

MONITOREO DE CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN USANDO TELEDETECCIÓN. CASO APLICADO A INCENDIOS FORESTALES EN NUEVO LEÓN

Luis Gerardo Ramos-Zuñiga^{1,*}

¹ *Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Linares, N.L. 67700, México*

* luis.ramoszg@uanl.edu.mx

Resumen

Los incendios forestales provocan la destrucción de la vida vegetal, lo que lleva a una reducción de la cantidad de clorofila presente. La clorofila, un pigmento responsable del color verde de las plantas, es crucial para el proceso de la fotosíntesis. El análisis actual emplea la diferencia relativa en el índice de vegetación de diferencia normalizada para demostrar la correlación entre la ubicación geográfica de los incendios forestales y la alteración del verdor de la vegetación durante los eventos del año 2021 en Nuevo León y sus fronteras con Coahuila. Si bien la magnitud del evento no está cuantificada, esta comparación nos brindó la oportunidad de observar rápidamente las modificaciones en el paisaje provocadas por la quema de la vegetación. Además, se pudieron identificar otras áreas en las que se han producido cambios como resultado de las temporadas de sequía, deforestación o actividades agrícolas.

Palabras clave

rdNDVI, NDVI, incendios, verdor, forestal

Abstract

Forest fires cause the destruction of plant life, leading to a reduction in the amount of chlorophyll present. Chlorophyll, a pigment responsible for the green colour of plants, is crucial to the process of photosynthesis. The current analysis uses the relative difference in the normalised difference vegetation index to demonstrate the correlation between the geographic location of reported forest fires and the alteration of vegetation greenness during the 2021 fires in Nuevo León and its borders with Coahuila. Although the magnitude of the event is not quantified, this comparison gave us the opportunity to quickly observe the changes in the landscape caused by the burning of vegetation. In addition, we were able to identify other areas where changes have occurred because of drought seasons, deforestation, or agricultural activities.

Keywords

rdNDVI, NDVI, fire, greenness, forestry

Ramos-Zuñiga, L.G. (2023): Monitoreo de cambios en la vegetación usando teledetección. Caso aplicado a incendios forestales en Nuevo León. – en: Montalvo Arrieta, J.C., Ramírez Fernández, J.A., Aguilar-Madera, C.G., Jenchen, U., Salinas Jasso, J.A., Velasco-Tapia, F. & Navarro-de León, I. (eds.): Número especial en conmemoración del 90° Aniversario de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del 40° Aniversario de la Facultad de Ciencias de la Tierra. – Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Linares, **9 (2023)**: 151-159.

Introducción

Los desastres naturales, como los deslizamientos de suelo, incendios forestales y las erupciones volcánicas, se han convertido en uno de los principales mecanismos de transformación del paisaje (Korup et al., 2010; Santi et al., 2013). También son responsables de víctimas mortales que han persistido en el siglo XXI (Ashley & Ashley, 2008; Petley, 2012; Auken et al., 2013; Holzer & Savage, 2013; Froude & Petley, 2018). En consecuencia, tanto los geocientíficos como los gestores de emergencias muestran un considerable interés por comprender la incidencia de los desastres naturales y su

magnitud espacial. México posee una gran diversidad biológica y ocupa el cuarto lugar a nivel mundial por el número de especies endémicas. Sin embargo, esta diversidad está amenazada por diversas causas, como la deforestación, los incendios forestales y el aumento de la urbanización. El estado de Nuevo León se ve particularmente afectado por estos peligros. De acuerdo con el CENAPRED (2023), los incendios forestales se definen como la propagación incontrolada del fuego sobre la vegetación en bosques, selvas, así como zonas áridas y semiáridas, cuya magnitud está determinada por el combustible. Los incendios forestales pueden ocurrir en cualquier momento debido a factores climatológicos como temperatura, viento, humedad y actividades humanas que impliquen el uso del fuego.

