

INCENDIOS EN MICHOACÁN DURANTE EL AÑO 2024 A PARTIR DE DATOS VIIRS NOAA-21

FIRES IN MICHOACÁN DURING 2024 BASED ON VIIRS NOAA-21 DATA

Rodrigo Piñón-Cervantes, María Luisa España-Boquera*, Luis López-Pérez, María Dolores Uribe-Salas, Omar Champo-Jiménez y Alfredo Reyes-Tena

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Posta Veterinaria, Tarímbaro, Michoacán, México.

*Autor de correspondencia (boquera@umich.mx)

RESUMEN

Los incendios forestales tienen impactos negativos en la biodiversidad, el suelo y el aire, y contribuyen al cambio climático. Desde los años 1980s, las observaciones satelitales permiten el monitoreo de los incendios con sensores como AVHRR, MODIS y VIIRS, de la NASA, capaces de detectar puntos de calor. El sensor VIIRS, a bordo del satélite NOAA-21, es la tercera versión de este instrumento e inició operaciones el 17 de enero de 2024. El objetivo de este estudio fue analizar la incidencia de incendios en el estado de Michoacán, México en 2024, a partir de los datos VIIRS NOAA-21. Se contabilizaron las detecciones por fecha y cobertura, y se implementó una metodología original para identificar los eventos más grandes y de mayor duración. Los datos se descargaron de la página https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/active_fire y fueron analizados con el programa QGIS. Se contabilizaron 20,966 detecciones. La temporada de incendios comenzó en marzo, con un máximo en mayo (38.97 % de las detecciones) y concluyó en junio, con el inicio de las lluvias. Se detectaron algunos incendios en los últimos meses del año, después de la temporada de lluvias. Con base en la clasificación de píxeles, se identificaron 43 incendios con una superficie potencialmente afectada superior a 2,000 ha; de estos, 14 excedieron las 4,000 ha. La zona potencialmente quemada más grande cubrió aproximadamente 10,000 ha e incluyó el evento de mayor duración, que se prolongó durante 58 días y afectó cerca de 5,300 ha. Las quemas agrícolas representaron el 23.10 % de las detecciones. El bosque templado fue la cobertura vegetal más afectada (40.53 %), con incendios predominantes en abril y mayo. La selva baja caducifolia representó el 28.83 % de los incendios, principalmente en su vegetación secundaria arbustiva. El análisis de detecciones VIIRS (NOAA-21) de 2024 permitió caracterizar la incidencia de incendios y quemas agrícolas en Michoacán, México e identificar sus patrones espaciales y temporales.

Palabras clave: Coberturas vegetales, detecciones, datos satelitales, incendio forestal, quema agrícola.

SUMMARY

Wildfires have negative impacts on biodiversity, soil and air, and contribute to climate change. Since the 1980s, satellite observations have enabled fire monitoring, with NASA sensors such as AVHRR, MODIS and VIIRS, capable of detecting hotspots. The VIIRS sensor, aboard the NOAA-21 satellite, is the third version of this instrument and began operations on January 17, 2024. The objective of this study was to analyze the incidence of fires in the state of Michoacan, Mexico in 2024, using NOAA-21 VIIRS data. Detections were counted by date and coverage, and a novel methodology was implemented to identify the largest and longest-lasting events. The data were downloaded

from https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/active_fire and analyzed using QGIS software. A total of 20,966 fire detections were recorded. The fire season began in March, peaking in May (38.97 % of detections) and ended in June with the onset of the rainy season. Some fires were detected in the final months of the year, after the rainy season. Based on pixel classification, 43 wildfires were identified with a potentially affected area larger than 2,000 ha; among them, 14 exceeded 4,000 ha. The largest potentially burned area covered approximately 10,000 ha, including the longest-burning event, lasting 58 days and affected nearly 5,300 ha. Agricultural burning accounted for 23.10 % of detections. Temperate forest was the most affected vegetation cover (40.53 %), with fires predominating in April and May. Tropical deciduous forest accounted for 28.83% of the fires, mainly in its secondary shrub vegetation. The analysis of VIIRS (NOAA-21) detections from 2024 allowed the characterization of the incidence of agricultural fires and burning in Michoacan and the identification of their spatial and temporal patterns.

Index words: Agricultural burning, detections, forest fires, satellite data, vegetation cover.

