

Evaluación cuantitativa y patrones espaciales de los incendios de vegetación en los estados de Guanajuato y Querétaro del siglo XXI

Quantitative Assessment and Spatial Patterns of Wildfires in the States of Guanajuato and Querétaro in the 21st Century

Diego G. Rosas-Barrera,* Oscar Campos-Sarmiento,** Michelle Farfán,** y Tania Escalante‡

Recibido: 21/01/2026. Aceptado: 02/03/2026. Publicado: 1/04/2026.

Resumen. En México, la Comisión Nacional Forestal (Conafor) es el organismo público responsable del monitoreo y la cuantificación anual de los incendios de vegetación. Estos incendios también pueden registrarse a través de los puntos de calor del sensor MODIS. El objetivo de este trabajo es evaluar cuantitativa y comparativamente los incendios de vegetación históricos reportados por CONAFOR y MODIS entre 2000 y 2024 en los estados de Querétaro y Guanajuato. Las comparaciones fueron realizadas con respecto a su tendencia temporal, datos climáticos, patrones espaciales, puntos calientes (*hotspots*) y fríos (*coldspots*), y tipos de vegetación. Encontramos una tendencia general al aumento en el número de incendios de vegetación con el tiempo, donde la mayor cantidad se registró entre marzo y abril, relacionada con la temporada de estiaje, confirmada por el aumento de la temperatura y el descenso de la precipitación. Los *hotspots* se concentraron en el norte y suroeste, mientras que los *coldspots* mostraron diferencias dependiendo de la fuente de datos y la entidad federativa. La correlación entre *hotspots* y

coldspots fue ligeramente positiva. Los *hotspots* coincidieron con algunos municipios donde hay producción intensiva de agave para mezcal y tequila, y donde los hornos de carbón pueden condicionar la incidencia de incendios. Los tipos de vegetación más afectados fueron el bosque de encino y la selva baja caducifolia. El estudio de la dinámica temporal de los incendios de vegetación reveló varios patrones fundamentales, aunque con discrepancias entre las fuentes de datos, por lo que su integración es crucial para mejorar la precisión y la comprensión de la dinámica de estos incendios.

Palabras clave: Conafor, MODIS, patrones espaciales, puntos calientes, puntos fríos.

Abstract. In Mexico, the National Forestry Commission (Conafor) is the public agency responsible for monitoring and annually quantifying vegetation fires. These fires can also be detected through MODIS sensor hotspots. The

* Grupo de Biogeografía de la Conservación, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1914-8810>. Email: diegogabriel.rosas@ciencias.unam.mx

** Grupo de Biogeografía de la Conservación, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3106-7833>. Email: oscarcampos@ciencias.unam.mx

*** Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Geomática e Hidráulica, Av. Juárez No. 77, Zona Centro, 36000 Guanajuato, Guanajuato, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4948-1453>. Email: michelle.farfán@ugto.mx

‡ Grupo de Biogeografía de la Conservación, Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9127-8969>. Email: tescalante@ciencias.unam.mx

Autora de correspondencia.

objective of this study is to evaluate historical wildfires quantitatively and comparatively as reported by CONAFOR and MODIS between 2000 and 2024 in the states of Querétaro and Guanajuato. Comparisons were made regarding their temporal trends, climatic data, spatial patterns, hotspots and coldspots, and vegetation types. We found a general trend toward an increase in the number of wildfires over time, with the highest number recorded between March and April, related to the dry season, confirmed by rising temperatures and decreasing precipitation. The *hotspots* were concentrated in the north and southwest, while the *coldspots* showed variations depending on the data source and the state. The correlation between *hotspots* and *coldspots*

was slightly positive. The *hotspots* coincided with some municipalities where there is intensive agave production for mezcal and tequila, and where charcoal kilns can influence the incidence of fires. The most affected vegetation types were oak forests and lowland deciduous forests. The study of the temporal dynamics of vegetation fires revealed several fundamental patterns, although with discrepancies among data sources, making their integration crucial for improving the accuracy and understanding of the dynamics of these fires.

Keywords: *coldspots*, CONAFOR, *hotspots*, MODIS, spatial patterns.

INTRODUCCIÓN

Los incendios provocados por el ser humano se han documentado en todos los tipos de vegetación (ecosistemas vegetales) (Castillo *et al.*, 2003), siendo una de las principales causas de transformación del paisaje más ampliamente extendidas en los ecosistemas terrestres (CONAFOR, 2020). Estos incendios dan lugar a distintos escenarios de perturbación para las especies (Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010). Los incendios de vegetación tienen efectos sobre la pérdida de especies vegetales, los cambios en la estructura de la vegetación, la alteración de los procesos sucesionales, el desplazamiento de especies nativas, la pérdida de biodiversidad, las alteraciones en los ciclos de nutrientes, la modificación en la distribución de humedad en el suelo y la propagación de especies invasoras (Ugalde de la Cruz *et al.*, 2023).

Los incendios de la vegetación están estrechamente relacionados con las condiciones del clima y las características propias de la vegetación (Castillo *et al.*, 2003). Estos incendios son principalmente resultado del aumento de la actividad agrícola, así como de la reconversión de cultivos en grandes extensiones de superficie (Castillo *et al.*, 2003). Otros causales importantes son las rupturas de líneas eléctricas, accidentes de transporte, fogatas de excursionistas, fumadores, quema de basura, quemas agrícolas no controladas, uso del fuego en otras actividades productivas dentro de áreas forestales y quemas por conflictos entre personas o comunidades, además de la tala ilegal (CONAFOR, 2010).

En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), organismo público descentralizado

a nivel federal, es responsable del monitoreo y la cuantificación anual de los incendios forestales (CONAFOR, s. f.). Esta institución coordina las actividades de conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales del país (CONAFOR, s. f.). La CONAFOR opera el Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF), que es una plataforma que integra, actualiza y difunde datos estadísticos del sector (SNIF, 2023). CONAFOR contabiliza los incendios que son atendidos directamente por sus brigadas forestales, integradas tanto por sus brigadas oficiales como por las brigadas de empleo temporal que reciben apoyo durante la temporada de estiaje. Estas brigadas operan de manera temporal, por grupos de diez personas, en zonas consideradas de alta y muy alta prioridad para la protección contra incendios (CONAFOR, 2023a).

Por otro lado, los puntos de calor son un producto satelital que registra una superficie terrestre con una anomalía térmica lo suficientemente elevada para que un píxel en una imagen satelital registre una temperatura más alta en comparación con las áreas circundantes (CONABIO, 2021). En particular, los puntos de calor obtenidos a partir del sensor espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) se han utilizado ampliamente para estudiar la existencia de incendios a escala global, ya que proporcionan información relevante sobre los eventos de incendios y sobre sus tendencias espaciales y estacionales (Hantson *et al.*, 2013). MODIS es un sensor que permite tener imágenes diarias de toda la superficie terrestre (García-Mora *et al.*, 2011) y funciona en los satélites

Terra y Aqua (Zhang y Moore, 2015). Este sensor proporciona datos con diferentes resoluciones temporales: diaria, de ocho días y de 16 días para análisis de datos a corto plazo, así como mensual, trimestral y anual para realizar análisis de datos a largo plazo (Payra *et al.*, 2023). MODIS adquiere datos a tres resoluciones espaciales: 250 m, 500 m y 1000 m, con 36 bandas espectrales entre 0,405 y 14,385 μm (NASA, s. f.). Los puntos de calor reportados por este satélite tienen una resolución de 1 km o 1000 m.

Los sensores satelitales presentan algunas dificultades para estimar la magnitud real de la actividad de incendios, ya que las relaciones entre incendios activos y áreas quemadas no son constantes en el espacio y el tiempo (Hantson *et al.*, 2013). Por un lado, no todos los puntos de calor detectados corresponden necesariamente a incendios forestales y, por otro, no todos los incendios son captados por estos sistemas de monitoreo (CONABIO, 2021). La determinación exacta tanto del número como de la extensión de los incendios resulta compleja, ya que cada punto de calor detectado podría representar diferentes fenómenos con diversos orígenes, incluyendo incendios forestales, actividades agrícolas, instalaciones industriales, zonas sin vegetación, actividad volcánica, entre otros fenómenos térmicos (CONABIO, 2024). Además, para su detección satelital, estos requieren de una superficie crítica para ser reportados por el satélite como punto de calor.