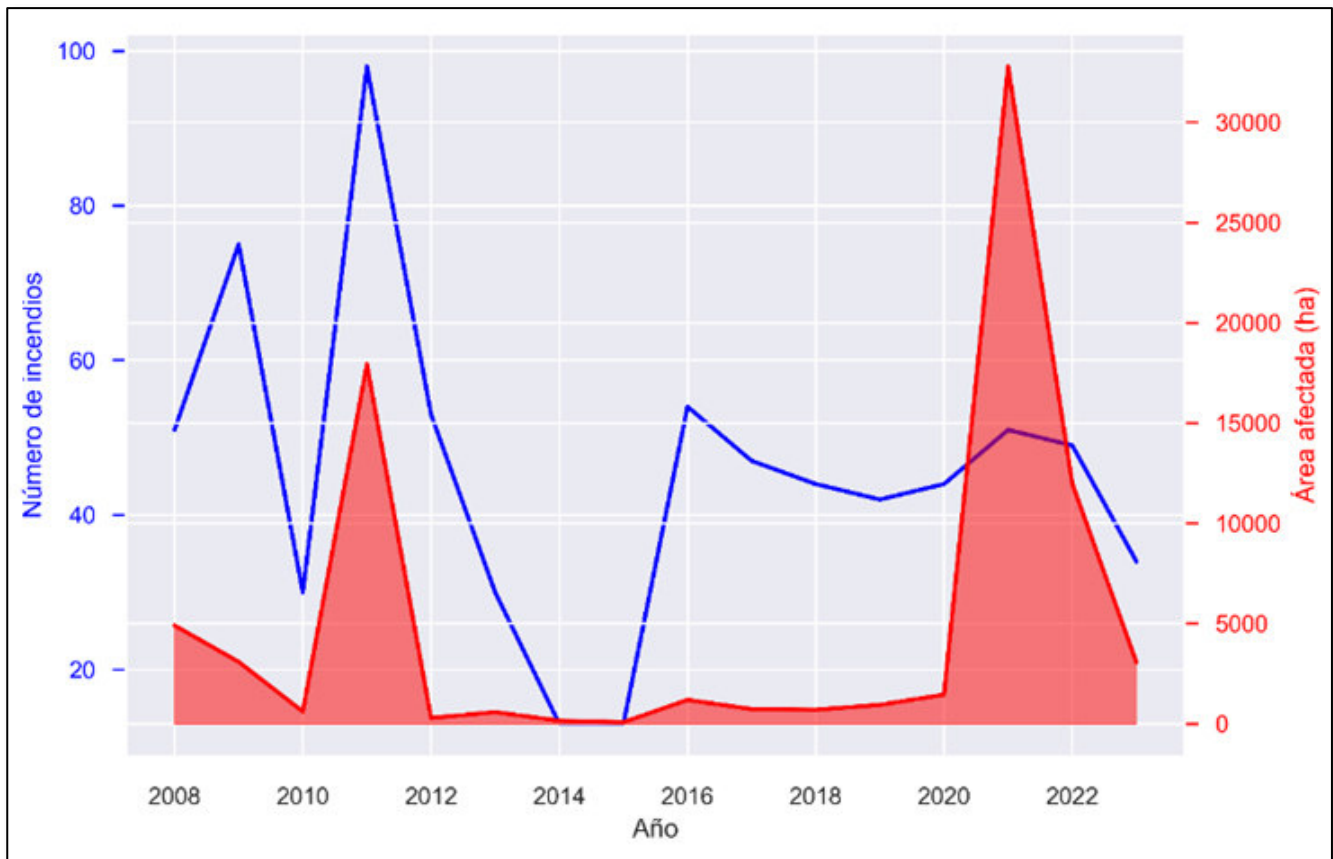


Figura 1: Estadísticas de incendios de 2008 a 2023 (CONAFOR, 2023).

La gran tríada conformada por la topografía, las condiciones climáticas y el combustible es la responsable de determinar el comportamiento de los incendios forestales. En Nuevo León, las causas naturales son el principal factor que contribuye a los incendios forestales, mientras que los accidentes, la negligencia y las acciones intencionales también juegan un papel importante. Es de suma importancia implementar medidas preventivas y de respuesta para enfrentar eficazmente estos eventos. Las consecuencias ecológicas y económicas de los incendios

forestales en México son significativas, provocando alteraciones en el uso del suelo y aumento de la aridez. Las ramificaciones ecológicas derivadas de las quemadas forestales abarcan la reducción de la porosidad del suelo, la disminución de la infiltración de agua, el aumento de la erosión y de la temperatura del suelo y de los cuerpos de agua, la aniquilación de la microfauna, el desplazamiento de la fauna, la extinción de especies y la contaminación del aire. En México, la cobertura forestal es de aproximadamente 56 millones de hectáreas y la

deforestación se está dando a tasas alarmantes, particularmente en zonas con alta densidad poblacional. Los incendios forestales pueden verse influidos por elementos atmosféricos como la temperatura, la humedad, la dirección y velocidad del viento y las precipitaciones (Macias-Delgado, 2004).

Antecedentes

El inicio de la temporada de incendios forestales en el estado de Nuevo León se observa en el mes de enero, mientras que concluye en agosto. Sin embargo, los meses de febrero a mayo se caracterizan por una mayor incidencia de este tipo de eventos. La figura 1 presenta una representación gráfica de la ocurrencia anual de incendios forestales y la correspondiente superficie de afectación.