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son parte integral de la dinámica de los ecosistemas y un regulador natural de los paisajes, por lo que constituyen una importante fuerza de transformación de los ecosistemas terrestres (Bolaño-Díaz *et al.*, 2022), que ayudan a promover la diversidad y la regeneración natural; sin embargo, desde el inicio de la historia de la humanidad, también han sido utilizados como una herramienta para la caza, el manejo de la tierra y la deforestación (Chuvieco *et al.*, 2019). Si bien el manejo integrado del fuego puede ser beneficioso para los ecosistemas y la sociedad (Rodríguez, 2008), la alteración del régimen natural de los incendios los ha convertido en desastres que causan pérdidas económicas y humanas, y que tienen impactos en el suelo, la flora, la fauna, el agua y el aire (Bolaño-Díaz *et al.*, 2022). Las emisiones globales de carbono generadas por los incendios influyen en las concentraciones atmosféricas de CO₂ y CH₄, así como de aerosoles con propiedades reflectantes y absorbentes, y modifican el albedo de la superficie al alterar la cobertura vegetal, con lo que contribuyen a los mecanismos de

retroalimentación del cambio climático (Jones *et al.*, 2022). Se prevé que el impacto de los incendios aumente en el futuro próximo como consecuencia de los cambios sociales y climáticos (Chuvieco *et al.*, 2019).

Históricamente, las agencias gubernamentales han registrado la superficie afectada por incendios a partir de estimaciones realizadas directamente en el terreno; desde que existe la disponibilidad de observaciones satelitales, las imágenes obtenidas por este medio se han convertido en una alternativa sólida y confiable para monitorear las áreas afectadas por incendios (Chuvieco *et al.*, 2019). Los incendios detectados por los satélites incluyen tanto los que ocurren en zonas forestales como los provocados por quemas agrícolas o silvícolas planificadas para la gestión de la tierra, también abarcan aquellos utilizados para el desmonte de tierras, incluso en bosques destinados a un cambio de uso de suelo (Wooster *et al.*, 2021).

El seguimiento satelital de los incendios y las superficies quemadas comenzó a principios de la década de 1980, principalmente con la utilización de datos del sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), y desde el año 2000 del instrumento MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), embarcado en los satélites Terra y Aqua de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) (Li *et al.*, 2018; Wooster *et al.*, 2021). MODIS ha proporcionado imágenes de la tierra por más de 20 años, a partir de las cuales se han generado productos fácilmente accesibles y ampliamente utilizados (Chuvieco *et al.*, 2019).

Para asegurar la continuidad de los servicios proporcionados por MODIS, cuyo periodo de operación se acerca a su fin, la NASA desarrolló la nueva generación de instrumentos VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). Estos sensores están actualmente operativos en los satélites SNPP, lanzado en 2011; NOAA-20, lanzado en 2017, y el más reciente, NOAA-21, lanzado en 2022, cuyos datos están disponibles desde el 17 de enero de 2024 (Román *et al.*, 2024). Los sensores VIIRS forman parte del programa JPSS (Joint Polar Satellite System), gestionado conjuntamente por NOAA y NASA (Schroeder *et al.*, 2014). Estos instrumentos han mostrado un rendimiento significativamente superior al de MODIS, tanto en la resolución espacial como en la precisión para identificar incendios activos, incluso aquellos con frentes de fuego más pequeños y de menor intensidad (Pinto *et al.*, 2024).

En México, el Programa Nacional de Protección contra Incendios Forestales y el Sistema de Alerta Temprana para Incendios de CONAFOR-SEMARNAT (Comisión Nacional Forestal y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

Naturales), implementados por la CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad), utilizan imágenes de satélite provenientes de los sensores AVHRR, MODIS y VIIRS para monitorear los incendios en territorio nacional (González-Gutiérrez *et al.*, 2020). Con estos datos se han realizado trabajos de cartografía de incendios en México, entre ellos los de Zúñiga-Vásquez (2017) para el periodo 2005-2015, Cisneros-González *et al.* (2018) para 2005-2016 y Montoya *et al.* (2023) para 2001-2020. Galván y Magaña (2020), con datos de MODIS de 2001-2014, identificaron a Michoacán y Yucatán como zonas de actividad recurrente e intensa de incendios forestales, muy por encima del resto del país. En particular, para el estado de Michoacán no existen estudios con datos VIIRS. España *et al.* (2024) analizaron los datos de MODIS correspondientes al periodo 2015-2022, en relación con el clima. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue analizar, a partir de los datos VIIRS NOAA-21, la incidencia de incendios y quemas agrícolas en el estado de Michoacán, México en 2024, que fue un año particularmente activo en incendios forestales, e identificar los de mayor magnitud y duración, cuyos impactos ambientales y socioeconómicos son más graves. Con esto se busca contribuir a ampliar el conocimiento existente en la identificación de patrones espaciales y temporales de los incendios en el estado mexicano de Michoacán, además de introducir el uso de nuevas fuentes de datos satelitales, con enfoques que no han sido aplicados previamente en la región de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La zona de estudio fue el estado de Michoacán, en el centro-oeste de México, entre 18° y 21° de latitud norte y 100° y 104° de longitud oeste. Aunque Michoacán se encuentra en la zona tropical, el intervalo altitudinal entre 0 y 4,000 m explica la presencia de climas tanto cálidos semiáridos como templados subhúmedos, ambos con lluvias en verano. En el estado coexisten diferentes tipos de bosque templado (858,203 ha, 14.64 % de territorio estatal), con su vegetación secundaria arbórea (165,626 ha, 4.53 %) y arbustiva (533,957 ha, 9.11 %), y bosque tropical caducifolio [selvas bajas caducifolias, según la indicación del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)] (389,899 ha, 6.65 %); asimismo, vegetación secundaria arbórea (375,934 ha, 6.41 %) y arbustiva (1,073,944 ha, 18.32 %), además de agricultura de riego (738,069 ha, 12.59 %), de temporal (835,211 ha, 14.25 %) y pastizales (566,640 ha, 9.67 %) (Durán y Sevilla, 2003).

