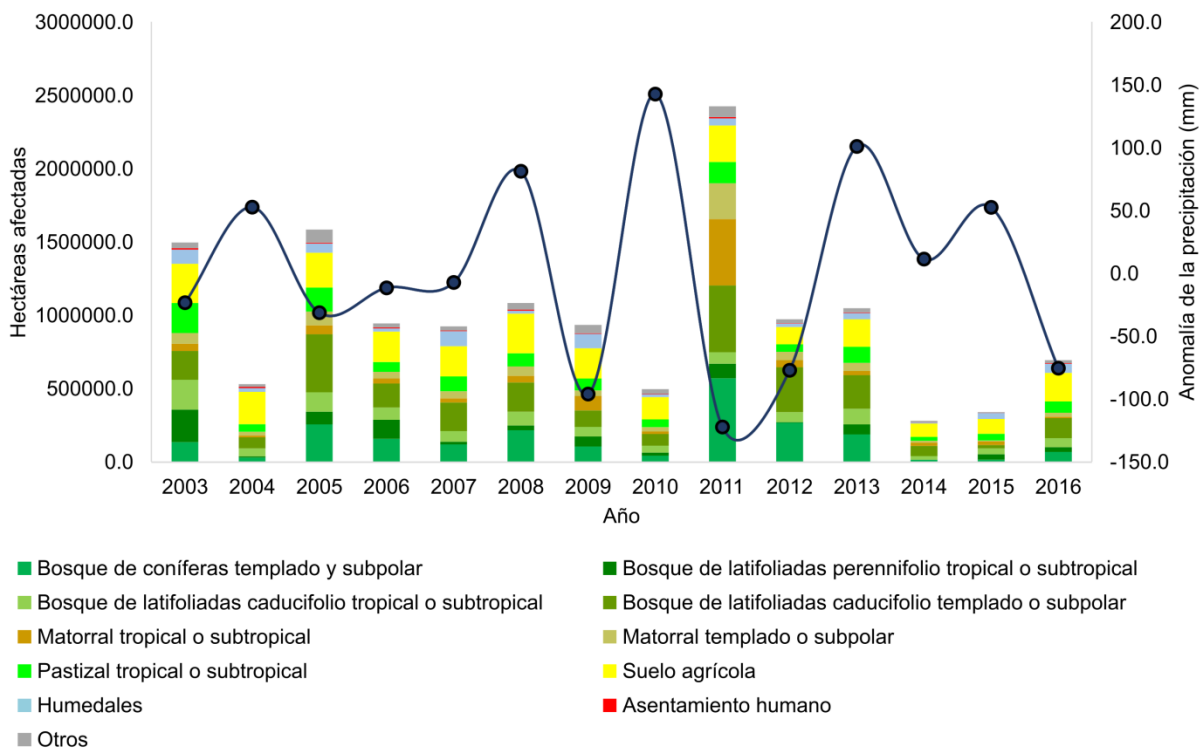


FIGURA 6. Hectáreas afectadas por incendios > 500 ha y anomalía anual de precipitación en México para el periodo 2003-2016.

Fuente: elaboración con base en Conabio (2020), Andela et al. (2019) y SMN (2021).

también, por otros elementos tanto naturales y principalmente antrópicos que los pueden llegar a detonar.

A pesar del rol significativo del clima para la generación de condiciones propicias para los megaincendios, la causa de ignición directa comúnmente proviene de alguna actividad humana. Como se mencionó anteriormente, los datos sobre las causas directas de los incendios forestales solo se pudieron recuperar en los datos disponibles por la Conafor (Fig. 7). En esta base de datos, para 27.2% de los eventos, se registró causa desconocida; si bien predominaron las causas antrópicas, 9.2% de los megaincendios tuvieron alguna causa natural; por ejemplo, descargas eléctricas. Los megaincendios presentaron un porcentaje mucho más alto de causas desconocidas y de causas naturales que los incendios forestales en general. Esto se debe a la gran cantidad de megaincendios en el norte del país, donde para 37% la causa fue desconocida y

para 18.5% la causa registrada fue natural; incluso algunos de los incendios más grandes fueron causados por rayos (Tabla 1).

La tercera causa de megaincendios en el norte del país fueron las fogatas con 10.2%, seguido de las actividades agropecuarias con 9.9%. A escala nacional, el uso del fuego en la agricultura y la ganadería conformaron la principal causa de incendios registrada por la Conafor (28.3%); pero en el centro del país esta causa fue responsable de hasta 46% de los mismos. La segunda causa más importante en el centro de México fueron los actos de vandalismo (16.8%), seguido de las fogatas (8%). En el sur del país las principales causas fueron las actividades agropecuarias (37%) y el uso del fuego por cazadores (21.6%). Esta última es una causa muy particular en esta zona del país; comparado con en el centro y el norte donde se encontró por debajo de 1%.