Los datos de CONAFOR y MODIS se han utilizado comparativamente en algunos estudios para el análisis y monitoreo de incendios forestales en México (por ej., Zúñiga-Vásquez *et al.*, 2017; González-Gutiérrez *et al.*, 2020). Algunos autores han demostrado que ambas fuentes confirman patrones de agrupamiento espacial significativo de incendios, rechazando la distribución aleatoria (por ej., Zúñiga-Vásquez *et al.*, 2017; González-Gutiérrez *et al.*, 2020).

Los estados de Guanajuato y Querétaro están ubicados en el centro-occidente de México. En la región confluyen dos provincias biogeográficas: la Sierra Madre Oriental, con ambientes húmedos de montaña y bosques templados en las vertientes orientales de las entidades, y el Desierto Chihua-

huense, con matorrales xerófilos y pastizales áridos hacia el occidente (Morrone, 2019).

Guanajuato y Querétaro destacan por su demografía y economía a nivel nacional. Guanajuato cuenta con una población de 6,166,934 habitantes, lo que representa el 4,9 % del total nacional (INEGI, 2021b), y aporta el 4,4 % al Producto Interno Bruto (PIB) del país (INEGI, 2024). Por su parte, Querétaro registra una población de 2,368,467 habitantes, equivalente al 1,9 % de la población nacional (INEGI, 2020), y contribuye con el 2,4 % al PIB (INEGI, 2024). En ambos casos, sus economías están dominadas por el sector terciario, siendo la industria manufacturera la actividad más destacada, seguida por el comercio, la construcción y los servicios inmobiliarios (INEGI, 2016a; INEGI, 2016b). En estos estados se han identificado diversos asentamientos clasificados como ciudades medianas (García Meza *et al.*, 2019; Arredondo Pérez *et al.*, 2022), cuya dinámica urbana cobra especial relevancia en términos de conservación de la biodiversidad. A diferencia de las grandes metrópolis, las ciudades medianas tienden a experimentar un crecimiento más acelerado y menos regulado, lo que las convierte en focos importantes de expansión periurbana, cambio de uso de suelo y pérdida de hábitats naturales (Angeoletto *et al.*, 2016).

El objetivo de este artículo fue evaluar cuantitativa y comparativamente los incendios de vegetación históricos reportados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) con respecto a los puntos de calor del sensor MODIS, entre los años 2000 y 2024, en los estados de Querétaro y Guanajuato. Además, a partir de estos datos, identificamos los patrones espaciales de autocorrelación mediante *hotspots* y *coldspots*, que representan mayor y menor agrupamiento espacial estadísticamente significativo, respectivamente.

METODOLOGÍA

Los registros de los incendios de la CONAFOR se obtuvieron a partir del Sistema Nacional de Información Forestal (2023) para los años 2005-2023. Los datos más recientes para cada estado se obtuvieron del Concentrado Nacional de Incendios

Forestales, publicado por la CONAFOR (2024), donde únicamente se obtuvieron los registros correspondientes a 2024.

Los datos del sensor MODIS fueron obtenidos de la plataforma NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System, 2024) para el periodo comprendido entre enero de 2000 y diciembre de 2024. Los datos de MODIS, a una resolución espacial de 1 km, disponibles de manera continua desde el año 2000, se filtraron para incluir únicamente los puntos de calor detectados en los estados de Guanajuato y Querétaro para las zonas de vegetación natural durante el periodo 2005–2024. Para garantizar mayor precisión en la detección, se conservaron únicamente los registros con un nivel de confianza entre 70 y 100, ya que este rango representa detecciones con alta probabilidad de corresponder a fuegos activos, lo que reduce la posibilidad de inclusión de puntos de calor estables que pudieran corresponder a actividades humanas como la industria y la agricultura. Por su parte, los datos de CONAFOR se procesaron para extraer los registros correspondientes a las mismas entidades y periodo. Para los análisis posteriores, únicamente se utilizaron los registros correspondientes a incendios de vegetación nativa.

Con base en los datos obtenidos de la CONAFOR (2023, 2024), se realizaron dos análisis descriptivos de tendencias sobre los incendios de vegetación y las hectáreas quemadas en Guanajuato y Querétaro, desde enero de 1970 a diciembre de 2024, con el lenguaje de programación Python 3.13 (Van Rossum y Drake, 2009), así como con las bibliotecas: pandas (McKinney *et al.*, 2010), numpy (Harris *et al.*, 2020), matplotlib (Hunter, 2007), seaborn (Waskom, 2021) y sklearn (Pedregosa, 2011). En cada análisis se aplicó un modelo de regresión lineal simple, considerando como variable independiente el año (tiempo) y como variable dependiente el número de incendios registrados. De esta forma, se obtuvo el coeficiente de determinación (R^2) y el valor p para estimar la significancia estadística. Adicionalmente, se calculó la correlación de Pearson entre el número de incendios y la superficie quemada anual, con el fin de explorar la relación entre ambas variables.

Posteriormente, se elaboró un histograma de series temporales que muestra el número men-

sual de incendios de vegetación en Guanajuato y Querétaro, con base en los datos de CONAFOR y MODIS para el periodo 2005–2024. Además, se incorporaron los datos de temperatura y precipitación promedio mensual de los años de estudio, correspondientes a cada estado (2005–2024), obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional (2024), para identificar la dinámica estacional de los incendios y analizar su relación con las condiciones climáticas.

Los mapas de los incendios para ambas fuentes de datos se elaboraron con el programa QGIS 3.40 (QGIS.org, 2024), en donde se representó cada uno de los incendios de vegetación por año, utilizando el mapa de México en proyección de coordenadas geográficas, con la división política estatal a escala 1:250000 del Geoportal de INEGI (2022). Para identificar patrones espaciales en la distribución de incendios de vegetación, se aplicó el estadístico G_i^* de Getis-Ord mediante la herramienta Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*) de ArcGIS 10.8 (ESRI, 2011). Este estadístico es un método de autocorrelación espacial; es decir, permite identificar la tendencia de los eventos estudiados a agruparse o a que los valores estén próximos entre sí, dado que reciben la misma influencia de procesos similares (Odland, 1987). En este sentido, a partir de G_i^* , se detectaron puntos calientes o *hotspots* y puntos fríos o *coldspots* (Getis y Ord, 1992). Un *hotspot* puede definirse como un área que tiene una mayor concentración de eventos (en este caso, incendios) en comparación con el número esperado, dada una distribución aleatoria de eventos (incendios) (Chainey y Ratcliffe, 2005). Para llevar a cabo este análisis, el tamaño de la ventana se determinó automáticamente mediante la herramienta Optimized Hot Spot Analysis (ESRI, 2011), con el fin de ajustar la escala espacial a la distribución real de los datos en cada fuente (CONAFOR y MODIS). Adicionalmente, se realizó un análisis de autocorrelación espacial global mediante la herramienta Global Moran's I (ESRI, 2011), para evaluar si la distribución espacial de los incendios presenta agrupamientos no aleatorios en el conjunto del área de estudio. Para medir la relación entre las categorías de tipo espacial (*hotspot*, *coldspot* y no significativo) identificadas por ambas fuentes de

datos, se utilizó la correlación de Spearman mediante Python y la librería pandas (McKinney *et al.*, 2010), obteniendo el coeficiente de correlación y su valor p .

Para comparar la distribución espacial de *hotspots* y *coldspots* de incendios con los tipos de vegetación natural, los puntos de cada fuente de datos se superpusieron con la Serie VII de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (2018, escala 1:50,000), así como con los límites municipales (INEGI, 2021a).

Para evaluar la incidencia espacio-temporal de los incendios en los diferentes tipos de vegetación, los datos de ambas fuentes se separaron por año de registro y se les asignó el tipo de vegetación en el que ocurrieron, utilizando las Series III a la VII de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI (2002, 2007, 2011, 2014, 2018), mediante una intersección en QGIS 3.40 (QGIS.org, 2024). Estos datos se homologaron de acuerdo con los tipos de vegetación para cada registro según Aguilar-Tomasini *et al.* (2020), agrupándolos en 10 categorías de acuerdo con el uso de suelo o cobertura vegetal. Para los análisis se excluyeron los registros que tuvieron lugar en el uso de suelo agrícola, ya que estos datos corresponden a quemadas controladas. También se excluyeron los registros correspondientes a zonas urbanas, asentamientos humanos y cuerpos de agua, incluyendo estas categorías en una nueva denominada «Otros».

La superficie total de cada tipo de vegetación se estimó a partir de la cartografía vectorial clasificada en ocho categorías. El procesamiento espacial se realizó en QGIS 3.40 (QGIS.org, 2024). La capa fue reproyectada al sistema de referencia WGS 84 / UTM zona 14N (EPSG:32614), con el fin de garantizar que los cálculos de superficie se efectuaran en unidades métricas. El área total de cada categoría se calculó mediante la herramienta de calculadora de campos en QGIS, permitiendo expresar las superficies en kilómetros cuadrados (km²).