La Figura 1 muestra el mapa de uso de suelo del estado de Michoacán, generado a partir de la Serie VII de INEGI, en el que se representan las coberturas mencionadas.

Datos VIIRS

Los datos VIIRS del satélite NOAA-21, correspondientes a México, para el periodo del 17 de enero al 31 de diciembre del 2024, se descargaron de la página https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/active_fire/ y se recortaron para Michoacán. La resolución de los datos VIIRS es de 375 m, por lo que cada píxel corresponde aproximadamente a 14 ha. Se contaron las detecciones de incendios por mes. El satélite detecta los puntos calientes, una vez en el día y otra vez en la noche, registrando las coordenadas del foco de calor, por lo que es altamente improbable que dos detecciones coincidan exactamente en el mismo lugar y que haya traslape.

Identificación de incendios grandes

Para identificar los incendios grandes a partir de las detecciones, se implementó una metodología original consistente en dibujar un búfer alrededor de cada punto

detectado y agrupar los búferes adyacentes, delimitando así conglomerados de puntos, que pueden asimilarse a áreas potencialmente quemadas. Se determinó que la utilización de radios de 600 m para los búferes aseguraba la delimitación de áreas mínimas y compactas. Para cada conglomerado se calculó la superficie en hectáreas. Para los conglomerados de más de 2,000 ha se revisaron las fechas de detección de los puntos, y se identificó el inicio y final de los incendios, así como su duración.

Identificación de coberturas afectadas

Para cada detección, se identificó la cobertura afectada a través de la intersección de los datos VIIRS con la Serie VII, según el mapa de la Figura 1. Se calcularon las detecciones por tipo de cobertura y por mes. Todos los análisis y los mapas se realizaron con el programa QGIS 3.22 6.

