

## Caracterización de zonas incendiadas del departamento de San Vicente mediante la aplicación del índice espectral NBR como estrategia para el fortalecimiento de la resiliencia

*Characterization of burned areas in the department of San Vicente through the application of the NBR spectral index as a strategy to strengthen resilience.*

Marinero-Orantes E. A.<sup>1\*</sup>, Cornejo-Reyes V. C.<sup>1</sup>, Funes-Guadrón C. R.<sup>1</sup>

 Marinero-Orantes E. A.  
[edgar.marinero@ues.edu.sv](mailto:edgar.marinero@ues.edu.sv)

 Cornejo-Reyes V. C.  
[geron.cornejo@ues.edu.sv](mailto:geron.cornejo@ues.edu.sv)

 Funes-Guadrón, C. R.  
[carlos.funes@ues.edu.sv](mailto:carlos.funes@ues.edu.sv)

Autor de correspondencia: [edgar.marinero@ues.edu.sv](mailto:edgar.marinero@ues.edu.sv)

<sup>1</sup> Facultad Multidisciplinaria Paracentral, Universidad de El Salvador, El Salvador

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático  
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua  
ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol.10, núm. 20, 2024

[ribcc@ev.unanleon.edu.ni](mailto:ribcc@ev.unanleon.edu.ni)

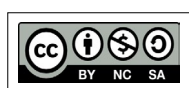
Recepción: 07 Septiembre, 2024

Aprobación: 26 Diciembre, 2024

URL: <https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/1087>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v10i20.20990>

Copyright © 2024 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua León (UNAN-León), Área de Conocimiento de ciencias agrarias y veterinarias/ Área Especifica de Agroecología y agronegocios /Centro de Investigación Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional  
[Creative Commons Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

### Resumen

**Antecedentes:** Existe un creciente interés en identificar, monitorear y evaluar el impacto de los incendios agrícolas y forestales por las afectaciones sociales, ambientales y económicas. **Metodología:** Se aborda la caracterización de las zonas incendiadas en los distritos del departamento de San Vicente, El Salvador Centroamérica, utilizando imágenes multiespectrales para penetración atmosférica y geocolor con Sentinel 2, así como la aplicación del índice NBR para la identificación y validación de las zonas incendiadas durante el período del 1 de enero al 15 de abril de 2024. **Resultados:** Se logró determinar que los valores de NBR cercanos a 0 muestran zonas sin vegetación, principalmente parcelas en preparación previa a la siembra, los valores de -0.27 muestran las zonas recientemente incendiadas y los valores de NBR de -0.75 a -0.80 indican puntos de calor o incendios que fueron registrados en el momento. **Conclusión:** Se logró determinar los incendios atendidos en el distrito de San Esteban Catarina con un área de 2.56 km<sup>2</sup> y en el distrito de Apastepeque, con un área de 3.7 km<sup>2</sup> y puntos de calor de 0.07 km<sup>2</sup> entre otras zonas, principalmente en áreas naturales protegidas. De este modo, se genera una línea de base como herramienta para la resiliencia comunitaria y la toma de decisiones por los actores clave institucionales, permitiendo trabajar en fortalecer la gobernanza, la reducción de riesgos, la adaptabilidad, la participación comunitaria y la preparación y respuesta a emergencias como ejes clave de la resiliencia.