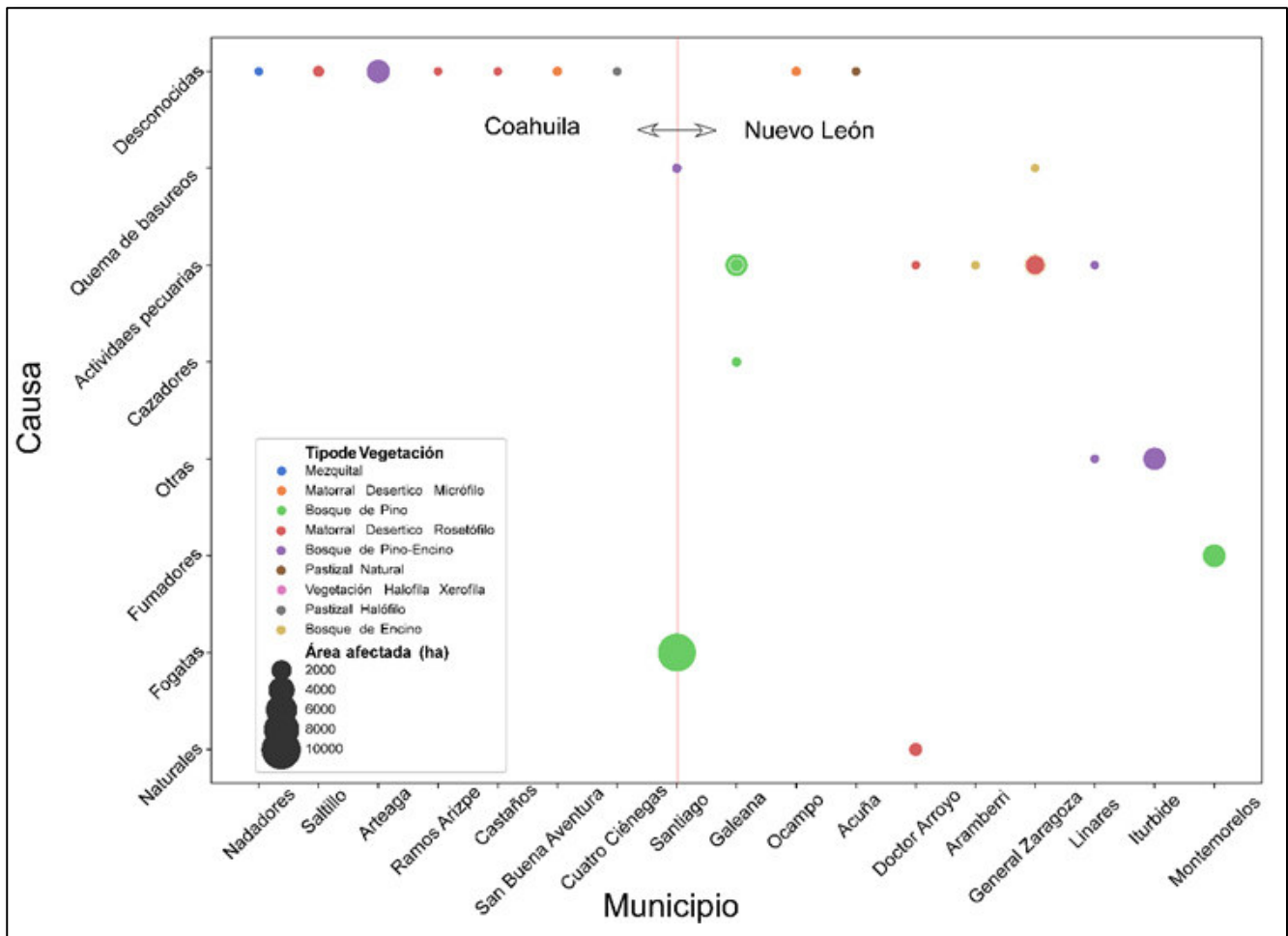


Figura 2: Causas de incendios forestales 2021. Fuente: CONAFOR (2023).

Los datos demuestran que el año 2011 fue testigo de grandes daños por incendios forestales, con una superficie de 17,935.42 hectáreas, seguido de las 4,904.643 hectáreas de 2008. Sin embargo, en el año 2021, el estado registró la mayor superficie afectada, que ascendió a 32,794 hectáreas. El año 2011 también presentó el mayor número de incendios forestales, con un total de 98, seguido de 75 en 2009. En el año 2022, Nuevo León tuvo 49 incendios forestales que devastaron 11,986 hectáreas de vegetación, compuesta por árboles adultos, arbustos, vegetación herbácea y rebrote. Al 3 de agosto de 2023, el estado de Nuevo

León ha registrado 34 incendios forestales, con un total de 3,070.55 hectáreas.

El mapa en la figura 3 muestra la disposición espacial de los eventos ocurridos en el año 2021. Los símbolos proporcionales del mapa son indicativos de la intensidad de los incendios en sus respectivas ubicaciones geográficas. El mapa indica que el incendio que ocurrió en las regiones de las Sierras de Santiago y Arteaga, específicamente en el límite entre Nuevo León y Coahuila, fue el más catastrófico en términos de la devastación causada.

La presente investigación se centra en los incendios ocurridos durante el año 2021 en los estados de Nuevo León y Coahuila, con particular énfasis en aquellos que se suscitaron entre el 16 y el 24 de marzo. En la Figura 2 se muestra el origen de los incendios de acuerdo con el municipio, estado, clasificación de la vegetación y área afectada. La gráfica ilustra que el principal factor causal de los incendios forestales en la zona es la utilización de fogatas en los bosques de pino, lo que repercute posteriormente en el tipo de vegetación afectada.

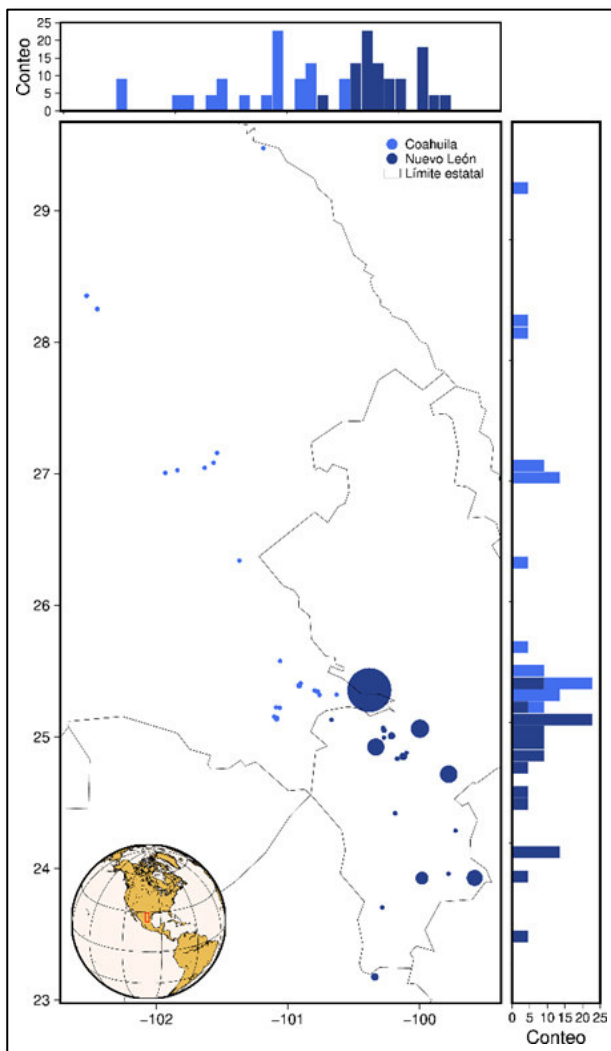


Figura 3: Mapa de la distribución geográfica de los incendios forestales que tuvieron lugar en el año 2021. El tamaño de los círculos está correlacionado con la magnitud del daño provocado por los incidentes, mientras que los histogramas muestran la dispersión numérica, longitudinal y latitudinalmente, de los eventos.