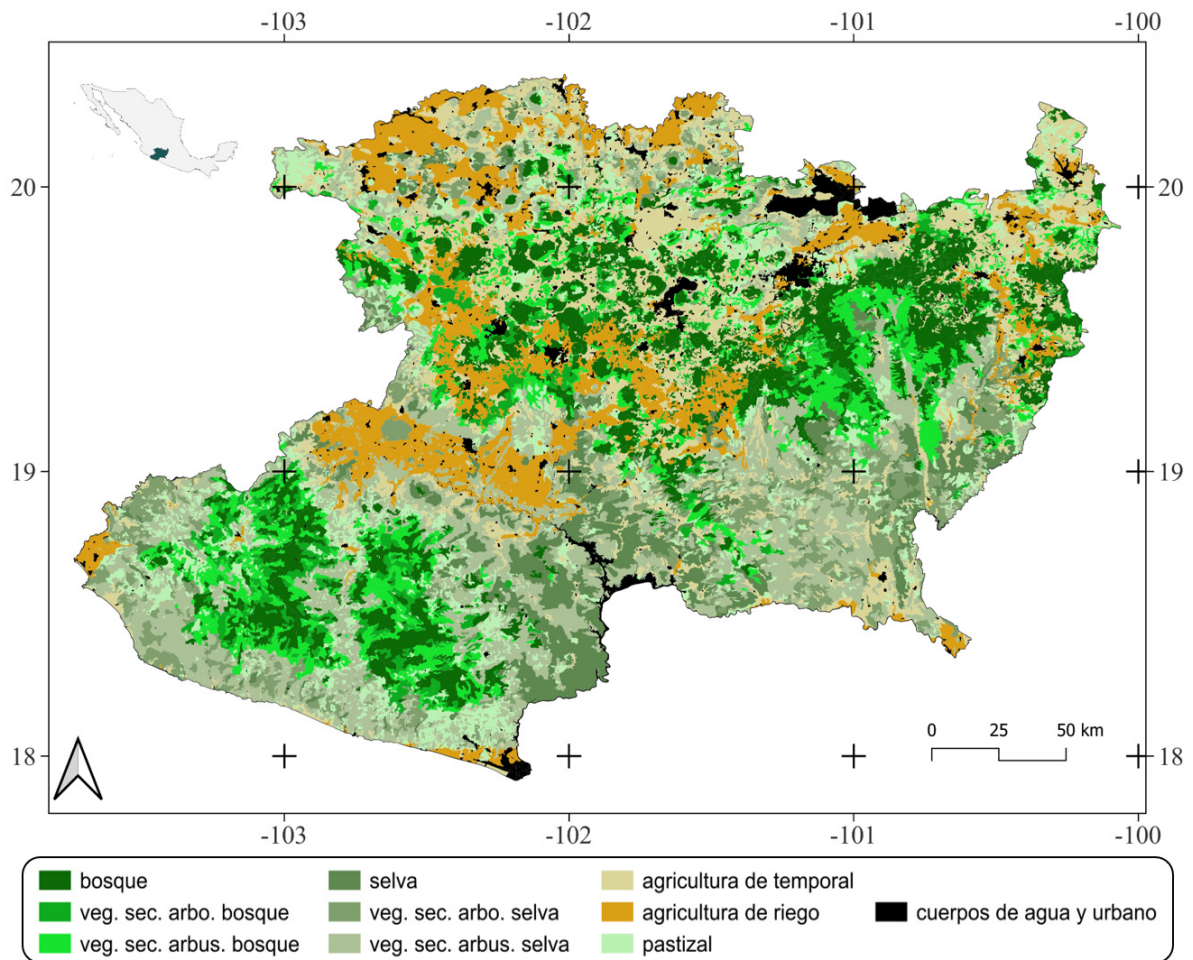


Figura 1. Mapa de coberturas vegetales del estado de Michoacán, México, obtenido de la Serie VII de INEGI (2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mapa de la Figura 2 muestra la distribución mensual de los incendios detectados en el estado de Michoacán durante 2024, a partir de los datos VIIRS. Cada punto representa una detección y en total se registraron 20,966. Este valor es 6.27 veces superior que el promedio anual de 3,340.87 detecciones reportado por España *et al.* (2024) para el periodo 2015-2022 con datos MODIS, y 3.98 veces superior al número de detecciones en 2021 (5,269), año que, al igual que 2024, fue particularmente activo en términos de incendios. Esta relación 1:4 entre datos de detecciones registradas por MODIS y VIIRS coincide con la reportada en otros estudios de detección de incendios (Coskuner,

2022). La mayor cantidad de focos de calor detectados por VIIRS con respecto a MODIS se debe a su mejor resolución espacial en la banda térmica (375 m vs. 1 km), junto con una mejor resolución radiométrica y capacidad para registrar temperaturas altas sin saturación. Estas características permiten detectar incendios más pequeños y delimitar con mayor precisión los frentes activos, lo que incrementa significativamente el número de detecciones.

El gráfico de la Figura 2 muestra las detecciones mensuales. En los primeros meses del año, las bajas temperaturas y la mayor disponibilidad de humedad en el suelo limitaron la ocurrencia de incendios, registrándose únicamente 273 casos en enero (1.30 %) y 614 en febrero