Finalmente, para estimar la densidad de incendios, el número total de registros provenientes de CONAFOR y de puntos de calor de MODIS fue dividido entre el área total correspondiente a cada tipo de vegetación (número de incendios o puntos de calor/área en km²).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presenta la evolución anual del número de incendios forestales y la superficie quemada en hectáreas en Guanajuato, desde 1970 hasta 2024, según los datos de CONAFOR. En este gráfico se observa una considerable variabilidad en el número de incendios, con picos y valles a lo largo del tiempo, y una tendencia general al aumento, aunque con una baja capacidad explicativa ($R^2 = 0.16$, $p = 0.002$), lo que sugiere que la temporalidad no es el único factor que influye en su ocurrencia. Por otro lado, la superficie quemada derivada de CONAFOR presenta una variabilidad aún mayor, con picos destacados en 1970 y 2019 que no coinciden directamente con el número de incendios. Sin embargo, la superficie afectada podría depender directamente de la disponibilidad de combustible para arder y de la intensidad de la sequía.

Desde la década de 1980 hasta la década de 2000, el número de incendios aumentó, pero la superficie quemada no mostró un incremento proporcional, lo que indica que la relación entre estas dos variables no es lineal ni directa. Adicionalmente, se encontró una correlación positiva débil de 0.27 entre el número de incendios y la superficie quemada.

La Figura 2 muestra la evolución anual del número de incendios forestales y la superficie quemada en el estado de Querétaro entre 1970 y 2024. En esta figura se observa un aumento general en la frecuencia y magnitud de los incendios a partir de la década de 1990, con picos destacados alrededor de los años 2000 y 2010. El análisis de regresión lineal indica una tendencia creciente en el número de incendios, aunque con una capacidad explicativa limitada ($R^2 = 0.21$, $p = 0.003$), lo que implica que existen otros factores que también influyen en su ocurrencia.

En cuanto a la superficie quemada, se identifican periodos de baja afectación interrumpidos por eventos extremos. Destacan los picos de 1986 (más de 10,000 hectáreas) y 1998 (más de 17 500 hectáreas), que no coinciden necesariamente con años de alta frecuencia de incendios. Esto sugiere que la magnitud de los eventos puede variar considerablemente, independientemente del número de

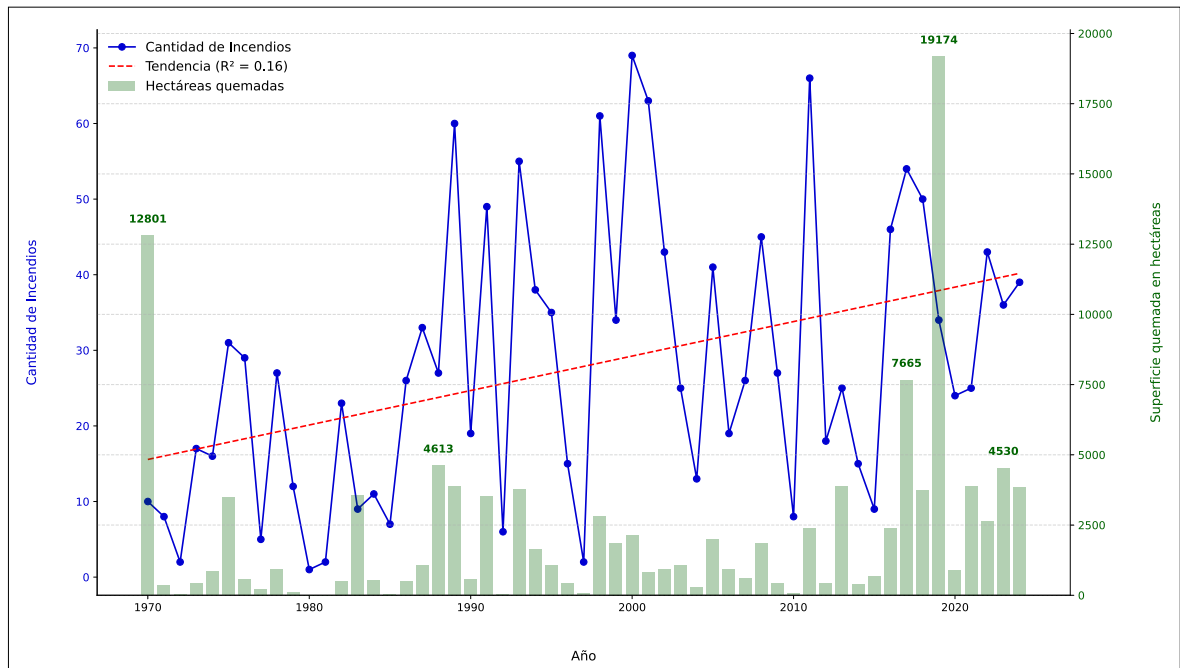


Figura 1. Evolución anual del número de incendios forestales y superficie quemada en Guanajuato en el periodo 1970-2024. Fuente: datos de CONAFOR (2023c, 2024).

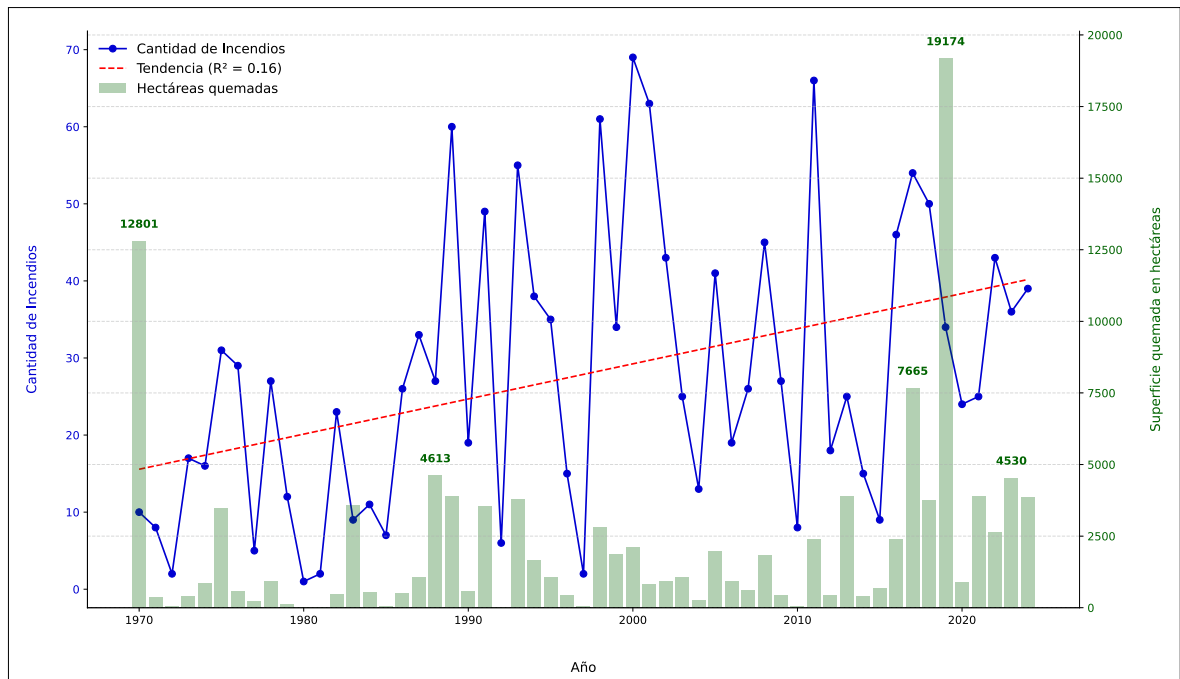


Figura 2. Evolución anual del número de incendios forestales y superficie quemada en Querétaro (1970-2024). Fuente: datos de CONAFOR (2023c, 2024).

sinistros. El análisis de correlación arrojó un valor de $r = 0.43$, lo que indica una correlación positiva moderada entre el número de incendios y la superficie afectada, lo que sugiere una relación notable, pero también la influencia de otros factores.