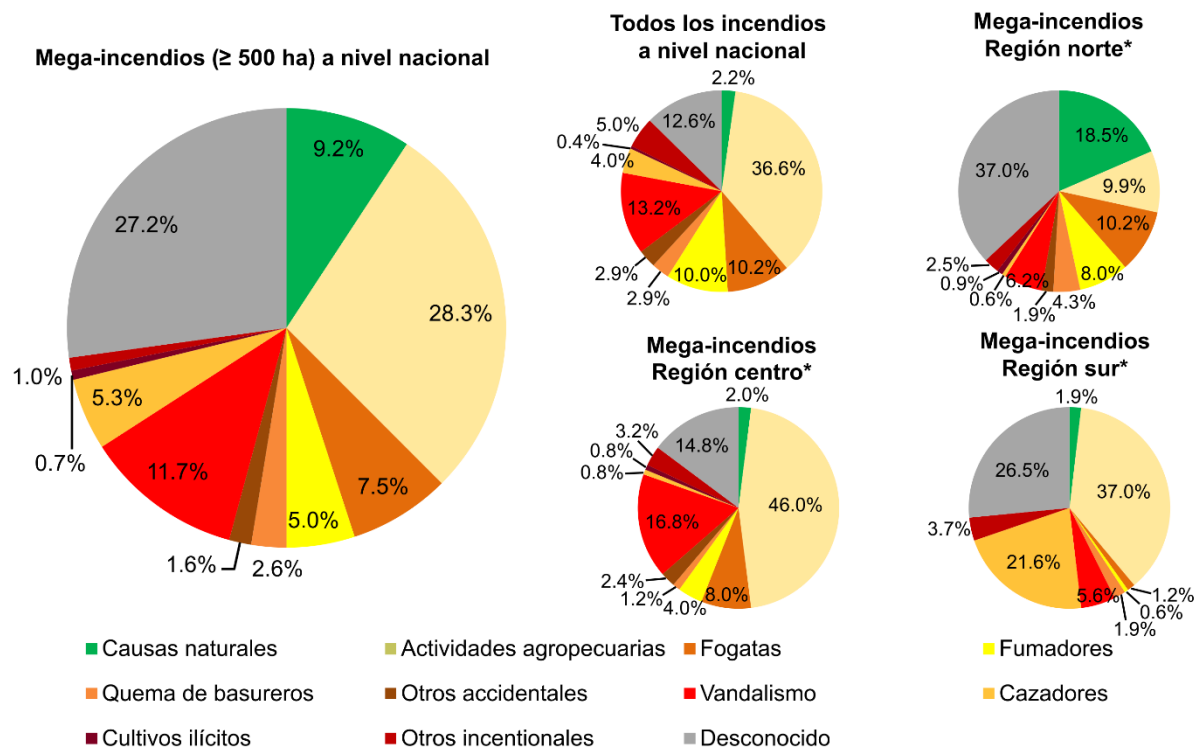


FIGURA 7. Causas de los megaincendios en México (por número de incendios), 2010-2019.

Fuente: elaboración con base en datos del Snigf (2021). Para la definición de las regiones véase la tabla 2

Los efectos de los megaincendios

El único dato con respecto a los efectos de los incendios forestales que se monitorea de manera consistente en los registros de la Conafor es el ecosistema afectado. En general se registra un tipo de vegetación por evento de incendio; esto resulta útil para incendios forestales de menor tamaño; los megaincendios, por el contrario, generalmente afectan una variedad de ecosistemas. Por lo tanto, para este estudio se compararon los datos de la Conafor y del *Global Fire Atlas* con los datos de vegetación y uso de suelo a 30 metros para el año 2015 de la Conabio (2020) (Fig. 6 y 8). En ambas fuentes los tipos de vegetación más afectados por los megaincendios fueron los bosques de coníferas y latifoliadas en zonas templadas del país; se trata de ecosistemas en los cuales la mayoría de las especies muestra adaptaciones a regímenes del fuego con cierta frecuencia de ocurrencia de incendios; sin embargo, si estos eventos son demasiado frecuentes y severos, pueden causar efectos adversos (Jardel et al., 2017; Rodríguez-Trejo,

2014). También fueron considerables las afectaciones en ecosistemas sensibles al fuego, como en las selvas húmedas —bosque de latifoliadas perennifolio tropical o subtropical—, que alcanzaron más de 10% de la superficie quemada en algunos años (Fig. 6). La mayor diferencia entre las fuentes radicó en una mayor superficie de matorrales quemados registrada por la Conafor y afectaciones mayores en pastizales y campos agrícolas registrados por el *Global Fire Atlas*. Los asentamientos humanos ocuparon un porcentaje mínimo.

La Conafor también registra el tipo de impacto, un indicador que mide el porcentaje del arbolado afectado. Para los incendios forestales en general, en 90.5% de los casos el impacto fue categorizado como mínimo, para 8.3% fue moderado y para 1.2% severo. Para los megaincendios, los eventos con impacto severo fueron menores (6.1%) que los de impactos moderados (26%). Además, la Conafor registró en 129 casos que los megaincendios afectaron áreas naturales protegidas, con una superficie quemada de 237 574 ha.