Como se indicó anteriormente, los eventos de interés ocurrieron el 16 de marzo en los límites de las Sierras de Arteaga (Coah.) y Santiago (NL), además del ocurrido en la Sierra de Santa Rosa el 24 de marzo, situada al sur de Linares (NL). Estos incidentes persistieron durante más de 7 días (figura 4) y las

repercusiones y severidad más grandes se observaron en la Sierra de Santiago (NL). Para hacer un análisis rápido de estos eventos se puede implementar el uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) como un indicador, de monitoreo rápido, del cambio en la vegetación provocado por este tipo de incidentes.

Como se indicó anteriormente, los eventos de interés ocurrieron el 16 de marzo en los límites de las Sierras de Arteaga (Coah.) y Santiago (NL), además del ocurrido en la Sierra de Santa Rosa el 24 de marzo, situada al sur de Linares (NL). Estos incidentes persistieron durante más de 7 días (figura 4) y las repercusiones y severidad más grandes se observaron en la Sierra de Santiago (NL). Para hacer un análisis rápido de estos eventos se puede implementar el uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) como un indicador, de monitoreo rápido, del cambio en la vegetación provocado por este tipo de incidentes.

Metodología

La evaluación de la extensión de las quemaduras tras los incendios forestales ha sido un tema de interés para los expertos en incendios forestales durante varias décadas. Desde la creación del programa de mapeo temático Landsat en 1984, se han utilizado imágenes multitemporales y multispectrales para este fin (Cocke et al., 2005; Keeley, 2009). El empleo de índices multispectrales, incluido el índice de quemado normalizado (NBR) y sus derivados (por ejemplo, diferencia, diferencia relativa), está muy extendido para evaluar los impactos en los ecosistemas como consecuencia de los incendios forestales (Cocke et al., 2005; Miller & Thode, 2007). Las discusiones y debates en curso dentro de la comunidad científica relacionada a incendios forestales se han centrado en la identificación del índice multispectral más apropiado para comprender los impactos de los incendios (Miller & Thode, 2007; Escuin et al., 2008; Keeley, 2009; Amos et al., 2019).

Se ha desarrollado una aplicación web de libre acceso en Google Earth Engine que permite a los usuarios obtener productos cartográficos, basados en SIG a partir de conjuntos de datos Sentinel o Landsat, sin necesidad de invertir recursos intensivos en tiempo y costos como los requeridos para el análisis tradicional. Para el desarrollo de la aplicación, utilizamos parte del procedimiento aplicado en el estudio de Scheip & Wegmann (2021). Para identificar las zonas del paisaje en las que se ha eliminado la vegetación tras un desastre natural, hemos utilizado una métrica basada en la vegetación, la diferencia relativa en el índice de vegetación de diferencia normalizada (rdNDVI, por sus siglas en inglés), esta técnica ha sido desarrollada por Norman & Christie (2020). Durante el proceso de visualización, se puede establecer un umbral de pendiente, que es un valor mínimo de pendiente para el análisis

utilizado para enmascarar las zonas de baja pendiente. Esto es útil para eliminar cuerpos de agua (por ejemplo, lagos, océanos) que a menudo son ruidosos y pueden disfrazar los objetivos

rdNDVI. También se puede utilizar para enmascarar zonas de baja pendiente, como fondos de valles amplios, mientras se procesa una zona en busca de eventos de pérdida de masa.