Las correlaciones positivas, pero limitadas, entre número de incendios y superficie afectada sugieren que, aunque los años con más incendios tienden a presentar mayor superficie quemada, existen otros factores, como la sequía meteorológica, que pueden ser determinantes en la extensión de las áreas afectadas. Además, la superficie quemada muestra patrones de estabilidad interrumpidos por eventos extremos. En Guanajuato, la superficie quemada varió entre 100 y 500 hectáreas anuales en la mayoría de los años. En Querétaro, los picos más altos ocurrieron en 1986 y 1998, sin coincidencia necesaria con aumentos en el número de incendios, aunque 1998 fue un año histórico en la ocurrencia de incendios forestales a nivel nacional, ocasionados por una sequía muy intensa asociada al fenómeno de El Niño. A pesar de que el número de incendios en Guanajuato aumentó de un promedio de 20

eventos anuales en la década de 1980 a más de 50 en la década de 2010, la superficie quemada no mostró un incremento proporcional.

En la Figura 3 se presenta un análisis comparativo de la incidencia de incendios forestales entre Guanajuato y Querétaro. Las barras verticales cuantifican los eventos mensuales, cuyo total acumulado se especifica en su extremo superior. El gráfico superpone, además, las tendencias climáticas (2005-2024), representadas por la temperatura media mensual y la precipitación media mensual. Los datos del sensor MODIS indican que el mes de máxima actividad fue abril para Guanajuato y marzo para Querétaro. Por su parte, los registros oficiales de CONAFOR muestran una discrepancia para Guanajuato, señalando a marzo como el mes de mayor incidencia, pero abril para Querétaro. De esta manera, la temporada de incendios se relacionaría con la temporada más seca del año, confirmada por el aumento de la temperatura y el descenso de la precipitación en el gráfico.

En este sentido, existen fenómenos naturales, como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que

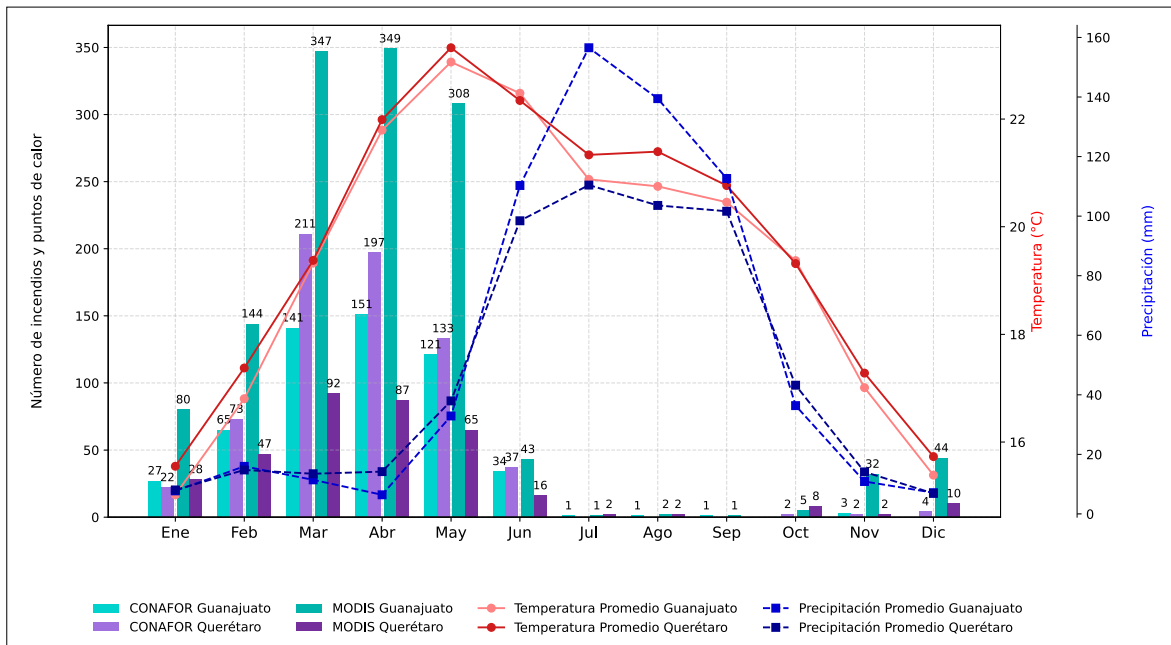


Figura 3. Número y dinámica estacional de los incendios forestales ocurridos entre enero de 2005 y diciembre de 2024, en los estados de Guanajuato y Querétaro, de acuerdo con los datos de CONAFOR (2023c, 2024) en tonos azules y MODIS (2024) en tonos rojos.

podrían influir en la magnitud de los incendios, aunque no necesariamente en su frecuencia (Pavón y Sánchez, 2011). Neger *et al.* (2022) señalan que el ENOS está asociado con condiciones climáticas extremas, como sequías prolongadas y altas temperaturas, que aumentan la disponibilidad de material combustible seco, facilitando la propagación de incendios de mayor magnitud. Además, Farfán *et al.* (2021) destacan que, en Guanajuato, tanto El Niño como La Niña generan anomalías climáticas que podrían exacerbar la severidad de los incendios. Durante El Niño, por ejemplo, las temperaturas más altas y la reducción de precipitaciones en abril y mayo crean condiciones ideales para incendios extensos, incluso sin aumentar su frecuencia. Este patrón coincide con estudios globales, como el de Abatzoglou *et al.* (2018), que demuestran la relación entre aridez, disponibilidad de combustible y superficie quemada.

Respecto a la distribución espacial de *hotspots* y *coldspots*, con los datos de CONAFOR se identificaron *hotspots* en regiones del noroeste de Guanajuato y del noreste de Querétaro, pero con una densidad menor, y *coldspots* en el sur de Querétaro (Fig. 4). En cambio, MODIS presentó una mayor concentración y extensión de *hotspots* de alta confianza, especialmente en el suroeste y noroeste de Guanajuato. Estos resultados se muestran en la Figura 4, donde los tonos rojos indican *hotspots* con diferentes niveles de confianza estadística (del 90 % al 99 %), mientras que los tonos azules señalan *coldspots* con la misma gradación de confianza; los puntos grises no son estadísticamente significativos. La correlación entre la disposición de los *hotspots* y los *coldspots* fue ligeramente positiva (0.389), con un valor de $p = 0.00000022$, lo que indica que existe una relación estadísticamente significativa, aunque baja, entre los puntos identificados como *hotspot*, *coldspot* y los puntos grises por ambas fuentes.

De acuerdo con el análisis de *hotspots* y *coldspots*, los registros de CONAFOR detectaron un menor número de celdas clasificadas como *hotspots* en comparación con MODIS, así como una menor cantidad de *coldspots*. Espacialmente, MODIS detectó una mayor cantidad de *clusters* distribuidos a lo largo de toda el área de estudio. Dado que tiene un

píxel de 1 km, genera un patrón agregado más denso respecto a los datos reportados por CONAFOR, cuyo monitoreo es «manual» y se concentra en áreas específicas donde puede existir mayor capacidad institucional para reportarlos.

Existen discrepancias notables entre las fuentes de información, probablemente derivadas de diferencias en las escalas de detección y en los criterios de clasificación. Debe considerarse que el sensor MODIS tiende a detectar un mayor número de puntos de calor y, en ciertos casos, puede sobrestimar la magnitud de los incendios reales, dado que registra cualquier emisión de radiación infrarroja, independientemente de su origen (Zúñiga-Vásquez *et al.*, 2017). Además, CONAFOR no atiende todos los siniestros y, por lo tanto, hay una subestimación en atención y reporte (véase González-Gutiérrez *et al.*, 2020).

La correlación moderada entre los *hotspots* y *coldspots* sugiere que, a pesar de las diferencias metodológicas y en la forma de recolectar datos entre MODIS y CONAFOR, ambas fuentes ayudan a capturar patrones espaciales similares en la distribución de incendios de vegetación, particularmente cuando se consideran procesos de larga duración.

Una consideración importante es que un mismo incendio puede reflejarse de manera distinta en ambas fuentes. Mientras que CONAFOR lo registra como un único evento, con información puntual de fecha, superficie afectada, impacto y tipo de vegetación, MODIS puede detectarlo como múltiples puntos de calor distribuidos en el espacio y en el tiempo, pero cercanos y relacionados entre sí.

Pese a estas diferencias, es notable la coincidencia en ciertas regiones críticas identificadas como *hotspots* por ambas fuentes. Esta coincidencia sugiere que son zonas con una recurrencia de incendios suficientemente alta como para ser detectadas tanto por sensores remotos como por mecanismos terrestres de reporte.

Sobre la comparación de la distribución espacial de *hotspots* y *coldspots* con los tipos de vegetación presentes en ambos estados (Figura 5), se encontró que los *hotspots* se ubican principalmente en bosque de encino y bosque de pino, y se concentran en las zonas suroeste, centro y norte de Guanajuato, así como en el norte de Querétaro.