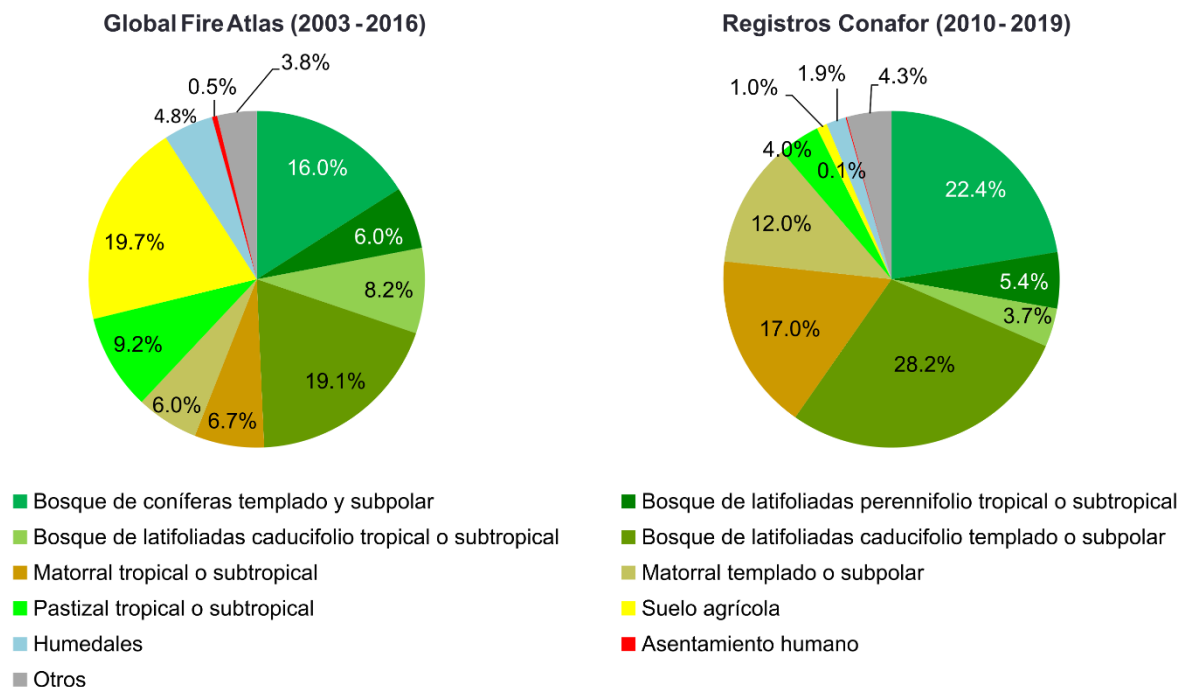


FIGURA 8. Tipos de vegetación y otros usos de suelo afectados por incendios > 500 ha en México.
Fuente: elaboración con base en datos de Conabio (2020), Andela et al. (2019) y Snigf (2021).

Para el periodo de 2015 a 2017, los registros de la Conafor también incluyeron información acerca de los costos del combate de los incendios. Según estos datos, el combate de un incendio forestal tenía un costo, en promedio, de MXN 27 331 (pesos mexicanos). Para los incendios de superficies mayores a 500 ha, el costo promedio fue más de diez veces más alto, con MXN 322 178; para incendios en áreas mayores a 1000 ha, el costo fue de MXN 493 518; y para los incendios de más de 10 000 ha, fue alrededor de MXN 690 685. En total, el combate de los megaincendios registrados en el periodo tuvo un costo de MXN 88.3 millones, 37% del costo de todos los incendios forestales en este periodo.

Por otra parte, los informes anuales del Cenapred sobre los impactos socioeconómicos de los desastres en el país, por lo general, presentan datos agregados de todos los incendios forestales. Solo en contadas ocasiones se hace referencia a eventos singulares (Cenapred, 2021). Una excepción notable son los incendios forestales en Coahuila

en 2011 que se describieron de manera detallada, y donde los daños registrados fueron principalmente ambientales. Para estos eventos, el Fondo de Desastres Naturales (Fonden) aportó MXN 204 millones para la restauración natural, la reforestación con 12 millones de árboles y 40 millones de plantas arbustivas. También se otorgaron MXN 224 millones por parte de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) para agricultores y ganaderos afectados, sobre todo para la adquisición de alimento para el ganado. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) declaró que la fauna “no presentó afectaciones”.

Existen algunos otros registros puntuales en los informes del Cenapred sobre daños en áreas de cultivo y/o pastizales, como un incendio en San Luis Potosí en 2002 con una superficie de 1088 ha y un daño de MXN 88.1 millones; y un incendio en Chihuahua, en el mismo año de aproximadamente 1000 ha y un daño de MXN 41 millones. En total, el Cenapred estimó daños de MXN 7582.7



millones por incendios forestales para el periodo 2002-2019. Sin embargo, este dato se tiene que tratar con cautela, ya que para muchos años el daño se estima simplemente multiplicando el número de hectáreas afectadas, estimadas por la Conafor, por un factor de 1000 a fin de alcanzar la cantidad de daño en pesos mexicanos. Finalmente, el Cenapred señala que entre 2002 y 2019 fallecieron 41 personas a causa de incendios forestales, 204 viviendas resultaron dañadas y 190 personas estuvieron damnificadas.