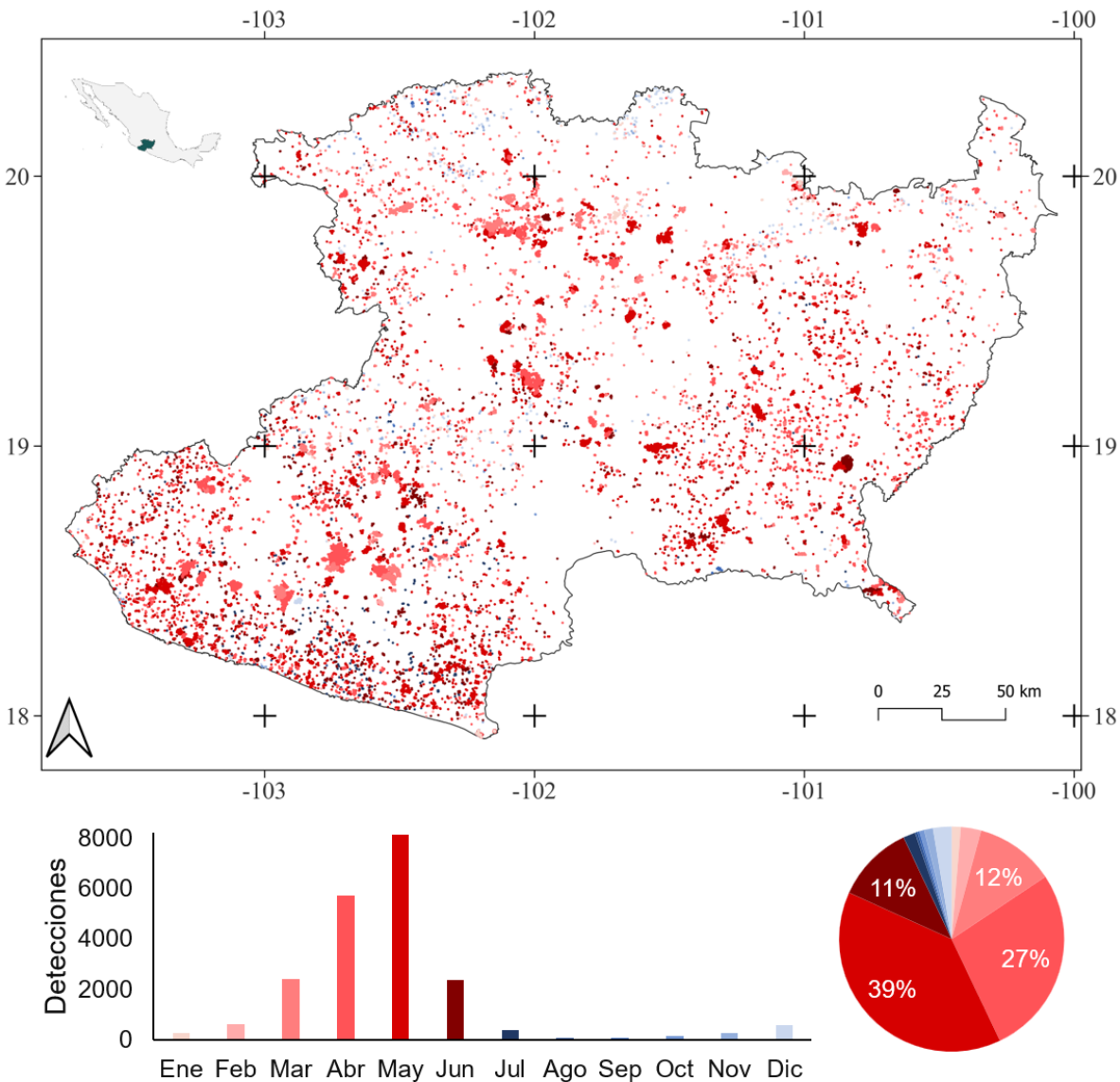


Figura 2. Mapa de detecciones de incendios en Michoacán, México, en el año 2024, a partir de datos VIIRS NOAA-21 de la NASA. Gráfico de distribución de detecciones de incendios por mes, en valor absoluto y en porcentaje.

(2.93 %). Con el inicio de la estación seca en marzo, después de varios meses de déficit hídrico que redujeron las reservas de humedad del suelo y aumentaron la susceptibilidad de la vegetación al fuego (Jones *et al.*, 2022), comenzó la temporada de incendios, elevándose las detecciones a 2,395 (11.45 %). Esta tendencia ascendente continuó en abril, con más del doble de detecciones que el mes anterior (5,718, 27.35 %), hasta alcanzar el máximo en mayo (8,144, 38.96 %). A partir del mes de junio (2,348, 11.23 %), con el inicio de la temporada de lluvias, las detecciones disminuyeron (Galván y Magaña, 2020) alcanzando valores mínimos en agosto (83, 0.39 %) y septiembre (61, 0.29 %).

En el mapa de la Figura 2 la mayoría de las detecciones son puntos aislados, porque corresponden a incendios que se extinguieron entre dos pasos del satélite (en la mañana y en la noche) y afectaron a superficies de menos de 14 ha, que es el tamaño de un píxel VIIRS, ya que un fuego intenso puede ser detectado por el satélite, aunque solo afecte una parte del píxel. Esta observación está en consonancia con lo reportado por Montoya *et al.* (2023) a nivel nacional, en el sentido de que el 95 % de los incendios son de menos de 25 ha. La presencia de detecciones cercanas entre sí, formando conglomerados de puntos, es evidencia de incendios que abarcaron una zona amplia y duraron varios días. La Figura 3 muestra los conglomerados de mayor tamaño, correspondientes a eventos cuyas zonas potenciales de afectación superan las 2,000 ha. En total se identificaron 43 zonas, de las cuales 14 rebasan las 4,000 ha. La mayor extensión de área potencialmente quemada se localizó en la región Purépecha, con una superficie cercana a 10,000 ha. Esta zona se subdividió en tres subzonas según sus periodos de ocurrencia: del 26 de marzo al 8 de abril, del 28 de abril al 5 de mayo y del 18 de marzo al 15 de mayo. Esta última correspondió al incendio de mayor duración de la temporada (58 días) y afectó aproximadamente 5,300 ha.