**Palabras claves:** NBR, San Vicente, Incendio, gestión de riesgo, índice espectral

### Abstract

**Background:** There is a growing interest in identifying, monitoring and evaluating the impact of agricultural and forest fires due to social, environmental and economic impacts. **Methodology:** This article addresses the characterization of the burned areas in the districts of the department of San Vicente, El Salvador Central America, using multispectral images for atmospheric and geocolor penetration with Sentinel 2, as well as the application of the NBR index for the identification and validation of the burned areas during the period from January 1 to April 15, 2024. **Results:** it was possible to determine that NBR values close to 0 show areas without vegetation, mainly plots in preparation prior to planting, values of -0.27 show recently burned areas and NBR values of -0.75 to -0.80 indicate hot spots or fires that were registered at the time. **Conclusion:** it was possible to determine the fires attended in the district of San Esteban Catarina with an area of 2.56 km<sup>2</sup> and in the district of Apastepeque, with an area of 3.7 km<sup>2</sup> and heat points of 0.07 km<sup>2</sup> among other areas, mainly in protected natural areas. In this way, a baseline is generated as a tool for community resilience and decision-making by key institutional actors, allowing work to strengthen governance, risk reduction, adaptability, community participation and emergency preparedness and response as key axes of resilience.

**Keywords:** NBR, San Vicente, Fire, risk management, spectral index

## Introducción

Los incendios forestales son una de las principales amenazas para los ecosistemas y las comunidades, especialmente en contextos donde predominan factores como el cambio climático y el crecimiento poblacional. Se estima que el 98.8% de estos eventos son causados por actividades humanas ([Sandal-Erzurumlu y Ebru-Yildiz, 2024](#)), afectando tanto la biodiversidad como los medios de vida locales.

Resultado de ello es la destrucción de los hábitats de especies locales y migratorias, el incremento en la vulnerabilidad de las especies, la disminución de la fotosíntesis, lo que genera una disminución en la tasa de generación de oxígeno, la producción de la muerte directa de las especies, así como la alteración de las cadenas alimenticias, entre otros factores ([Gil-Mora, 2022](#)).

Este estudio se centra en la caracterización espectral de los incendios forestales ocurridos en el Departamento de San Vicente, El Salvador, durante 2024, mediante el uso de imágenes satelitales multispectrales y herramientas de teledetección. Su objetivo es generar información precisa que permita mejorar la detección, el análisis y la respuesta ante estos eventos ([Cisneros et al., 2024](#)).

Asimismo, se analiza el papel de la resiliencia comunitaria y la gobernanza local en la gestión del riesgo, destacando la necesidad de sistemas de alerta temprana, planificación territorial y coordinación interinstitucional. Se propone, además, una herramienta de zonificación que contribuya al fortalecimiento de capacidades locales para la prevención y mitigación de incendios.

Considerando que muchas quemas se relacionan con prácticas agrícolas tradicionales ([Ramos-Rodríguez et al., 2022](#)), se hace énfasis en la educación, la gestión sostenible del territorio y la implementación de tecnologías para la vigilancia remota. Estos elementos son clave para reducir los impactos ecológicos y sociales, y avanzar hacia una gestión más eficiente y sostenible del fuego.

En resumen, el monitoreo de incendios es esencial para la detección, la concienciación y la recuperación de áreas, ya que ayudan a mitigar los impactos y desarrollar la resiliencia de las comunidades. Su inclusión en las estrategias de gestión de desastres no solo protege vidas y bienes, sino que también promueve un desarrollo territorial más seguro y sostenible. La caracterización de las zonas incendiadas puede servir para el diseño de políticas y regulaciones relacionadas con el manejo del fuego a nivel nacional y local, y pueden aportar a una estrategia nacional para el manejo integrado del fuego ([Cisneros et al., 2024](#)).

## Revisión de literatura

La teledetección se ha consolidado como una herramienta clave para el monitoreo y análisis de incendios forestales, al permitir la evaluación de la firma espectral de la vegetación y del estado del suelo mediante sensores remotos. Esta tecnología facilita la identificación de áreas afectadas, la estimación de la magnitud del daño y el seguimiento continuo de los cambios en la cobertura del suelo, contribuyendo a la gestión del riesgo y la toma de decisiones ([NASA, 2023](#)).

Diversos satélites y sensores, como Landsat 7, 8 y 9, Sentinel-1 y 2, MODIS, VIIRS, SMAP, ECOSTRESS, GEDI y plataformas como FIRMS, han sido ampliamente utilizados para el análisis multispectral de incendios, permitiendo detectar focos activos y evaluar impactos sobre la vegetación y el uso del suelo ([Follette-Cook et al., 2021](#)).