Dada la falta de datos oficiales, en este estudio se realizó un análisis hemerográfico basado en reportes de los

principales medios de comunicación del país. Los datos que se obtuvieron contrastan destacadamente con la información del Cenapred; por ejemplo, para el Día Internacional del Combatiente Forestal, distintos medios mencionaron que la Conafor conmemoraba el fallecimiento de 239 personas en el combate de incendios forestales entre 1998 y 2020. Asimismo, entre los principales impactos de los megaincendios en la sociedad, se identifican las afectaciones de viviendas y evacuaciones de personas en dimensiones que no habían sido registrados por el Cenapred (Tabla 4).

TABLA 4. Megaincendios en México con impacto social considerable publicados en medios de comunicación.

Fecha	Lugar	Estado	Tamaño (ha)	Impactos	Fuente principal
04/2011	Valles, Tancanhuitz, Alaquines, Tamascopo, Xilitla	San Luis Potosí	Varios incendios con hasta 1800 ha (datos Conafor)	47 viviendas dañadas, 420 personas desalojadas, 4 desaparecidos	Excélsior
04/2012	Canatlán	Durango	10 000	Suspensión de actividades educativas en Canatlán por varios días por el humo	Expansión
08/2012	Tecate	Baja California	4000	13 viviendas dañadas	El Economista
03/2013	Ciudad Valles	San Luis Potosí	3797	24 viviendas dañadas, 700 personas desalojadas, 337 personas intoxicadas por humo, 1 persona fallecida	Proceso
03/2019	Las Vigas	Veracruz	500	Evacuación de 2000 personas	Aristegui Noticias
10/2019	Tecate, Tijuana, Ensenada, Rosarito	Baja California	> 14 000	308 viviendas dañadas, 1645 personas desalojadas, 3 personas fallecidas, cierre de escuelas	Animal Político
03/2020	Zautla	Puebla	1400	13 viviendas dañadas, 45 personas desalojadas	La Jornada de Oriente
04/2020	Nicolás Flores	Hidalgo	Afectó varias comunidades, se supone que se trató de un megaincendio	1400 personas desalojadas	La Silla Rota Hidalgo
12/2020	Tecate, Tijuana	Baja California	4000	Afecta tres ranchos y grandes áreas de pastizales	El Heraldo de México
03/2021	Sierra de Arteaga	Coahuila/Nuevo León	12 000	80 viviendas dañadas, 1100 personas desalojadas	El Economista

Fuente: elaboración con base en el análisis hemerográfico.

Es importante señalar que algunos de los datos previamente mencionados contemplan el periodo 2020-2021; y que, al momento de la redacción del presente manuscrito, no se encontraron disponibles los registros del Cenapred para ese mismo periodo. También para años anteriores existieron diferencias; por ejemplo, para 2011 y 2012, el Cenapred no indicó que hubiera viviendas dañadas a escala nacional, para el 2013 en el estado San Luis Potosí se registraron 24 viviendas dañadas y 120 damnificados, y para el 2019 se documentaron 129 viviendas dañadas. Asimismo, se encontró información sobre afectaciones ambientales, como una nota del periódico *Excelsior* acerca de la muerte de un oso negro *Ursus americanus* debido a uno de los incendios en Coahuila en abril 2011, contrario a las declaraciones oficiales de que no hubo fauna afectada. Cabe mencionar que este tipo de publicaciones son escasas y en su mayoría poco precisas. En general, la información hemerográfica a menudo es incompleta, las fechas de inicio y fin de los incendios y su ubicación frecuentemente son confusas y comúnmente no se indica la superficie afectada, por lo que en muchos casos no se pudo determinar si los daños observados se dieron a causa de un megaincendio. Además de esta información, no hay registros consistentes de los costos y daños de megaincendios en la sociedad y la economía en México.

DISCUSIÓN

En la literatura no hay un consenso sobre la superficie que caracteriza un megaincendio. Los resultados del presente estudio demuestran que, si bien los eventos de más de 40 469 ha, considerados como megaincendios en los EE. UU., son excepcionales en México; eventos con extensiones de entre 500 ha y 1000 ha son recurrentes en el territorio, comprobando así el primer planteamiento de la hipótesis de este trabajo. En el norte del país, incluso se ha registrado una cantidad considerable de incendios de más de 10 000 ha. Esta discrepancia territorial indica que no resulta conveniente definir un límite exacto del número de hectáreas para definir los megaincendios, tal como lo discuten Tedim et al. (2018) a escala internacional. Por lo tanto, la definición de los megaincendios debe estar en

función de la proporción frecuencia y tamaño, como las categorías que Manzo-Delgado (2016) propone para México: Nivel I (< 50 ha, muy baja relevancia), Nivel II (51 ha - 100 ha, baja relevancia), Nivel III (101 ha - 1000 ha, moderada relevancia), Nivel IV (1001 ha - 3000 ha, alta relevancia), y Nivel V (> 3000 ha, gran relevancia). Además, sería conveniente considerar la severidad de los incendios, por lo que se destaca la necesidad de contar en México con cartografía a escala nacional acerca de este aspecto, usando sensores de mediana escala como se ha desarrollado en estudios en EE. UU. (Eidenshick et al., 2007; Parks et al., 2018).