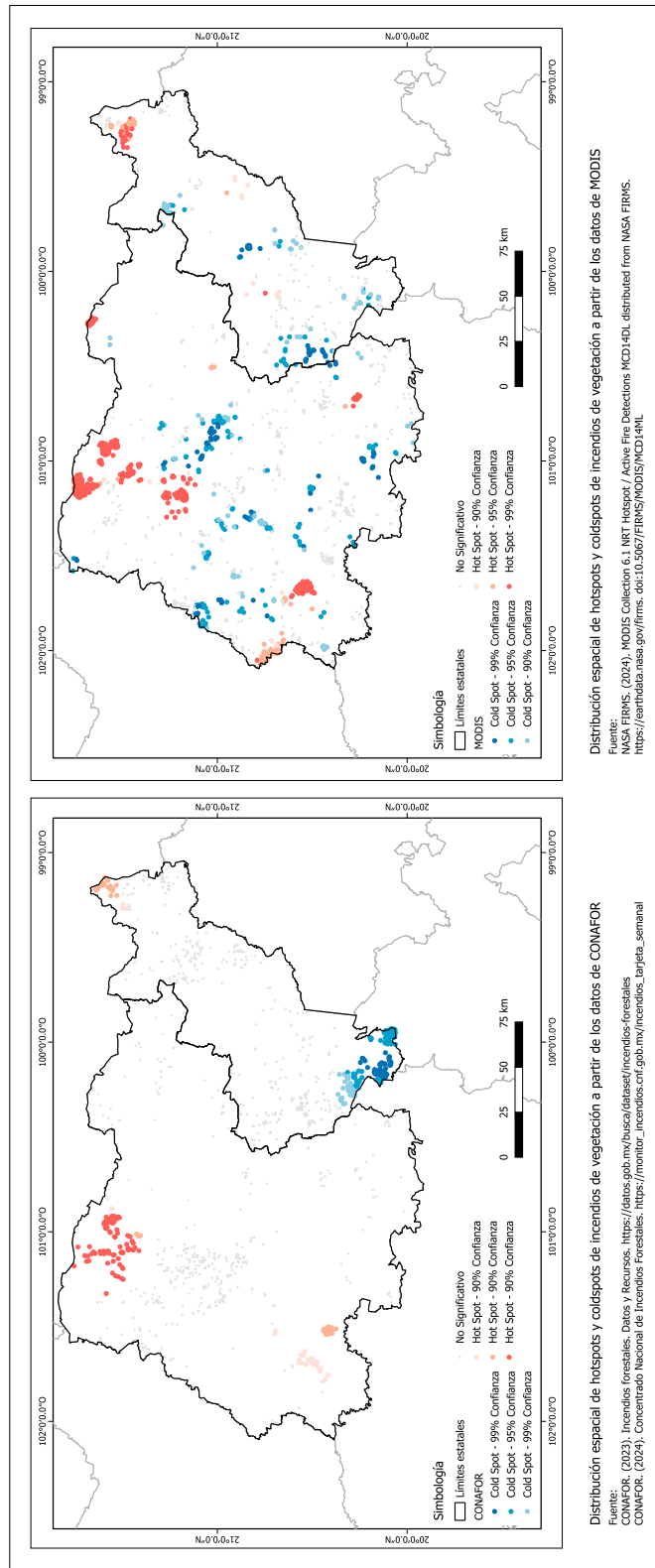


Figura 4. Distribución espacial de hotspots y coldspots de incendios de vegetación en los estados de Guanajuato y Querétaro, a partir de los datos de CONAFOR (2023c, 2024) a la izquierda y MODIS (2024) a la derecha.

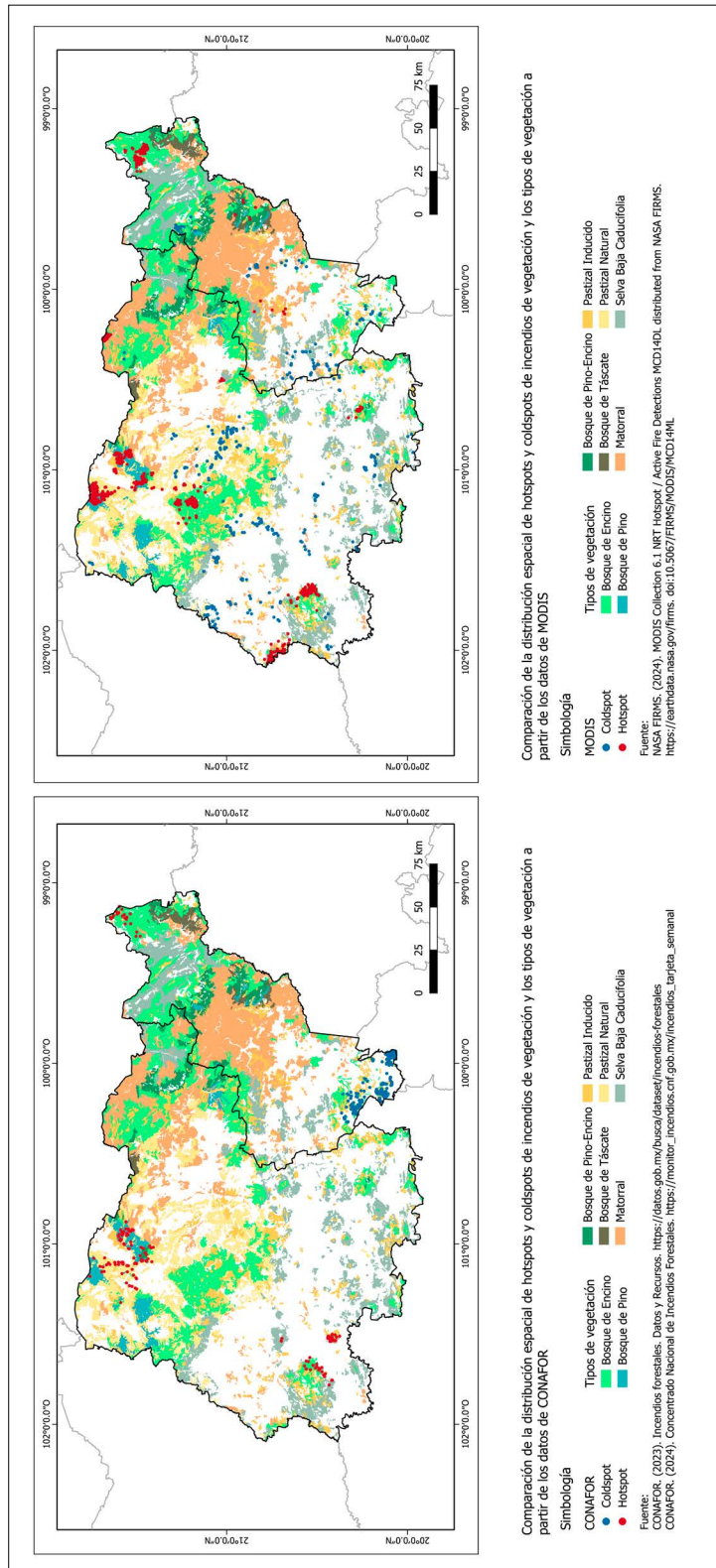


Figura 5. Comparación de la distribución espacial de hotspots y coldspots de incendios forestales y los tipos de vegetación en los estados de Guanajuato y Querétaro a partir de los datos de MODIS (2024) y CONAFOR (2023c, 2024). En negro se muestran los límites estatales (líneas gruesas) y límites municipales (líneas delgadas).

La incidencia de incendios forestales registrada por CONAFOR en las principales coberturas vegetales de Guanajuato y Querétaro mostró que la mayoría de los incendios se localizan sobre el bosque de encino, la selva baja caducifolia y el bosque de pino-encino. Sin embargo, al considerar la densidad de incendios (n/km^2), el patrón cambia sustancialmente: el bosque de pino-encino presentó la mayor densidad relativa ($0.156 n/km^2$), lo que indica una mayor incidencia proporcional respecto a su superficie total. El bosque de encino, a pesar de concentrar el mayor número total de incendios, registró una densidad menor ($0.069 n/km^2$) debido a su amplia extensión territorial. El bosque de pino mostró una densidad intermedia ($0.08 n/km^2$), mientras que el matorral presentó la menor incidencia relativa ($0.021 n/km^2$).