Los incendios no solo causan pérdidas ecológicas, sino también importantes impactos socioeconómicos, sobre todo cuando se relacionan con prácticas culturales como la quema para el manejo agrícola ([Rosero-Cuesta y Osorio-Giraldo, 2013](#); [Ana-Novo et al., 2024](#)). Estas prácticas, combinadas con los cambios en el uso del suelo, agravan la vulnerabilidad de los ecosistemas y requieren enfoques integrales de manejo territorial.

En este sentido, se ha propuesto un enfoque de manejo integrado de cuencas hidrográficas y gestión forestal sostenible, que considera la protección de la biodiversidad, la mejora de servicios ecosistémicos y la incorporación de prácticas de agricultura climáticamente inteligente ([Kassaye et al., 2025](#); [Adamopoulos et al., 2025](#)).

Estudios recientes destacan la necesidad de abordar los efectos de incendios en ecosistemas de baja biomasa, como pastizales, áreas agrícolas o zonas rurales pobladas, los cuales suelen quedar fuera del monitoreo tradicional pese a su relevancia ecológica ([Taylor et al., 2024](#); [Yang et al., 2024](#)). Además, se enfatiza la importancia de investigar los umbrales de recuperación de la vegetación y las alteraciones en las propiedades del suelo y el combustible tras los incendios ([Peña-Molina et al., 2024](#)).

El avance tecnológico ha permitido pasar de métodos tradicionales de observación de campo a sistemas de vigilancia remota mediante drones e imágenes satelitales, con mayor precisión cartográfica y capacidad de respuesta inmediata ([Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010](#)). Esto ha facilitado la elaboración de mapas de zonas quemadas y el monitoreo post-incendio como parte esencial de la planificación y prevención ([Dorrego y Álvarez, 2009](#)).

A pesar de los avances, la información sobre incendios forestales sigue siendo fragmentada en muchas regiones, lo que limita la toma de decisiones basadas en evidencia. En este contexto, la teledetección se presenta como una herramienta valiosa para integrar datos espaciales y temporales que apoyen una gestión más efectiva del riesgo de incendios.

## Metodología

El estudio se desarrolló en zonas rurales del departamento de San Vicente, El Salvador, específicamente en los municipios de San Vicente Norte y Sur (latitud N 13°37'59.99", longitud W 88°48'00"). El área incluye parcelas agrícolas, áreas naturales protegidas y zonas con vegetación arbustiva, caracterizadas por un clima tropical sabana y una altitud media de 425 m s. n. m.

Cabe resaltar que, para lograr caracterizar y delimitar la zona fue necesario procesar una imagen de geocolor, las cuales proporcionan una aproximación lo más cercana posible al color real durante el día y por lo tanto, permiten una interpretación intuitiva de las características de parámetros biogeoquímicos y topográficos de la zona. Este geocolor se elabora mediante el uso de la banda 4 (664 nm) correspondiente al color rojo, banda 3 (559.8 nm) y la banda 2(492.4 nm) (CIRA, 2019).

En cuanto al suelo, son llanos cultivados de forma dispersa con maíz, mijo (sorgo), hortalizas, caña de azúcar, frutales y otros cultivos como medios de vida de subsistencia o de comercio interno principalmente. En algunos terrenos de las Clases VI y VII hay cultivos de café y pastos. En terrenos de fertilidad intermedia hay cultivos de henequén, y en terrenos de fertilidad variada con una vegetación natural y matorrales. La zona de San Vicente se encuentra a mayor altitud que las otras dos zonas (425 metros sobre el nivel del mar), pero las tres tienen el mismo clima, que corresponde a Sabana Tropical Caliente (Consejo Nacional de Planificación y Coordinación Económica, 1974).