En línea con la hipótesis, los resultados presentados revelan que los megaincendios ocurrieron en primer lugar en ecosistemas templados y adaptados al fuego. De igual forma, se encontró evidencia para la relación estrecha de los megaincendios con las condiciones meteorológicas. En este sentido, queda evidenciada la importancia del régimen pluviométrico en la dinámica estacional de los megaincendios. Sobre la variabilidad interanual de los incendios y megaincendios, para el periodo analizado, también se identificó el rol de los cambios en los patrones de precipitación. Así como se señalan estudios previos en otras partes del mundo, los megaincendios muchas veces son resultado de condiciones climáticas de extrema sequía (Castellnou et al., 2018; Collins et al., 2021; Ferreira-Leite et al., 2015; Stephens et al., 2014). En México, esto aplica sobre todo para los incendios ocurridos en 2011.

Debido a que el enfoque del análisis se definió a escala nacional, los patrones regionales no pudieron ser evidenciados y, en cierta medida, pueden generar discrepancias. Los resultados encontrados indican que, bajo un contexto nacional, y para los años más extremos, la fase negativa y neutral del ENOS muestra una mayor relación con los años donde mayor número de incendios y megaincendios fueron registrados. Independientemente de que los años más extremos (en cuanto a megaincendios se refiere) se hayan identificado sobre periodos con influencia de las distintas fases del ENOS, en este momento no es posible encontrar una conexión clara del impacto de esta oscilación climática para la generación de megaincendios en



el país. Es importante recalcar que esto puede relacionarse con que el análisis realizado está enfocado a escala nacional, sin considerar la dinámica regional y local. Como mencionaron Coen et al. (2018), la realización de análisis a escala macro sobre la relación entre megaincendios y clima pueden llevar a conclusiones erróneas.

Por lo tanto, el impacto de las oscilaciones climáticas en la generación de incendios a escala local es diferenciado y requiere de estudios a profundidad para regiones particulares del país, como se ha aplicado en diferentes casos, pero sin un enfoque particular en megaincendios (Cerano-Paredes et al., 2016; 2021; Farfán et al., 2021; Yocom et al., 2010; Zúñiga-Vázquez y Pompa-García, 2018). Como una herramienta de gran utilidad para futuros estudios en este ámbito, tanto nacionales como regionales, se podrían utilizar el índice de sequedad de los combustibles acumulados (*Accumulated Fuel Dryness Index*) y el índice satelital de verdor de los combustibles (*Satellite Fuel Greenness Index*; Vega-Nieva et al., 2018; Vega-Nieva et al., 2019).

Sin embargo, es importante considerar que la relación entre ENOS y la incidencia de incendios no solo difiere a escala regional, sino también puede cambiar en el tiempo, con asociaciones significativas en ciertos periodos, pero sin una asociación clara en otros, como demostraron Yocom et al. (2010) en un estudio de caso en Nuevo León.

Un área donde existe mayor conocimiento sobre la relación entre incendios y clima es Baja California, un estado cuyo patrón de incidencia estacional de megaincendios difiere destacadamente del resto del país. Esto puede atribuirse, en primera instancia, a temporadas de sequía más severas, vientos intensos y caída de rayos durante el verano (Keeley y Fotheringham, 2001; Minnich et al., 1993), y posteriormente los Vientos de Santa Ana en otoño (Westerling et al., 2004; Álvarez y Carbajal, 2019).

Además, el estudio encontró, tal como se había planteado en la hipótesis, que gran parte de los megaincendios son causados por actividades humanas y que estas igniciones afectan de manera adversa a la sociedad y al medio ambiente. Sin embargo, el conocimiento acerca de estos aspectos es incompleto porque, en muchos casos,

la causa de los incendios se indica como ‘desconocida’, y por falta generalizada de datos acerca de los impactos. Se mostró que, en México, los megaincendios conforman una parte mínima del número total de incendios, pero son responsables de un porcentaje considerable de los impactos, tal como se ha observado en otros países como EE. UU., Canadá, Portugal y España (Ferreira-Leite et al., 2015).

El entendimiento de las causas directas y los impactos de los megaincendios requiere de la disponibilidad de datos oficiales, los cuales están disponibles solo de manera parcial. Por ejemplo, los impactos en la flora y fauna, más allá de la superficie de los tipos de vegetación afectados, únicamente se han investigado en estudios de caso aislados (Román-Cuesta y Martínez-Vilalta, 2006; Ortiz-Maciél et al., 2010). Por lo tanto, es imperativo realizar evaluaciones integrales de los impactos de los incendios en la composición de especies de flora y fauna en el sotobosque y en los suelos de manera sistemática, tomando como referencia avances a escala internacional como los publicados por Adams et al. (2013), Jones et al. (2019) y Wood (2022).

Los efectos socioeconómicos de los incendios forestales hasta la fecha han sido un tema poco considerado en México, bajo el supuesto de que —al contrario de otros países— en el país la gran mayoría de los incendios ocurren en zonas periféricas, alejadas de las áreas urbanas. El presente trabajo confirmó que los asentamientos humanos solamente conforman una parte mínima de la superficie afectada por megaincendios. Sin embargo, el análisis hemerográfico reveló que los impactos nocivos son mayores a los que se ven reflejados en los datos oficiales. Además, se observa un aumento de los impactos en los últimos años, lo cual abre la pregunta para futuras investigaciones de cuáles han sido las causas de esta tendencia.