En la Figura 4 se muestran las detecciones de incendios por tipo de cobertura y por mes, así como la contribución de cada cobertura al total anual, tanto de los incendios grandes como de los menores, incluyendo las detecciones aisladas. Las quemadas agrícolas acumularon 4,843 detecciones, lo que corresponde al 23.1 % del total de detecciones, porcentaje notablemente inferior al 48.4 % reportado por España *et al.* (2024) para el periodo 2015-2022. El 7.91 % de las detecciones corresponden a áreas donde se practica agricultura de temporal, el 6.81 % a agricultura de riego y el 8.37 % a pastizales, datos que contrastan también con los del periodo 2015-2022 (España *et al.*, 2024), que indicaban un predominio de las quemadas en agricultura de riego (31 % del total de detecciones). Este cambio podría explicarse principalmente por la transición

de cultivos anuales a permanentes, como el aguacate (Galván y Magaña, 2020). Las prácticas agrícolas de quema se concentran principalmente de enero a junio, aunque en las zonas de riego también se realizan quemadas hacia finales del año. Las quemadas de pastizales predominan de abril a julio.

Los incendios forestales se concentraron de marzo a junio, principalmente en los meses más calurosos (abril y mayo) y hasta el inicio de las lluvias. El bosque templado, con 8,498 detecciones de incendios (40.53 %), fue la cobertura más afectada en el año 2024; este porcentaje es similar al 38.49 % de bosque templado, del total de detecciones en Michoacán en 2021, uno de los años con más incendios de las últimas décadas en el estado (España *et al.*, 2024). Predominaron los incendios en bosque (23.38 %) sobre sus vegetaciones secundarias asociadas y hubo más incendios en vegetación arbustiva (11.79 %) que arbórea (5.35 %). Si bien, después de algunas quemadas forestales controladas se ha observado un aumento de la riqueza de especies de sotobosque, los bosques de pinos que se queman con demasiada frecuencia se degradan (Rodríguez, 2008).

En el caso de la selva baja caducifolia, se contaron 6,045 detecciones de incendios (28.83 %); predominaron los incendios en la vegetación secundaria arbustiva (19.36 %), lo que indica que se quemaron zonas previamente perturbadas. Hubo pocos eventos en marzo, aumentaron en abril y prácticamente se duplicaron en mayo. La tala y quema de selvas caducifolias, que es una práctica común en muchas regiones de Michoacán, reduce la diversidad y provoca la expansión de los pastizales (Rodríguez, 2008).

El análisis de los incendios registrados en Michoacán, México durante 2024, a partir de los nuevos datos satelitales VIIRS, permitió identificar que los bosques templados fueron la cobertura natural más afectada (23.38 % en bosque, y 40.53 % si se incluyen las zonas de vegetación arbustiva y arbórea) y que las quemadas agrícolas (23 %) representaron una contribución relevante. Asimismo, con la implementación de la nueva metodología aquí aplicada, se identificaron las zonas del estado con los eventos de mayor extensión, particularmente en la región purépecha, y se caracterizó el calendario estacional de la temporada de incendios, que comprende desde marzo hasta el inicio de las lluvias. Estos resultados aportan nueva evidencia para entender los patrones espaciales y temporales de los incendios en la región y demuestran la utilidad de esta fuente de datos satelitales para futuros estudios comparativos y para la incorporación de métricas adicionales, como la estimación de superficies afectadas.