Independientemente del tipo de vegetación, la mayoría de los incendios se concentran consistentemente entre los meses de enero y mayo, lo que coincide con la temporada más seca del año en estas dos entidades (Guanajuato y Querétaro). Este patrón es especialmente evidente en el bosque de encino, la selva baja, el matorral, el pastizal y el bosque de pino-encino (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipos de vegetación más afectados por incendios de vegetación según CONAFOR y MODIS entre 2005 y 2024. El número de incendios total durante todo el periodo es presentado para cada fuente de datos en orden descendente.

Tipo de vegetación	Número de incendios según CONAFOR	Número de incendios según MODIS
Bosque de encino	548	389
Selva baja caducifolia	151	333
Bosque de pino-encino	135	85
Pastizal inducido	128	311
Matorral	101	166
Pastizal natural	93	273
Bosque de pino	58	149
Bosque de táscate	12	9

Con relación a los datos de MODIS, los tipos de vegetación con mayor número de registros fueron los bosques, la selva baja caducifolia, los pastizales y los matorrales. En estos tipos de vegetación, la acumulación de material combustible y las condiciones de baja humedad pueden favorecer la propagación del fuego (Gutiérrez Martínez *et al.*, 2015) (Cuadro 1). Por otro lado, el análisis de densidad mostró que el bosque de pino presentó la mayor densidad ($0.205 n/km^2$), superando ampliamente al resto de las categorías. El pastizal inducido ($0.101 n/km^2$), el bosque de pino-encino ($0.098 n/km^2$) y el bosque de encino ($0.097 n/km^2$) también registraron valores elevados. En contraste, el bosque de táscate ($0.024 n/km^2$) y el matorral ($0.035 n/km^2$) presentaron las menores densidades relativas.

En los bosques de encino y pino o pino-encino existe una baja probabilidad de incendio, y este tipo de ecosistemas tiene una baja regeneración, lo cual afectaría la recuperación del ecosistema (CONABIO, 2000). En cambio, los pastizales y matorrales tienden a experimentar incendios más frecuentes, pero de menor intensidad, en algunos casos donde la vegetación puede soportar o evitar un incendio (Ugalde de la Cruz *et al.*, 2023). En zonas de selva baja, los incendios pueden estar favoreciendo la degradación progresiva de estos tipos de vegetación, caracterizados por una baja frecuencia de fuego y una limitada capacidad de recuperación (CONABIO, 2000).

El cálculo de la densidad de incendios (n/km^2) mostró que las coberturas más extensas no necesariamente presentan mayor presión relativa de incendios. Algunos estudios que utilizan el *Fire Density Index* (por ej., Vega-Nieva *et al.*, 2019) han señalado que valores cercanos a 0.02 incendios· km^{-2} pueden considerarse indicativos de alta densidad relativa. Bajo este criterio, todas las coberturas superan el valor de referencia; sin embargo, más que la superación del umbral en sí, resulta relevante la magnitud relativa observada, particularmente en bosques de pino, encino y mixtos, donde las densidades exceden varias veces el valor propuesto.

En los registros de CONAFOR, la mayor densidad en el bosque de pino-encino sugiere una incidencia elevada de incendios de vegetación; no

obstante, estos datos corresponden a incendios validados administrativamente y pueden estar influidos por procesos de reporte, accesibilidad o subregistro. Por su parte, MODIS detecta anomalías térmicas, pudiendo contabilizar uno o varios registros para un mismo incendio.

A pesar de estas diferencias metodológicas, ambas fuentes coinciden en señalar mayores densidades relativas en bosques de encino, pino y mixtos, lo que sugiere una presión de fuego importante en estas coberturas. Sin embargo, la frecuencia por unidad de superficie no refleja necesariamente la severidad ni el área efectivamente afectada, y el umbral citado constituye un criterio estadístico de clasificación.

En el suroeste del estado de Guanajuato, los *hotspots* se localizan en los municipios de Pénjamo, Manuel Doblado y Cuerámaro, mientras que en el norte del estado se presentan en los municipios de San Diego de la Unión, San Luis de la Paz, San Felipe, Guanajuato y Dolores Hidalgo Cuna de la Independencia Nacional.

Los municipios de Pénjamo, Manuel Doblado y Cuerámaro, donde se localizaron los *hotspots* al suroeste, tienen declaración de denominación de origen de mezcal, una bebida alcohólica producto de la destilación de plantas de agave (familia Asparagaceae, género *Agave*) (IMPI, 2025; <https://doig.impi.gob.mx/>). Por otro lado, el municipio de San Luis de la Paz, al norte del estado, también es reconocido dentro de esta zona (IMPI, 2025; <https://doig.impi.gob.mx/>). Las actividades relacionadas con el cultivo del agave han promovido la deforestación y la degradación del suelo (Romero-Martínez, 2021). Estas actividades también pudieran estar relacionadas con la incidencia de incendios de vegetación natural, debido a que la «roza, tumba y quema», una técnica agrícola común en el país asociada a la expansión de diversos cultivos agrícolas (Ponce *et al.*, 2011), es una práctica que, cuando es mal ejecutada, desencadena este tipo de acontecimientos.

Lo mismo ocurre con el tequila, una bebida alcohólica proveniente de otra especie de agave, cuyos municipios con denominación de origen en Guanajuato son Abasolo, Manuel Doblado, Cuerámaro, Huanímaro, Pénjamo y Purísima del Rincón (IMPI, 2025; <https://doig.impi.gob.mx/>). De estos, varios municipios tienen *hotspots* de

incendios. Aunque no hemos encontrado alguna referencia bibliográfica formal que relacione directamente el cultivo del agave con la incidencia de los incendios de vegetación, varias noticias alertan de que el aumento en la superficie cultivada con la planta de agave puede estar condicionando no solo la deforestación, sino también la presencia de incendios (por ej., Arriaga, 2025; EFE, 2023).

En el norte de Querétaro, particularmente en la Sierra Gorda, también se observan *hotspots* en bosques de encino, siguiendo el mismo patrón de asociación con la vegetación forestal. En conjunto, los *hotspots* se encuentran cercanos a áreas agrícolas, y los parches de vegetación y bosque en donde se han identificado se encuentran rodeados por agricultura. Los *coldspots* muestran una distribución espacial contrastante, encontrándose principalmente en áreas cercanas a zonas agrícolas y zonas urbanas, correspondiendo a parches fragmentados de vegetación, generalmente de selva baja caducifolia, matorral y pastizal.

Los *hotspots* en Querétaro se concentran en los municipios de Jalpan de Serra, Landa de Matamoros y Cadereyta de Montes, sobre la Sierra Gorda, así como en los municipios de Colón y San Joaquín, ubicados al centro y al norte del estado, respectivamente. La Sierra Gorda pertenece a la Sierra Madre Oriental, y en ella se encuentra el Área Natural Protegida (ANP) Sierra Gorda, compartida con los estados de Guanajuato, Hidalgo y San Luis Potosí. Esta ANP tiene categoría de Reserva de la Biosfera y está localizada en los municipios queretanos de Arroyo Seco, Jalpan de Serra, Landa de Matamoros, Peñamiller y Pinal de Amoles (DOF, 2000), dos de ellos con alta concentración de *hotspots*.

La Reserva de la Biosfera Sierra Gorda cuenta con un programa de manejo (SIMEC, 2024) elaborado por el Instituto Nacional de Ecología (1999), en donde se establecen las directrices fundamentales para la conservación del ANP. Entre los principales problemas identificados en el programa de manejo se encuentran los incendios forestales, que representaron un impacto considerable en la zona durante el período de 1993 a 1997, en el que se registró un promedio anual de 230 hectáreas afectadas por incendios en los cinco municipios que conforman la Reserva (Instituto Nacional de

Ecología, 1999). Lamentablemente, para el periodo del siglo XXI que estudiamos en el presente análisis, parece que el problema no se ha revertido.

El entendimiento de los fenómenos que condicionan la presencia de incendios permitirá un mejor manejo y prevención del fuego en los ambientes naturales. Por ejemplo, en los bosques de encino de los municipios queretanos de Amealco de Bonfil y San Juan del Río, la producción de carbón vegetal a través de hornos rústicos de carbón podría estar relacionada con la incidencia de incendios forestales (véase la noticia de Velázquez, 2022). En el Programa Estratégico Forestal del estado de Querétaro 2030, publicado en el año 2007 (Musalem López, 2007), ya se mencionaba que entre 6 y 8 incendios forestales de cada 10 eran ocasionados por el hombre y estaban muy relacionados con los hornos de carbón. Además, en Guanajuato se ha demostrado que estos hornos pueden modificar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo, cambiando también las comunidades vegetales (Gómez-Luna *et al.*, 2010). Como consecuencia, estos hornos pueden promover los incendios de vegetación cuando se operan en condiciones ilegales, lo que se ha documentado mediante noticias en otros estados del país (por ej., PROFEPA, 2016; Figueiras, 2020).