En relación con la caracterización espectral de las zonas incendiadas, se utilizó la metodología de Mapeo de áreas incendiadas con el programa Plataforma de Aplicación Sentinel (SNAP) publicada por Sercor Italia SPA (2017). También, se empleó la metodología de mapeo con imágenes Sentinel-2 mediante la plataforma SNAP, utilizando el índice Normalized Burn Ratio (NBR), que permite identificar zonas quemadas a partir de diferencias en reflectancia del infrarrojo cercano (banda 8) e infrarrojo de onda corta (bandas 11 y 12). Los valores del NBR varían entre -1 y 1, donde los valores negativos o cercanos a cero indican áreas quemadas o con suelo desnudo.

Se utilizaron imágenes de Sentinel-2 correspondientes al 1 de enero y 15 de abril de 2024, fechas que coinciden con la época seca y de mayor incidencia de incendios en la región. Estas imágenes fueron procesadas en ArcGIS para delimitar el área de estudio y generar combinaciones espectrales RGB a partir de las bandas 12, 11 y 8A, así como geocolor (bandas 4, 3 y 2), lo que permitió una mejor visualización de las áreas afectadas.

La validación se realizó mediante sondeo de campo en zonas de mayor impacto, apoyado con información de actores locales. Se analizaron gráficos de dispersión para contrastar niveles de reflectancia y verificar las zonas incendiadas. Este proceso se complementó con la generación de composiciones multispectrales que ayudaron a resaltar áreas afectadas por estrés hídrico y degradación de la vegetación (IGN, 2018).

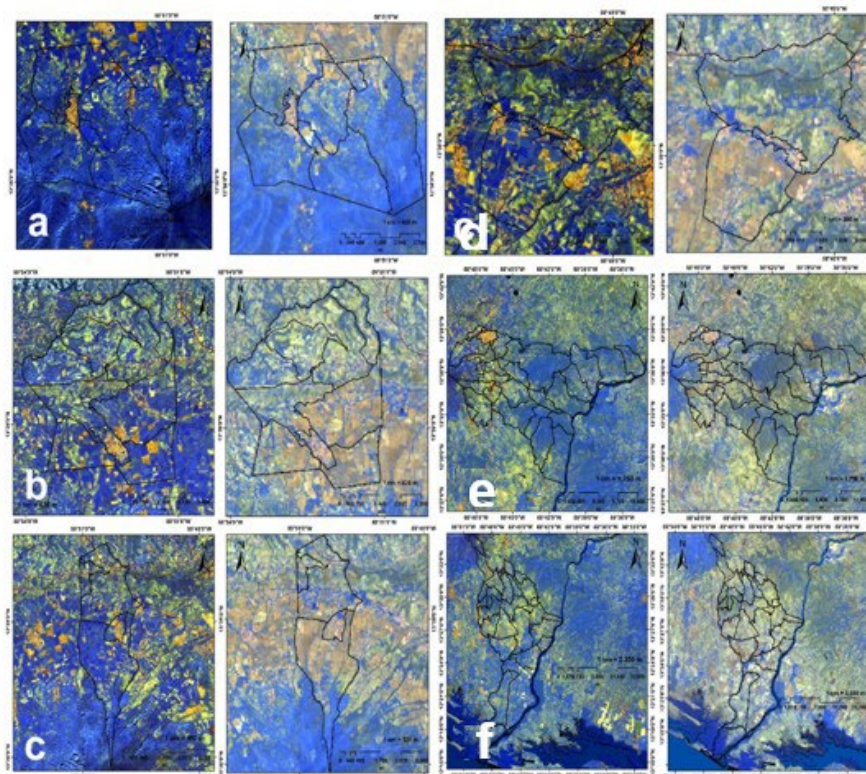
Cabe destacar que el estudio no tuvo como objetivo delimitar el área total afectada, sino validar la aplicabilidad del enfoque metodológico en el contexto local y evaluar su potencial para futuras investigaciones o sistemas de alerta temprana. Finalmente, los resultados se socializaron con actores clave en la gestión del riesgo, incorporando un enfoque participativo orientado a la prevención y el monitoreo comunitario de incendios.