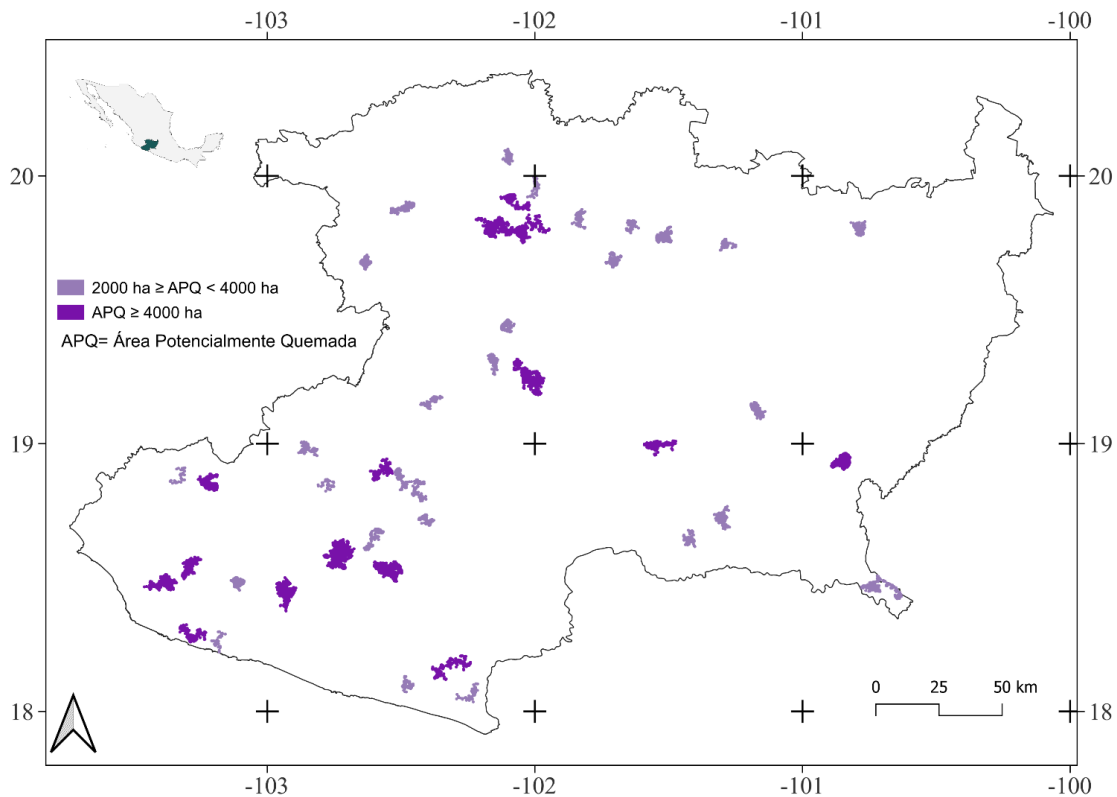


Figura 3. Identificación de los incendios más grandes ocurridos en Michoacán, México, en el año 2024 a partir de datos VIIRS NOAA-21 de la NASA.

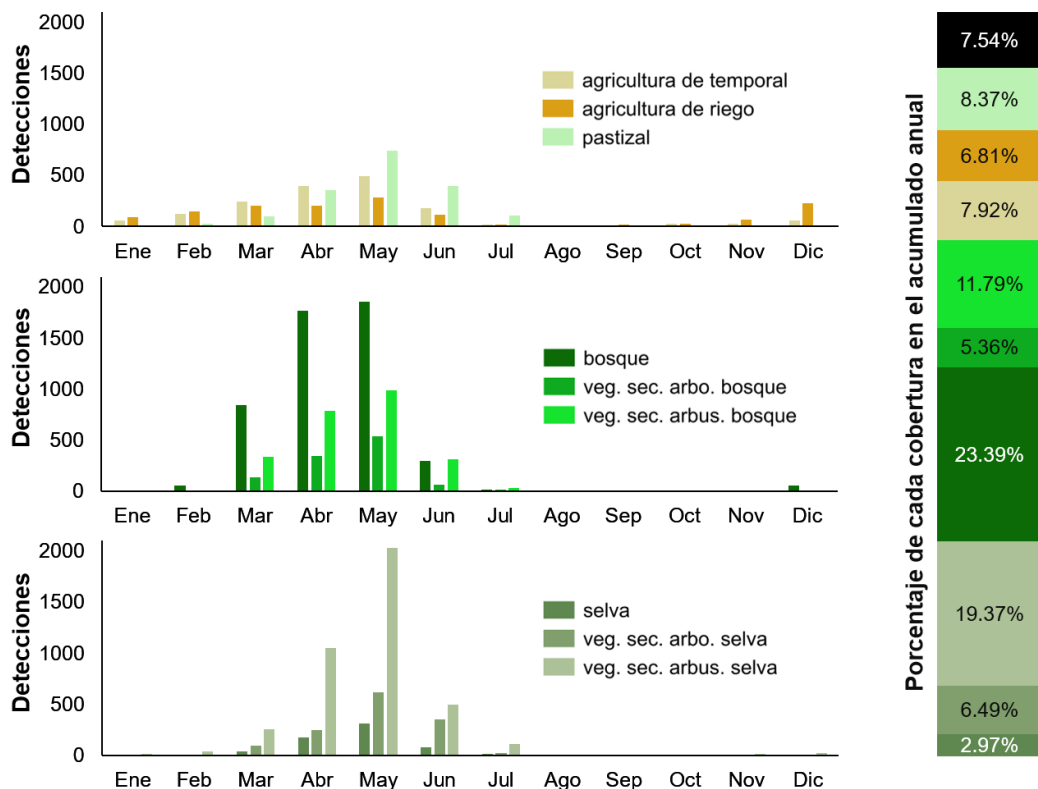


Figura 4. Detecciones de incendios por tipo de cobertura y por mes en Michoacán, México, en el año 2024, y porcentaje de incidencia en cada cobertura en el acumulado anual, a partir de datos VIIRS NOAA-21 de la NASA.

AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación de Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el financiamiento del trabajo. A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de México por la beca de posgrado del primer autor.

BIBLIOGRAFÍA

- Bolaño-Díaz S., Y. Camargo-Caicedo, T. D. Soro, A. B. N'Dri and T. R. Bolaño-Ortiz (2022) Spatio-temporal characterization of fire using MODIS data (2000–2020) in Colombia. *Fire* 5:134, <https://doi.org/10.3390/fire5050134>
- Chuvieco E., F. Mouillot, G. R. van der Werf, J. San Miguel, M. Tanase, N. Koutsias, ... and L. Giglio (2019) Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment* 225:45–64, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>
- Cisneros-González D., J. M. Zúñiga-Vásquez y M. Pompa-García (2018) Actividad del fuego en áreas forestales de México a partir de sensores remotos y su sensibilidad a la sequía. *Madera y Bosques* 24:e2431687, <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431687>
- Coskuner K. A. (2022) Assessing the performance of MODIS and VIIRS active fire products in the monitoring of wildfires: a case study in Turkey. *iForest - Biogeosciences and Forestry* 15:85–94, <https://doi.org/10.3832/ifor3754-015>
- Durán C. V. y F. Sevilla P. (2003) Atlas geográfico del Estado de Michoacán. Secretaría de Educación del Estado de Michoacán, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y EDDISSA. Morelia, Michoacán, México. 308 p.
- España B. M. L., O. Champo J. y M. D. Uribe S. (2024) Incendios en Michoacán a partir de series MODIS (2015–2022) y su relación con el clima. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 15:54–80, <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i84.1406>
- Galván L. and V. Magaña (2020) Forest fires in Mexico: an approach to estimate fire probabilities. *International Journal of Wildland Fire* 29:753–763, <https://doi.org/10.1071/WF19057>
- González-Gutiérrez I., J. F. Mas-Causel, L. M. Morales-Manilla and K. A. Ocegüera-Salazar (2020) Thematic accuracy of hotspots and wildfires in Michoacán, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 26:17–35, <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.011>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2021) Guía para la Interpretación de Cartografía: Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. 268 p.
- Jones M. W., J. T. Abatzoglou, S. Veraverbeke, N. Andela, G. Lasslop, M. Forkel, ... and C. Le Quéré (2022) Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics* 60:e2020RG000726, <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>
- Li F., X. Zhang, S. Kondragunta and I. Csizsar (2018) Comparison of fire radiative power estimates from VIIRS and MODIS observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123:4545–4563, <https://doi.org/10.1029/2017JD027823>
- Montoya L. E., R. O. Corona-Núñez and J. E. Campo (2023) Fires and their key drivers in Mexico. *International Journal of Wildland Fire* 32:651–664, <https://doi.org/10.1071/WF22154>
- Pinto G. S., H. Bernini, C. G. Messias, O. A. S. Silva, P. W. Cunha, P. S. Victorino and F. Morelli (2024) Assessment of active fire detection in Serra da Canastra National Park using MODIS and VIIRS sensors. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 48:407–412, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-3-2024-407-2024>
- Rodríguez T. D. A. (2008) Fire regimes, fire ecology, and fire management in Mexico. *Ambio* 37:548–556, <https://doi.org/10.1579/0044-7447-37.7.548>
- Román M. O., C. Justice, I. Paynter, P. B. Boucher, S. Devadiga, A. Endsley, ... and R. Wolfe (2024) Continuity between NASA MODIS Collection 6.1 and VIIRS Collection 2 land products. *Remote Sensing of Environment* 302:113963, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2023.113963>
- Schroeder W., P. Oliva, L. Giglio and I. A. Csizsar (2014) The New VIIRS 375m active fire detection data product: algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment* 143:85–96, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.008>
- Wooster M. J., G. J. Roberts, L. Giglio, D. P. Roy, P. H. Freeborn, L. Boschetti, ... and J. San-Miguel-Ayanz (2021) Satellite remote sensing of active fires: history and current status, applications and future requirements. *Remote Sensing of Environment* 267:112694, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112694>
- Zúñiga-Vásquez J. M., D. Cisneros-González, M. Pompa-García, D. A. Rodríguez-Trejo and G. Pérez-Verdín (2017) Spatial modeling of forest fires in Mexico: an integration of two data sources. *Bosque* 38:563–574, <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000300014>