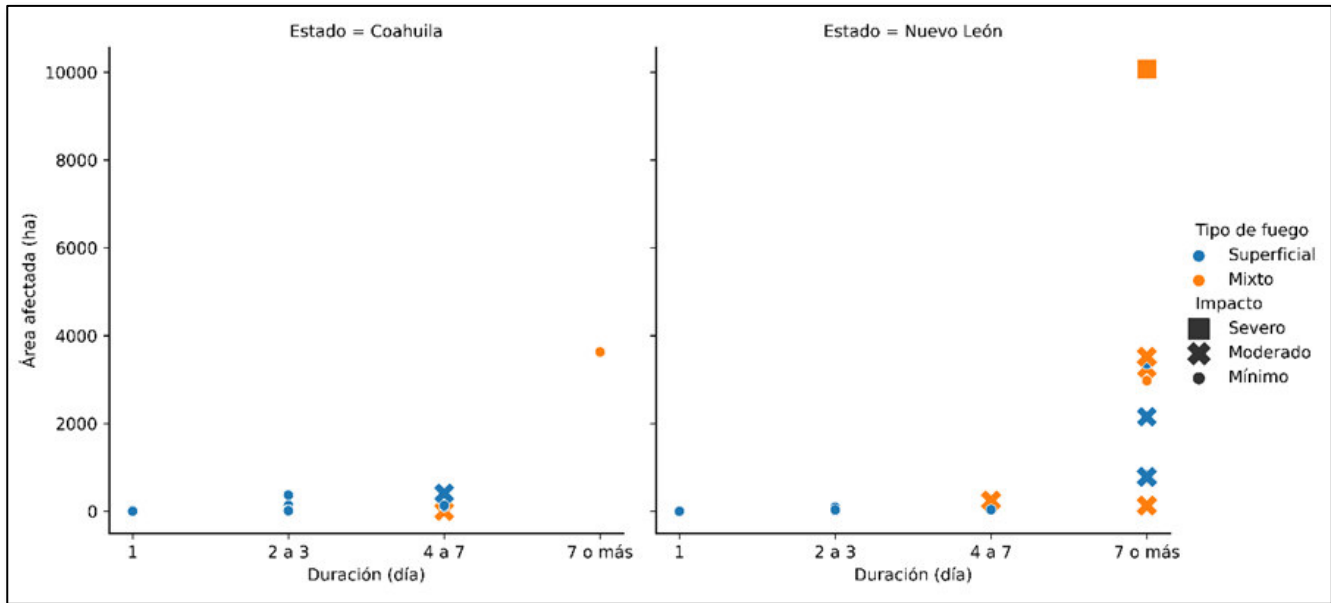


Figura 4: Duración y área afectada para los incendios ocurridos en el área de estudio en el año 2021. También se muestra el tipo de fuego según SNIF (2023), y el impacto provocado en el territorio.

La modificación de los parámetros en la aplicación permite buscar y cuantificar el rebrote después de grandes eventos de pérdida masiva o para otras aplicaciones, como la caracterización de operaciones agrícolas o madereras, el seguimiento de quemadas controladas y el crecimiento de especies de sucesión temprana, o el seguimiento de plagas biológicas. Comenzamos calculando el NDVI, un índice de vegetación de uso común que mide la diferencia entre la reflectancia de la luz infrarroja cercana y la luz roja (ec. 1) para estimar la densidad y la salud de la vegetación. Las técnicas de teledetección, como el NDVI, se utilizan para la vigilancia y la detección temprana de incendios forestales (Giuseppi et al., 2021; Ding et al., 2023).

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (1)$$

En un análisis de datos de series temporales tras un incendio, se observó un marcado descenso de los valores de NDVI de 0.8 a 0.1 en todas las regiones quemadas (Yilmaz et al., 2023). Las zonas quemadas suelen delimitarse utilizando imágenes de satélite multispectrales de resolución media, y el NDVI sirve como índice fundamental para demostrar la presencia y la salud de la vegetación (Escuin et al., 2008); sin embargo, debe tenerse en cuenta que el NDVI por sí solo puede no ser suficiente para un seguimiento y predicción precisos de los incendios forestales, dada la necesidad de considerar factores adicionales como las condiciones meteorológicas, la humedad del combustible y la topografía (Ding et al., 2023). Nuestro enfoque consiste en

examinar los cambios temporales para comparar los valores de NDVI antes y después del incendio forestal, con el fin de identificar los cambios ocurridos en la densidad y la salud de la vegetación. Este método implica el cálculo del índice rdNDVI (ec. 2) que mide el cambio relativo en los valores NDVI a lo largo del tiempo y resulta útil para detectar los cambios mencionados, incluidos los causados por incendios forestales.

$$rdNDVI = \left(\frac{NDVI_{post} - NDVI_{pre}}{\sqrt{NDVI_{pre} + NDVI_{post}}} \right) * 100 \quad (2)$$

Resultados y conclusiones

Las imágenes siguientes muestran el resultado del procesamiento de imágenes satelitales realizado en el área de estudio, junto con los mapas rdNDVI que muestran una correlación con los incendios forestales que han sido documentados por varias instituciones (CONAFOR, 2023; CENAPRED, 2023; PCNL, 2023).

La fecha de referencia elegida corresponde con el inicio del incendio en la Sierra de Arteaga-Santiago que fue el 16 de marzo de 2021. Para procesar las imágenes de satélite, se eligió un período previo al evento de 6 meses, lo que también facilitó la creación de una máscara de nubosidad (con un umbral máximo del 30%) necesaria para el análisis. Para evitar cualquier cambio relacionado con la recuperación de la vegetación una vez cesado el incendio, se seleccionó un período de 3 meses después del

evento. La figura 5 ilustra la ventana principal de la aplicación junto con los parámetros designados y el área de interés. Se

utilizaron imágenes satelitales Sentinel 2 con resolución espacial de 10 m.