Algunos aspectos sobre los cuales no se encontró información relevante fueron el efecto del humo de los megaincendios en la salud humana, que se ha documentado a escala global (Johnston et al., 2021; Jones y McDermott, 2021), y las consecuencias a mediano y largo plazo de los

megaincendios como inundaciones y deslizamientos de tierras que se han observado en otros países (de la Barrera et al., 2018; Diakakis et al., 2017); lo cual no quiere decir que estos efectos no existan, sino que se requiere más investigación al respecto.

El presente estudio tiene limitaciones debido a la disponibilidad de datos, pero logró una caracterización novedosa de los megaincendios en el país. Con respecto a las causas e impactos, se integraron todos los datos que se pudieron obtener. Por el contrario, en cuanto a la incidencia de incendios forestales en el país, existen diferentes fuentes. Se eligieron los datos en polígonos de la Conafor y el registro del *Global Fire Atlas*, como dos de los registros que representan con mayor precisión el fenómeno de los megaincendios. Sin embargo, existen otras fuentes que podrían ser integradas en trabajos futuros, como el estudio mencionado de Manzo-Delgado (2016) y el registro de perímetros de conglomerados interpolados de puntos de calor VIIRS (Briones-Herrera et al., 2020), que tiene la ventaja de ser calculado únicamente para áreas forestales.

CONCLUSIONES

El presente trabajo comprueba la hipótesis de que en México es frecuente la incidencia de incendios forestales con superficies por arriba de las 500 ha e incluso de 1000 ha; aunque en menor medida, también se registran eventos de más de 10 000 ha. Los números varían según la fuente consultada, datos oficiales o resultados del análisis satelital. La distribución de estos eventos ocurre en todo el país, aunque los de mayor superficie afectada se registraron en los estados de la frontera norte como Baja California, Sonora y Coahuila, en ecosistemas templados. El número de megaincendios es mínimo en comparación con todos los incendios registrados en México, pero estos son responsables de una porción importante de la superficie afectada.

Se demuestra que los megaincendios tienen una estrecha relación con las condiciones meteorológicas. La causa directa en la mayoría de los casos es de origen antropogénico, aunque existe una porción importante de megaincendios que resultaron de causas naturales, sobre

todo en el norte del país. Con respecto a los efectos, se revela que los megaincendios también abarcan un porcentaje importante de los costos y los daños generados por los incendios forestales en el país.

Más allá de los resultados, este trabajo abre preguntas que podrían guiar nuevas investigaciones en el futuro, sobre todo relacionadas con la aplicación de estudios locales y regionales, con mayor grado de precisión, de las causas y efectos de los megaincendios. Estos estudios se pueden abordar desde diferentes disciplinas; desde las ciencias naturales y las geotecnologías. Es particularmente importante profundizar el conocimiento de la relación de las condiciones meteorológicas y las oscilaciones climáticas con la incidencia de las igniciones de gran tamaño. Con respecto a las ciencias sociales, sería deseable indagar en las causas directas antropogénicas y las condiciones socioeconómicas subyacentes que influyen en la incidencia de los incendios forestales; además, estudios de caso locales podrían generar mayor conocimiento acerca de los impactos. En el mejor de los casos, estos trabajos se realizarán desde una perspectiva interdisciplinaria, para comprender todas las facetas del fenómeno de los megaincendios.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece la retroalimentación brindada por los tres revisores anónimos, que resultó muy valiosa para mejorar este trabajo. También se agradece a la Dirección de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México, por la financiación de este proyecto a través del programa PAPIIT IA-300521.

REFERENCIAS

- Adams, M. A. (2013). Mega-fires, tipping points and ecosystem services: Managing forests and woodlands in an uncertain future. *Forest Ecology and Management*, 294(4), 250–261. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.11.039>
- Álvarez, C. A., & Carbajal, N. (2019). Regions of influence and environmental effects of Santa Ana wind event. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 1019–1034. <https://doi.org/10.1007/s11869-019-00719-3>