Otra ANP, la Zona Sujeta a Conservación Ecológica El Tángano, ubicada en los municipios de Querétaro, El Marqués y Huimilpan (SECIHTI, 2023), también ha registrado eventos de incendios de vegetación nativa. Aunque no hay *hotspots* en esta ANP y no hay evidencia bibliográfica documentada, a través de noticias se ha alertado sobre incendios de vegetación provocados, en este caso, para la venta de tierras (por ej., Mascott, 2025).

Por otro lado, resalta la presencia de *coldspots* en el centro y sur del estado que, aunque son agrupaciones de pocos registros, siguen siendo estadísticamente significativas, lo cual hace notar que estos eventos pudieran ser causados por procesos similares. Los agentes causantes de incendios en esta zona durante el año 2025 pudieran estar relacionados con actividades humanas, como quemas agrícolas no controladas, fogatas mal apagadas o incluso la propagación intencional de incendios (La Voz de Querétaro, 2025). Espacialmente, estas causas co-

bran sentido, puesto que la distribución de los *coldspots* se encuentra sobre remanentes de vegetación natural rodeados por coberturas antrópicas, como zonas urbanas —colindando incluso con la ciudad de Santiago de Querétaro— y zonas agrícolas.

CONCLUSIONES

El estudio de la dinámica espacio-temporal de los incendios de vegetación en los estados de Guanajuato y Querétaro reveló varios patrones fundamentales, entre los cuales destaca la tendencia al incremento en el número de incendios a lo largo del período estudiado, aunque con una alta variabilidad interanual. La superficie quemada no mantiene una relación directa con la frecuencia de incendios, sino que presenta más bien eventos extremos esporádicos que no necesariamente coinciden con los años de mayor ocurrencia; no obstante, resultaría importante evaluar su asociación con variables climáticas, como la humedad relativa y los eventos de El Niño y La Niña. Dependiendo de la fuente de datos, los patrones observados pueden mostrar discrepancias. Los datos de CONAFOR y MODIS ofrecen perspectivas complementarias: los registros oficiales aportan información detallada sobre incendios confirmados, mientras que MODIS brinda una visión amplia del fenómeno a escala regional, útil para mejorar las estrategias de monitoreo, prevención y respuesta. Por lo tanto, la integración de múltiples fuentes de información es crucial para mejorar la precisión y la comprensión de la dinámica de los incendios. Esto permitirá desarrollar estrategias de prevención y control más efectivas y adaptadas a la diversidad de tipos de vegetación afectados.

La comparación entre las distintas fuentes de datos demostró que existen limitaciones importantes en el monitoreo y registro de estos eventos por parte de CONAFOR, lo que sugiere la necesidad de integrar múltiples fuentes de información para obtener una comprensión más completa del fenómeno. Los *hotspots* permiten diagnosticar los sitios donde frecuentemente ocurren incendios y donde estos muestran patrones de agregación espacial, lo que puede aproximarnos a los procesos que generan

los incendios de la vegetación, especialmente en las Áreas Naturales Protegidas. Sin embargo, la escasa documentación formal mediante artículos científicos convierte en un reto adicional la posibilidad de analizar cuantitativamente los impactos de las actividades socioeconómicas (como la producción de mezcal, tequila y carbón) en la incidencia de los incendios de la vegetación en los municipios más afectados durante el primer cuarto del siglo XXI.

El análisis de las detecciones de incendios en Guanajuato y Querétaro demuestra que el fenómeno tradicionalmente clasificado como incendios forestales debería ser reconsiderado como incendios de vegetación, ya que los datos evidencian que estos eventos no se limitan a zonas boscosas, sino que afectan una amplia variedad de ecosistemas, incluyendo matorrales, pastizales y vegetación secundaria. De hecho, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (DOF, 2018) define como vegetación forestal al conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural, formando bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas, y otros ecosistemas.

El análisis de las fuentes de ignición naturales y antrópicas, así como un enfoque integral en el manejo del fuego, coordinado entre los diferentes órdenes de gobierno municipal, estatal y federal, con énfasis en el fortalecimiento de las acciones de prevención tanto a nivel de combustibles como cultural, podrían contribuir a mitigar los impactos de los incendios en Guanajuato y Querétaro, protegiendo así sus recursos naturales y su biodiversidad, y abordando de manera más efectiva el desafío que representan los incendios en estos lugares. Como ya se menciona en el Programa Estratégico de Manejo del Fuego de la CONAFOR (CONAFOR, 2023b), se requiere articular las tres líneas de prevención física, legal y cultural en un mismo esquema de trabajo que trascienda la temporada crítica y se convierta en política pública permanente.

REFERENCIAS

- Abatzoglou, J. T., Williams, A. P., Boschetti, L., Zubkova, M. y Kolden, C. A. (2018). Global patterns of interannual climate-fire relationships. *Global change biology*, 24(11), 5164–5175. <https://doi.org/10.1111/gcb.14405>
- Aguilar-Tomasini, M. A., Escalante, T. y Farfán, M. (2020). Effectiveness of natural protected areas for preventing land use and land cover changes of the Transmexican Volcanic Belt, Mexico. *Regional Environmental Change*, 20(3), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01660-3>
- Angeletto, F., Santos, J. W. M. C., Ruiz Sanz, J. P., Silva, F. F. D., y Albertín, R. M. (2016). Tipología socioambiental de las ciudades medias de Brasil: aportes para un desarrollo urbano sostenible. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 8(2), 272-287.
- Arriaga, M. (2025). Actividad agrícola y los incendios arrasan con Sierra de Pénjamo. <https://periodicocoreo.com.mx/municipios/2025/apr/09/actividad-agricola-y-los-incendios-arrasan-con-sierra-de-pen-jamo-125170.html>
- Arredondo Pérez, A., Hiriart Prado, C. A. y Mejía Morales, N. (2022). La entropía urbana en ciudades intermedias: el caso de Guanajuato, México. *Revista ciudades, estados y política*, 9(3), 43–55. <https://doi.org/10.15446/cep.v9n3.100757>
- Castillo, M. y Pedernera, P. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo (CIPMA)*, 19(3 y 4), 44-53.
- Chainey, S. y Ratcliffe, J. (2005). *GIS and Crime Mapping*. John Wiley & Sons. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118685181>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2000). Susceptibilidad a los incendios de la vegetación natural. <http://www.conabio.gob.mx/mapaservidor/incendios/tablas2000/vegetacion.html>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2021). Sistema de Alerta Temprana de Incendios Forestales (SATIF) para México y Centroamérica. <http://incendios-beta.conabio.gob.mx/>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2024). Puntos de calor detectados con imágenes de satélite. <http://incendios1.conabio.gob.mx/>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (s.f.). ¿Qué hacemos? <https://www.gob.mx/conafor/que-hacemos>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2010). *Incendios forestales. Guía práctica para comunicadores*. (3ª ed.). <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2023a). Brigadas de Subsidios. <https://manejodelfuego-operaciones.cnf.gob.mx/brigadas-de-subsidios/>

- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2023b). Frente a los incendios forestales, un Programa de Manejo del fuego. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/909732/Frente_a_los_incendios_forestales_un_Programa_de_Manejo_del_Fuego.pdf
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2023c). Incendios forestales. Datos y recursos. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/incendios-forestales>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). (2024). Concentrado Nacional de Incendios Forestales. https://monitor_incendios.cnf.gob.mx/incendios_tarjeta_semanal
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2018). Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable. *Diario Oficial de la Federación*.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2000). Aviso mediante el cual se informa al público en general que un primer grupo de 34 áreas naturales protegidas han sido incluidas en el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. *Diario Oficial de la Federación*. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_sinap_aviso/108_sinap-aviso.pdf
- EFE. (2023). Producción de agave sostenible: La alternativa para evitar la pérdida de ecosistemas claves. *El Financiero*. <https://www.elfinanciero.com.mx/mundo/2023/07/12/sobreproduccion-de-tequila-agrava-asi-el-cambio-climatico/>
- ESRI. (2011). ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- Farfán, M., Dominguez, C., Espinoza, A., Jaramillo, A., Alcántara, C., Maldonado, V., Tovar, I. y Flamenca, 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>
- Figueiras, M. (2020). Hornos de carbón, principal causa de incendios forestales: PC. <https://oem.com.mx/elsoldedorizaba/local/hornos-de-carbon-principal-causa-de-incendios-forestales-pc-pc-mariano-escobedo-veracruz-14959218>
- García Meza, M. A., Valderrama Santibáñez, A. L., y Castillo, N. O. (2019). Importancia económica de las ciudades medias en México. *Región y sociedad*, 31, e1241.
- García-Mora, T. J., y Mas, J. F. (2011). Evaluación de imágenes del sensor MODIS para la cartografía de la cobertura del suelo en una región altamente diversa de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 63(1), 83-94. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SI1405-33222011000100008&lng=es&tlng=es.
- Getis, A. y Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24(3), 189-206.
- Gómez-Luna, B. E., Vázquez-Marrufu, G., Ruiz-Aguilar, G. M. D. L. L. y Olalde-Portugal, V. (2010). Cambios en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo generados por la producción de carbón vegetal en el bosque templado de (*Quercus* spp.) En Santa Rosa, Gto. México. *Ra Ximhai*, 6(2), 187-197.
- González-Gutiérrez, I., Mas-Causse, J. F., Morales-Manilla, L.M. y Ocegüera-Salazar, K. A. (2020). Fiabilidad temática de puntos de calor e incendios forestales en Michoacán, México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 26(1), 17-35. Epub 03 de marzo de 2021. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.01.011>
- Gutiérrez-Martínez G., Orozco Hernández M. E., Ordóñez Díaz J. A. B. y Camacho Sanabria, J. M. (2018). Régimen y distribución de los incendios forestales en el Estado de México (2000 a 2011). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(29), 92-107. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v6i29.219>
- Hantson, S., Padilla, M., Corti, D. y Chuvieco, E. (2013). Strengths and weaknesses of MODIS hotspots to characterize global fire occurrence. *Remote Sensing of Environment*, 131, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.004>
- Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., Del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., Gérard-Marchant, P., Sheppard, K., Reddy, T., Weckesser, W., Abbasi, H., Gohlke, C. y Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357-362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science Engineering*, 9(3), 90-95.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2002). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie III (continuo nacional), escala: 1:250000. Dirección General de Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2007). Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie IV (continuo nacional), escala: 1:250000. Dirección General de .
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2011). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie V (Capa unión), escala: 1:250000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2014). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa unión), escala: 1:250000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016a). *Estructura económica de Guanajuato en síntesis*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825083984>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2016b). *Estructura económica de Querétaro en síntesis*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825082802>.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2018). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII (Capa unión), escala: 1:250000. edición: 1. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2020). Panorama sociodemográfico de Querétaro: Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_es-truc/702825197957.pdf. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021a). Áreas geoestadísticas municipal, 2021, escala: 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2021b). Panorama sociodemográfico de Guanajuato: Censo de Población y Vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_es-truc/702825197841.pdf. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2022). Áreas geoestadísticas estatales, 2022, escala: 1:250000. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2024). Producto Interno Bruto por Entidad Federativa (PIBE) 2023, Preliminar. <https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2018/#documentacion>. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial). (2025). Denominaciones de Origen Nacionales. <https://doig.impi.gob.mx/>
- INE (Instituto Nacional de Ecología). (1999). *Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda*. Instituto Nacional de Ecología.
- La Voz de Querétaro. (2025). Incendios forestales en Querétaro: causas humanas, impacto ecológico y respuesta institucional. <https://lavozdequeretaro.com/queretaro/incendios-forestales-en-queretaro-causas-humanas-impacto-ecologico-y-respuesta-institucional/>
- McKinney, W. (2010). Data structures for statistical computing in Python. *scipy*, 445(1), 51-56.
- Mascott, K. (2025). Urgente prevenir incendios en El Tángano, alertan ambientalistas. <https://www.meganoticias.mx/queretaro/noticia/urgente-prevenir-incendios-en-el-tangano-alertan-ambientalistas/585672>
- Morrone, J. J. (2019). Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90, e902980. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980>
- Musalem Lopez, F. (2007). *Programa Estratégico Forestal del estado de Querétaro 2030*. Gobierno del Estado de Querétaro. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/188Programa%20Estrat%C3%A9gico%20Forestal%20del%20Estado%20de%20Quer%C3%A9taro.pdf>
- NASA. (s.f.). MODIS data. <https://modis.gsfc.nasa.gov/data>
- NASA FIRMS. (2024). MODIS Collection 6.1 NRT Hotspot / Active Fire Detections MCD14DL distributed from NASA FIRMS. <https://earthdata.nasa.gov/firms>. doi:10.5067/FIRMS/MODIS/MCD14ML
- Neger, C., León-Cruz, J. F., Galicia Sarmiento, L., y Manzo-Delgado, L. de L. (2022). Dinámica espacio-temporal, causas y efectos de los megaincendios forestales en México. *Madera y Bosques*, 28(2), e2822453. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2822453>
- Odland, J. (1987). *Spatial Autocorrelation*. Sage Publications.
- Parra-Lara, Á. D., y Bernal-Toro, F. H. (2010). Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. *El Hombre y la Máquina*, 35, 67-81.
- Pavón N.P. y Sánchez, G. (2011). El Niño y los incendios en matorrales semiáridos de México. En G. Sánchez Rojas, C. Ballesteros Barrera y N. P. Pavón (Eds.), *Cambio Climático: aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad* (pp. 69-80). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Payra, S., Sharma, A. y Verma, S. (2023). Application of remote sensing to study forest fires. En S. Kumar y S. Tiwari (Eds.), *Atmospheric Remote Sensing: Principles & Applications* (pp. 239-260). ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99262-6.00015-8>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., y Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12(Oct), 2825-2830.
- Ponce, E. L., Barrera, L. C., y Fernández, M. A. (2012). El sistema milpa roza, tumba y quema de los Maya

- Itzá de San Andrés y San José, Petén Guatemala. *Ra Ximhai*, 8(2.), 71-92.
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente). (2016). Asegura PROFEPA 10 hornos rústicos en proceso de elaboración de carbón vegetal, en Tamaulipas. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/7958/1/mx/asegura_profepa_10_hornos_rusticos_en_proceso_de_elaboracion_de_carbon_vegetal_en_tamaulipas.html
- QGIS.org (2024). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Romero Martínez, A. O. (2021). La expansión del agave en Guanajuato. La denominación de origen que amenaza a los ecosistemas. En R. E. Rózga Luter, S. E. Serrano Oswald y V. E. Mota Flores (Coords.), *Innovación, turismo y perspectiva de género en el desarrollo regional* (vol. V). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional. ru.iiec.unam.mx/5632/.
- SECIHTI. (2023). Áreas naturales protegidas del estado de Querétaro. <https://secihtl.mx/cibiogem/index.php/anpl/queretaro>
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). (2024). Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- SIMEC. (2024). Sierra Gorda. CONANP. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=108>
- SNIF. (2023). Sistema Nacional de Información Forestal: SNIF. <https://snif.cnf.gob.mx/>
- Ugalde de la Cruz, Y. H., Maruri Aguilar, B., Hernández Martínez, M. M., Aguirre Díaz, G. de J. y Sánchez Martínez, E. (2023). Perspectiva sobre los incendios forestales en el semidesierto queretano hidalguense, México. *Naturaleza y Sociedad. Desafíos Medioambientales*, 5, 41-65. <https://doi.org/10.53010/nys5.03>
- Van Rossum, G. y Drake, F. L. (2009). *Python 3 Reference Manual*. CreateSpace.
- Vega-Nieva, D.J., Nava-Miranda, M.G., Calleros-Flores, E. et al. (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(1). <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0042-z>
- Velázquez, F. (2022). Tala y operación de hornos de carbón, los males que aquejan a Amealco. <https://codigoqro.mx/nota/especial/2022/04/05/tala-y-operacion-de-hornos-de-carbon-los-males-que-quejan-a-amealco>
- Waskom, M. L., (2021). seaborn: statistical data visualization. *Journal of Open Source Software*, 6(60), 3021, <https://doi.org/10.21105/joss.03021>.
- Zhang, Z., y Moore, J. C. (2015). Chapter 4 - Remote Sensing. En Z. Zhang y J. C. Moore (Eds.), *Mathematical and Physical Fundamentals of Climate Change* (pp. 111–124). ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800066-3.00004-8>
- Zúñiga-Vásquez, J. M., Cisneros-González, D., Pompa-García, M., Rodríguez-Trejo, D. A. y Pérez-Verdín, G. (2017). Spatial modeling of forest fires in Mexico: an integration of two data sources. *Bosque (Valdivia)*, 38(3), 563-574. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002017000300014>