## Resultados y discusión

Al procesar la combinación multispectral de penetración atmosférica, se denota que en la mayor parte del territorio disminuyen los valores de reflectancia en el infrarrojo cercano desde el 1 de enero hasta el 15 de abril, lo que se refleja en el canal azul e interpreta como una disminución en la salud de la vegetación, principalmente en zonas de producción agrícola, cambiando de colores azules a verdes al tratarse de terrenos descubiertos y de color café cuando han sido zonas incendiadas previamente a ser tomada la imagen.

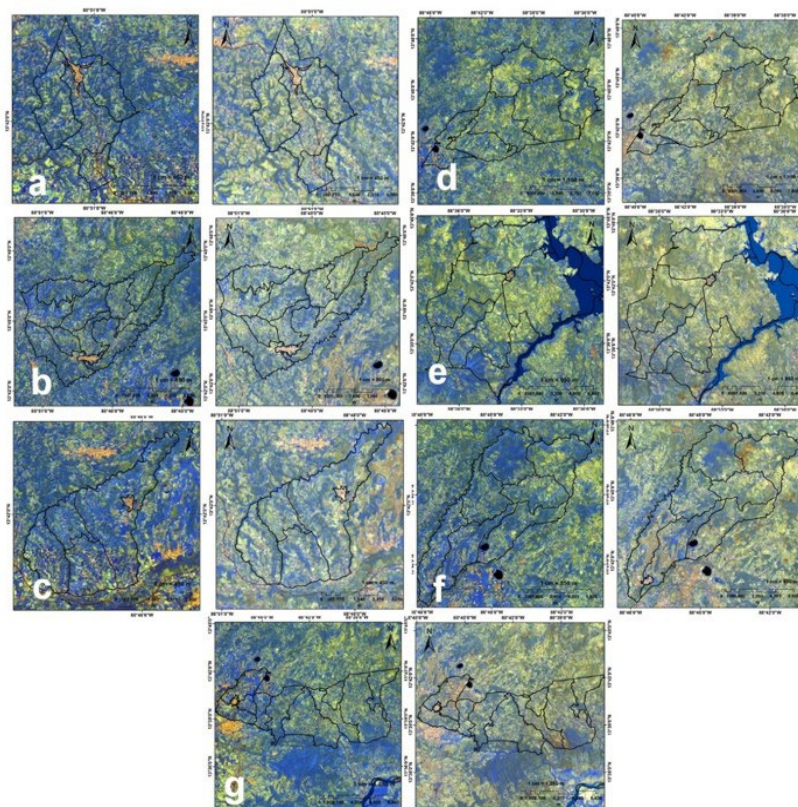
En este sentido, en el departamento de San Vicente ocurrieron incendios que pueden identificarse por áreas café con forma geométrica definida y que corresponden en su mayoría a incendios agrícolas, como medidas de preparación del terreno previo a la época lluviosa. Para el caso del municipio de San Vicente Sur la ubicación de estos incendios son las siguientes: la zona norte del distrito de Guadalupe, al sur en Verapaz, la zona centro de Tepetitán, al sur en San Cayetano Istepeque, al este en San Vicente y al sur en Tecoluca. En su mayoría, son incendios agrícolas en parcelas de producción principalmente de una caña de azúcar, granos básicos y, en menor medida, (Fig.1). Esto se debe a que la economía se basa principalmente en la producción y comercialización de azúcar y derivados obtenidos de esta en ingenios azucareros con modelos de producción convencionales. No obstante, también se pudo identificar afectaciones de bosques perennes en Áreas Naturales Protegidas como La Joya al este en el distrito de San Vicente y el cercano al cerro La Cucaracha. Es necesario tener en cuenta que, al realizar el análisis espectral, se deben filtrar los valores de reflectancia altos correspondientes a las zonas urbanas, al no considerarse estas zonas de interés y debido a que las bandas utilizadas poseen mayor reflectancia en otro tipo de superficies.