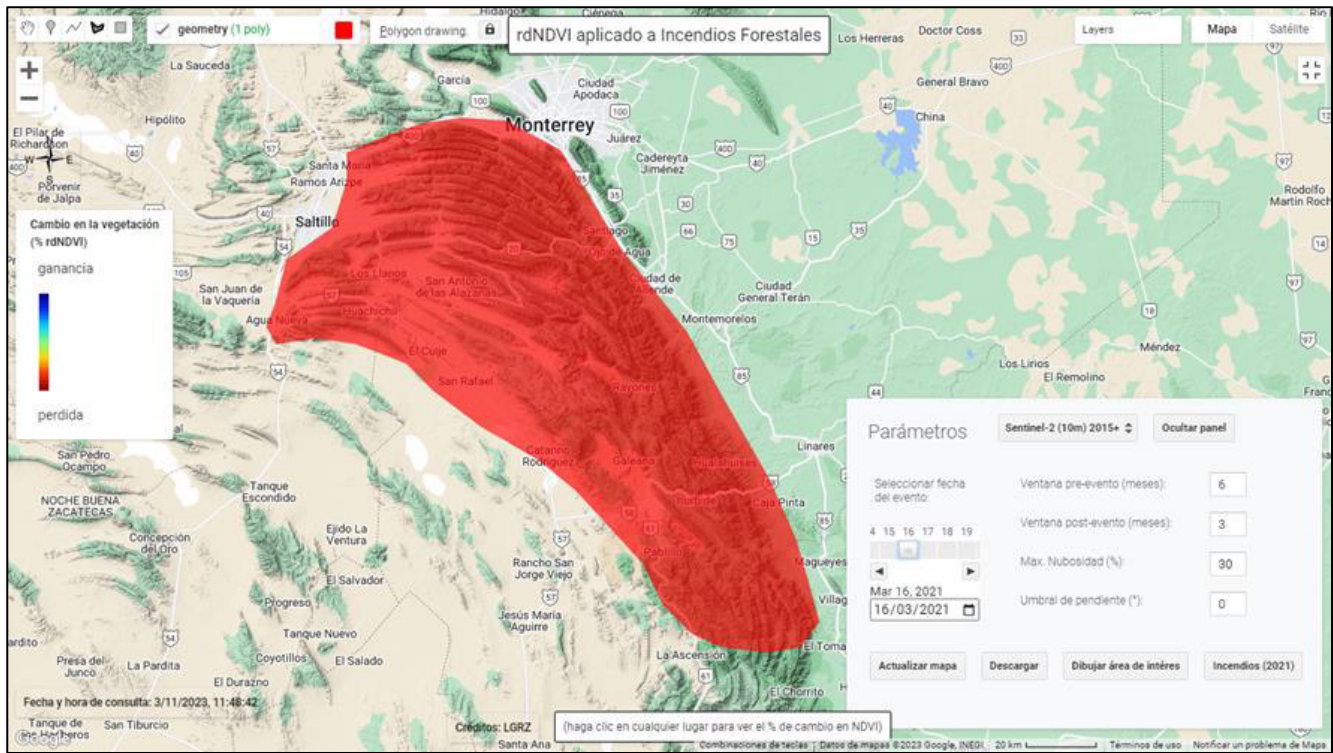


Figura 5: Ventana principal de la app web que muestra la selección de parámetros de búsqueda incluida la colección de imágenes satelitales a utilizar. El área de interés (polígono rojo) es trazada por el usuario activando el botón correspondiente después de escoger los parámetros.

La figura 6 muestra imágenes pre-evento (a), post-evento (b) y la variación del rdNDVI (c) para un área dentro de la zona de interés. La imagen (c) muestra falsos positivos que están relacionados a los cambios en la vegetación provocados por las sequías en esta región (líneas azules) y en otras áreas debido a actividades agrícolas (líneas rojas) para la zona de Galeana, NL y no se atribuyen a los incendios forestales.

En la Figura (7) se muestran los incendios (puntos morados) reportados en el año 2021 sobre el mapa de cambio en la vegetación (% rdNDVI). Se observa una correlación entre el incendio del 16 de marzo reportado (1) para La Pinalosa en Arteaga, Coahuila y el del ejido (2) San José de Boquillas en Santiago, NL, con el cambio en la vegetación en la región a); las pérdidas en el verdor alcanzan el -64% en algunas regiones de esta zona. El área b) corresponde al incendio en el Cañón de Santa Rosa que dio inicio el 24 de marzo (3) donde las pérdidas del verdor alcanzan hasta el -60%.

Una comparación entre los casos de incendios documentados y las alteraciones en el verdor de la vegetación demuestra que existe una relación inversa entre el sitio preciso

de un incendio y la extensión del cambio de la vegetación en ese mismo lugar. Esto implica que, en general, cuanto más cerca esté un incendio de una zona con vegetación, menor será el verdor de la vegetación en el futuro. Esta correlación se debe al hecho de que los incendios forestales dañan la vegetación, disminuyendo su capacidad de absorber la luz solar y realizar la fotosíntesis. En consecuencia, esto puede provocar una modificación en la tonalidad de la vegetación, volviéndola de un tono más marrón o gris. La asociación entre el lugar de un incendio y la alteración de la vegetación tiene importantes consecuencias para la gestión de los incendios forestales. Los esfuerzos para reducir la frecuencia y la gravedad de los incendios forestales pueden ayudar a preservar la vegetación y mantener la salud de los ecosistemas forestales.

La utilización de indicadores como el índice de vegetación de diferencia normalizada de diferencia relativa se puede emplear para realizar un análisis más completo de la región designada, lo que nos permite calcular la magnitud y extensión de los incendios. Sin embargo, es de suma importancia eliminar los posibles falsos positivos para lograr los resultados óptimos.