- Andela, N., Morton, D. C., Giglio, L., Paugam, R., Chen, Y., Hantson, S., van der Werf, G. R., & Randerson, J. T. (2019). The Global Fire Atlas of individual fire size, duration, speed and direction. *Earth System Science Data*, 11, 529–552. <https://doi.org/10.5194/essd-11-529-2019>
- Barrera, F. de la Barraza, F., Favier, P., Ruiz, V., & Quense, J. (2018). Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. *Science of the Total Environment*, 637–638, 1526–1536. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.119>
- 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., Arrellano-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(12), 2061. <https://doi.org/10.3390/rs12122061>
- Castellnou, M., Guiomar, N., Rego, F., & Fernandes, P. M. (2018). Fire growth patterns in the 2017 mega fire episode of October 15, central Portugal. En D. X. Viegas (Ed.), *Advances in Forest Fire Research* (pp. 447-453). Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres [Cenapred] (2021). *Publicaciones*. <http://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscaindex>
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada [Cicese] (2021). *Compuestos diarios en malla del CLICOM*. <http://clicom-mex.cicese.mx/malla/>
- Cerano-Paredes, J., Iniguez, J. M., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Franco-Ramos, O., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2021). 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., Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Cervantes-Martínez, R., Esquivel-Arriaga, G., Guerra-de la Cruz, V., & 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. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002016000200017>
- Coen, J. J., Stavros, E. N., & Fites-Kaufman, J. (2018). Deconstructing the King megafire. *Ecological Applications*, 28(6), 1565-1580. <https://doi.org/10.1002/eap.1752>
- Collins, L., Bradstock, R. A., Clarke, H., Clarke, M. F., Nolan, R. H., & Penman, T. D. (2021). The 2019/2020 mega-fires exposed Australian ecosystems to an unprecedented extent of high-severity fire. *Environmental Research Letters*, 16, 044029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abeb9e>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]. (2020). *Cobertura del Suelo de México a 30 metros, 2015*. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/nalcms_mx15gw.html
- Corona-Núñez, R. O., Li, F., & Campo, J. E. (2020). Fires Represent an Important Source of Carbon Emissions in Mexico. *Global Biogeochemical Cycles*, 34(12), e2020GB006815. <https://doi.org/10.1029/2020GB006815>
- Diakakis, M., Nikolopoulos, E. I., Mavroulis, S., Vassilakis, E., & Korakaki, E. (2017). Observational evidence on the effects of mega-fires on the frequency of hydrogeomorphic hazards. The case of the Peloponnese fires of 2007 in Greece. *Science of the Total Environment*, 592, 262–276. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.070>
- Dimitrakopoulos, A., Gogi, C., Stamatelos, G., & Mitsopoulos, I. (2011). Statistical analysis of the fire environment of large forest fires (>1000 ha) in Greece. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(2), 327-332.
- Eidenshink, J., Schwind, B., Brewer, K., Zhu, Z.-L., Quayle, B., & Howard, S. (2007). A Project for Monitoring Trends in Burn Severity. *Fire Ecology*, 3, 3-21. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0301003>
- Farfán, M., Dominguez, C., Espinoza, A., Jaramillo, A., Alcántara, C., Maldonado, V., Tovar, I., & Flamenco, A. (2021). Forest fire probability under ENSO conditions in a semi-arid region: a case study in Guanajuato. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(10), 684. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09494-0>
- Ferreira-Leite, F., Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., & da Vinha, L. (2015). Mega-fires around the world: A literature review. En A. J. Bento-Gonçalves, & A. Avelino (Eds.), *Wildland fires: a worldwide reality* (pp. 15-33). Nova Science Publications.
- Galicia, L., Cuevas, M. L., González, L. M., & 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.
- González-Gutiérrez, I., Mas-Causel, J. F., Morales-Manilla, L. M., & Ocegüera-Salazar, K. A. (2020). 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>