**Figura 1:** Zonificación de incendios proyectados con una combinación multispectral de penetración atmosférica de los distritos de San Vicente Sur durante el periodo del 01 de enero al 15 de abril de 2024. La proyección de los distritos muestra una imagen inicial de la zona que fue incendiada a la izquierda y a la derecha una imagen posterior a la ocurrencia del periodo de incendios: a) Guadalupe b) Verapaz c) Tepetitán d) San Cayetano Istepeque e) San Vicente y f) Tecoluca.

En el caso del municipio de San Vicente Norte no se registraron muchas zonas incendiadas, salvo el caso de los distritos de San Esteban Catarina que presentaron un incendio relativamente grande con un perímetro de 12,514.5 m y un área de 2.6 Km<sup>2</sup> y otro en el sureste del distrito de Apastepeque con un perímetro de 12,1717 m y un área de 3.7 Km<sup>2</sup> ubicado en el cerro Sihuatepec, así 52 m de perímetro y 0.76 Km<sup>2</sup> de área visto como un punto de calor ubicado en el Área Natural Protegida La Joya (Fig.2)



**Figura 2 :** Zonificación de incendios proyectados con una combinación multispectral de penetración atmosférica de los distritos de San Vicente Norte correspondiente al período del 01 de enero al 15 de abril de 2024. La proyección de los distritos muestra una imagen inicial de la zona que fue incendiada a la izquierda y a la derecha una imagen posterior a la ocurrencia del periodo de incendios. Los distritos evaluados son: a) Santo Domingo b) San Sebastián c) San Lorenzo d) Santa Clara e) San Ildefonso f) San Esteban Catarina y g) Apastepeque.