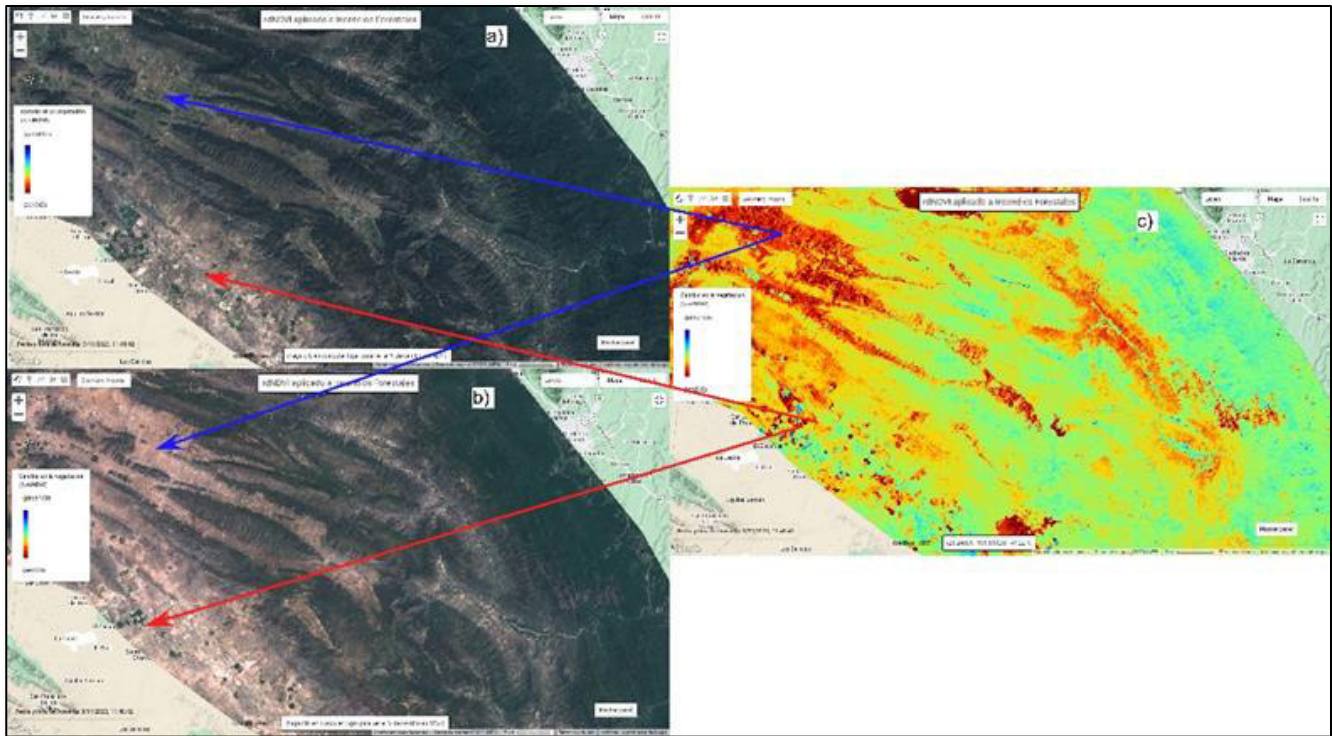


Figura 6: Cambios en el verdor de la vegetación atribuidos a actividades agrícolas o sequías. a) imagen satelital pre-evento, b) imagen post-evento y c) cambio rdNDVI.

Material complementario

Para una visualización a detalle de la zona de interés o de cualquier otra ingresada por el usuario referirse al siguiente enlace: [cambios rdNDVI](#).

Trabajos futuros

Para complementar el presente análisis, se evaluará la región afectada mediante la utilización del Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) para estimar la extensión del incendio forestal. Además, se calcularán los valores del Índice de Esfuerzo Hídrico de la Hoja (LSWI), que pueden utilizarse para evaluar el nivel de hidratación de las plantas. Por último, se empleará el índice de Productividad Primaria Bruta (GPP) para determinar la productividad de biomasa de la vegetación y cuyos valores pueden resultar valiosos para la gestión y recuperación de los pastizales tras un incendio.

Referencias

- Amos, C., Petropoulos, G.P. & Ferentinos, K.P. (2019): Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. – *International Journal of Remote Sensing*, **40**: 905-930.
- Ashley, S.T. & Ashley, W.S. (2008): Flood fatalities in the United States. – *Journal of Applied Meteorology Climatology*, **47**: 805-818.
- Auker, M.R., Sparks, R.S.J., Siebert, L., Crossweller, H.S. & Ewert, J. (2013): A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record. – *Journal of Applied Volcanology*, **2**: 1-24.
- CENAPRED (2023). Centro Nacional de Prevención de Desastres [Online], [Accessed 09/10/2023]. – Available: <https://www.gob.mx/cenapred>
- Cocke, A.E., Fulé, P.Z. & Crouse, J.E. (2005): Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. – *International Journal of Wildland Fire*, **14**: 189-198.
- CONAFOR (2023): Comisión Nacional Forestal [Online], [Accessed 08/10/2023]. – Available: <https://www.cnf.gob.mx>
- Ding, Y., Wang, M., Fu, Y., Zhang, L. & Wang, X. (2023): A Wildfire Detection Algorithm Based on the Dynamic Brightness Temperature Threshold. – *Forests*, **14**: 477.
- Escuin, S., Navarro, R.M. & Fernández, P. (2008): Evaluación de la severidad del fuego mediante el uso de NBR (Normalized Burn Ratio) y NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derivados de imágenes LANDSAT

TM/ETM. – *International Journal of Remote Sensing*, **29**: 1053-1073.

Froude, M.J. & Petley, D.N. (2018): Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. – *Natural Hazards Earth System Sciences*, **18**: 2161-2181.

Giuseppi, A., Germana, R., Fiorini, F., Delli-Priscoli, F. & Pietrabissa, A. (2021): UAV patrolling for wildfire monitoring by a dynamic voronoi tessellation on satellite data. – *Drones*, **5**: 130.

Holzer, T.L. & Savage, J. C. (2013): Global earthquake fatalities and population. – *Earthquake Spectra*, **29**: 155-175.