- Jardel, E. J., Santana, E., Graf, S. H., Hernández, L., Valencia, C., González, R., & Meiners, M. (2017). Conservación y restauración. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (Eds.), *La Biodiversidad de Jalisco: Estudio de Estado* (pp. 275-316). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/13253.pdf>
- Johnston, F. H., Borchers-Arriagada, N., Morgan, G. G., Jalaludin, B., Palmer, A. J., Williamson, G. J., & Bowman, D. M. J. S. (2021). Unprecedented health costs of smoke-related PM2.5 from the 2019–20 Australian megafires. *Nature Sustainability*, 4, 42–47. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00610-5>
- Jones, B. A., & McDermott, S. (2021). Infant health outcomes in megafire affected communities. *Applied Economics Letters*, online pre-publishing. <https://doi.org/10.1080/13504851.2021.1927959>
- Jones, G. M., Gutiérrez, R. J., Kramer, H. A., Tempe, D. J., Berigan, W. J., Whitmore, S. A., & Peery, M. Z. (2019). Megafire effects on spotted owls: elucidation of a growing threat and a response to Hanson et al. (2018). *Nature Conservation*, 37, 31–51. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.37.32741>
- Keeley, J. E., & Fotheringham, C. J. (2001). Historic fire regime in southern California shrublands. *Conservation Biology*, 15(6), 1536–1548. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.00097.x>
- López-Portillo, J., Keyes, M. R., González, A., Cabrera, E., & Sánchez, O. (1990). Los incendios de Quintana Roo. ¿Catástrofe ecológica o evento periódico? *Ciencia y Desarrollo*, 16 (91), 43-57.
- Manzo-Delgado, L. L. (2016). Incendios forestales de gran relevancia en México: algoritmos y sensor MODIS para su detección y monitoreo. En Moncada Maya J. O., & A. López López (Coords.), *Geografía de México. Una reflexión espacial contemporánea. Tomo I, sección III* (pp. 310-322). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. https://geodigital.igg.unam.mx/geografia_mexico/index.html/g_rals/Tomo_I/geo_mex_igg_c20.pdf
- Minnich, R. A., Vizcaíno, E. F., Ramírez, J. S., & Chou, Y. H. (1993). Lightning detection rates and wildland fire in the mountains of northern Baja California, Mexico. *Atmósfera*, 6(4), 235-253. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56506404>
- Ortiz-Maciél, S. G., Hori-Ochoa, C., & Enkerlin-Hoeflich, E. (2010). Maroon-fronted parrot (*Rhynchopsitta terrisi*) breeding range and habitat selection in the Northern Sierra Madre Oriental, Mexico. *The Wilson Journal of Ornithology*, 122(3), 513-517. <https://doi.org/10.1676/08-002.1>
- Parks, S. A., Holsinger, L. M., Voss, M. A., Loehman, R. A., & Robinson, N. P. (2018). Mean composite fire severity metrics computed with Google Earth Engine offer improved accuracy and expanded mapping potential. *Remote Sensing*, 10(6), 879. <https://doi.org/10.3390/rs10060879>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2011). Modelaje del peligro de incendio forestal en las zonas afectadas por el huracán Dean. *Agrociencia*, 45(5), 593-608.
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2014). *Incendios de vegetación: su ecología, manejo e historia*. Vol 1. Colegio de Postgraduados.
- Román-Cuesta, R. M., & Martínez-Vilalta, J. (2006). Effectiveness of protected areas in mitigating fire within their boundaries: case study of Chiapas, Mexico. *Conservation Biology*, 20(4), 1074–1086. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00478.x>
- Servicio Meteorológico Nacional [Smn] (2021). *Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia*. Comisión Nacional del Agua y Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Sistema Nacional de Información y Gestión Forestal [Snigf] (2021). *Programa de manejo del fuego*. <https://snigf.cnf.gob.mx/incendios-forestales/>
- Stephens, S., Burrows, N., Buyantuyev, A., Gray, R. W., Keane, R. E., Kubian, R., Liu, S., Seijo, F., Shu, L., Tolhurst, K. G., van Wagtenonk, J. (2014). Temperate and boreal forest mega-fires: characteristics and challenges. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(2), 115-122. <https://doi.org/10.1890/120332>
- Tedim, F., Leone, V., Amraoui, M., Bouillon, C., Coughlan, M. R., Delogu, G. D., Fernandes, P. M., Ferreira, C., McCaffrey, S., McGee, T. K., Parente, J., Paton, D., Pereira, M. G., Ribeiro, L. M., Viegas, D. X., & Xanthopoulos, G. (2018). Defining extreme wildfire events: difficulties, challenges, and impacts. *Fire*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.3390/fire1010009>
- 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., Ressler, R., Alvarado-Celestino, E., González-Cabán, A., Jiménez, E., Álvarez-González, J. G., Ruiz-González, A. D., Burgan, R. E., & 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(4), 190. <https://doi.org/10.3390/f9040190>
- Vega-Nieva, D. J., Nava-Miranda, M. G., Calleros-Flores, E., López-Serrano, P. M., Briseño-Reyes, J., López-Sánchez, C., Corral-Rivas, J. J., Montiel-Antuna, E., Cruz-López, M. I., Ressler, R., Cuahutle, M., Alvarado-Celestino, E., González-Cabán, A., Cortes-



- Montaño, C., Pérez-Salicrup, D., Jardel-Peláez, E., Jiménez, E., Arellano-Pérez, S., Álvarez-González, J. G., & Ruiz-González, A. D. (2019). Temporal patterns of active fire density and its relationship with a satellite fuel greenness index by vegetation type and region in Mexico during 2003–2014. *Fire Ecology*, *15*, 28. <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0042-z>
- Westerling, A. L., Cayan, D. R., Brown, T. J., Hall, B. L., & Riddle, L. G. (2004). Climate, Santa Ana winds and autumn wildfires in southern California. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, *85*(31), 289-296. <https://doi.org/10.1029/2004EO310001>
- Williams, J. (2013). Exploring the onset of high-impact megafires through a forest land management prism. *Forest Ecology and Management*, *294*, 4–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.030>
- Williams, J., & Hyde, A. (septiembre 30 - octubre 4 de 2009). *The megafire phenomenon: observations from a coarse-scale assessment with implications for foresters, land managers, and policy-makers*. Society of American Foresters 89th National Convention, Orlando, Florida.
- Wood, C. M. (2022). Optimizing landscape-scale monitoring programmes to detect the effects of megafires. *Diversity and Distributions*, *28*(3), 479-492. <https://doi.org/10.1111/ddi.13308>
- Yocom, L. L., Fulé, P. Z., Brown, P. M., Cerano, J., Villanueva-Díaz, J., Falk, D. A., & Cornejo-Oviedo, E. (2010). El Niño–Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology*, *91*(6), 1660-1671. <https://doi.org/10.1890/09-0845.1>
- Zúñiga-Vázquez, J. M., & Pompa-García, M. (2018). The occurrence of forest fires in Mexico presents an altitudinal tendency: a geospatial analysis. *Natural Hazards*, *96*, 213-224. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3537-z>

Manuscrito recibido el 09 de diciembre de 2021

Aceptado el 26 de junio de 2022

Publicado el 15 de diciembre de 2022

Este documento se debe citar como:

Neger, C., León-Cruz, J. F., Galicia Sarmiento, L., & Manzo-Delgado L. L. (2022). Dinámica espaciotemporal, causas y efectos de los megaincendios forestales en México. *Madera y Bosques*, *28*(2), e2822453. <https://doi.org/myb.2022.2822453>



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