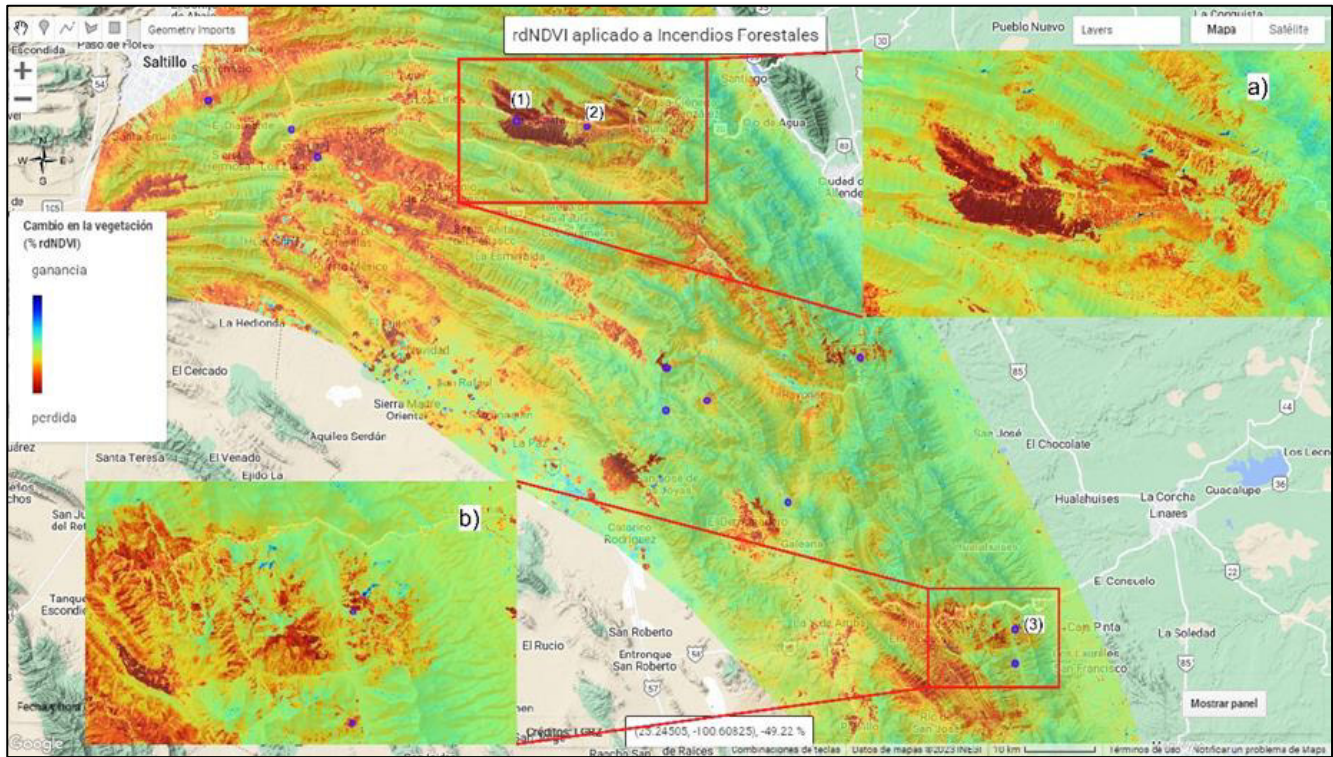


Figura 7: Comparación de incendios reportados en el 2021 con el cambio en el verdor de la vegetación para las áreas de a) Arteaga/Santiago y b) Caño de Santa Rosa.

Keeley, J.E. (2009): Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. – *International Journal of Wildland Fire*, **18**: 116-126.

Korup, O., Densmore, A.L. & Schlunegger, F. (2010): The role of landslides in mountain range evolution. – *Geomorphology*, **120**: 77-90.

Macias-Delgadillo, J. (2004): Los aspectos Económicos y sociales del Niño en México. – en: Macias-Delgadillo, J. (Ed.): *Impactos Económicos del Niño en México* Ciudad de México. – Secretaría de Gobernación.

Miller, J.D. & Thode, A.E. (2007): Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). – *Remote sensing of Environment*, **109**: 66-80.

Norman, S. & Christie, W. (2020): Satellite-based evidence of forest stress and decline across the conterminous United States for 2016, 2017, and 2018. – Gen. Tech. Rep. SRS-

250. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station: 151-166.

PCNL. (2023). Protección Civil del estado de Nuevo León; Programa especial incendios forestales 2023 [Online], [Accessed 08/10/2023]. – Available: <https://www.nl.gob.mx/proteccioncivil>

Petley, D. (2012): Global patterns of loss of life from landslides. – *Geology*, **40**: 927-930.

Santi, P. M., Cannon, S., Degraff, J. & Shroder, J. (2013): Wildfire and landscape change. – *Treatise on Geomorphology*, **13**: 262-287.

Scheip, C.M. & Wegmann, K.W. (2021): HazMapper: a global open-source natural hazard mapping application in Google Earth Engine. – *Natural Hazards Earth System Sciences*, **21**: 1495-1511.

SNIF (2023): Sistema Nacional de Información Forestal [Online]. – Comisión Nacional Forestal, [Accessed 10/10/2023]. <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/>

Yilmaz, O.S., Acar, U., Sanli, F.B., Gulgen, F. & Ates, A.M. (2023): Mapping burn severity and monitoring CO content in Türkiye's 2021 wildfires, using Sentinel-2 and Sentinel-5P satellite data on the GEE platform. – Earth Science Informatics, **16**: 221-240.