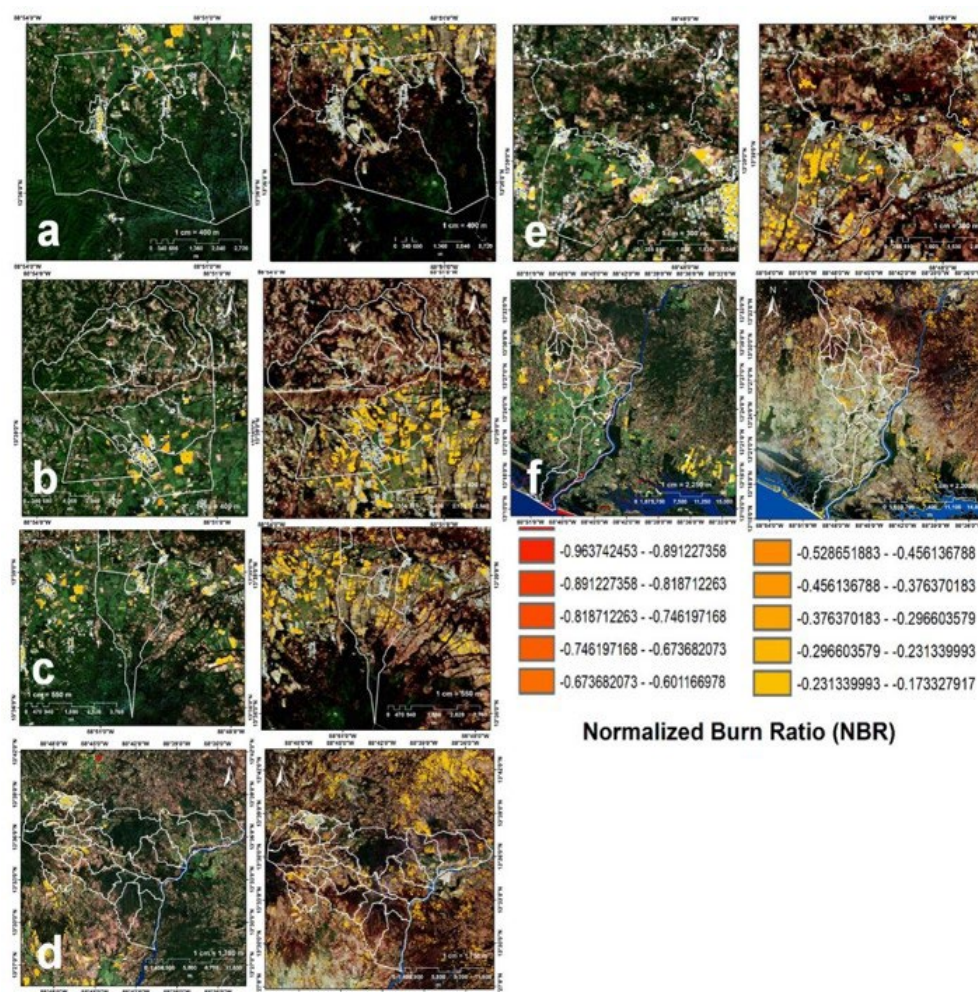


De igual manera, se realizaron las proyecciones de geocolor de los distintos distritos de San Vicente Sur a las que se aplicaron los valores negativos desde -0.27 del índice NBR como filtro para identificar las zonas que fueron incendiadas y descartar las zonas desprovistas de vegetación y las que cuentan con abundante vegetación. Es así, pues, que se consideró que los valores por encima de 0.25 corresponden a zonas con vegetación, valores cercanos a 0 son zonas con bajo crecimiento de vegetación, valores menores a 0 corresponde a zonas estables que han sido quemadas, valores entre -0.27 a -0.44 se consideran como zonas quemadas con gravedad baja a moderada, -0.44 a -0.66 zonas quemadas con gravedad moderada a alta y valores por encima de 0.66 zonas incendiadas con gravedad alta que ocurrieron el día en que se tomó la imagen.

De esta forma, se utilizó una paleta de colores con diferentes rangos de NBR para poder validar las zonas incendiadas con registros previos que poseen los actores locales en la gestión de riesgos de la Comisión Departamental de Protección Civil. Estos registros son proporcionados por los observadores locales al considerar aquellos que pueden representar una amenaza directa a las comunidades, y con lo cual, se atiende el siniestro y se coordinan acciones de prevención, mitigación y concientización tanto en materia de incendios agrícolas como forestales.

Por esta razón, es válido considerar que el NBR es capaz de detectar áreas quemadas con gran precisión. Al comparar imágenes satelitales antes y después del incendio, el índice proporciona una clara delineación de las áreas afectadas, lo cual es esencial para una respuesta rápida y efectiva. Además, el Sentinel 2 L2A posee una recurrencia de toma de imágenes de cinco días de datos a gran escala y con alta frecuencia temporal, por lo que es posible crear una línea base para futuras investigaciones en años posteriores. Esto permite un monitoreo continuo y actualizado de vastas extensiones de terreno, incluyendo áreas remotas y de difícil acceso, donde los métodos tradicionales de monitoreo podrían no ser factibles, así como cuantificar la severidad del daño. Sin embargo, al ser sensores ópticos, existe la posibilidad de obstrucción del ángulo de visión del satélite para realizar las diferentes observaciones de la tierra por la presencia de nubes.

La visualización de los datos obtenidos mediante el NBR puede ser una herramienta poderosa para educar al público y a los responsables de la toma de decisiones sobre la magnitud y el impacto de los incendios forestales. Un público mejor informado es más propenso a apoyar medidas de prevención y a actuar de manera responsable. El uso del NBR como índice espectral para la caracterización de incendios se plantea como una herramienta con la que se pueden validar las zonas incendiadas mediante la reflectancia del infrarrojo cercano y de onda corta del electromagnético que poseen las diferentes superficies y que son propias de su firma espectral, con lo cual se delimitaron las zonas en los distintos distritos (Fig.3).



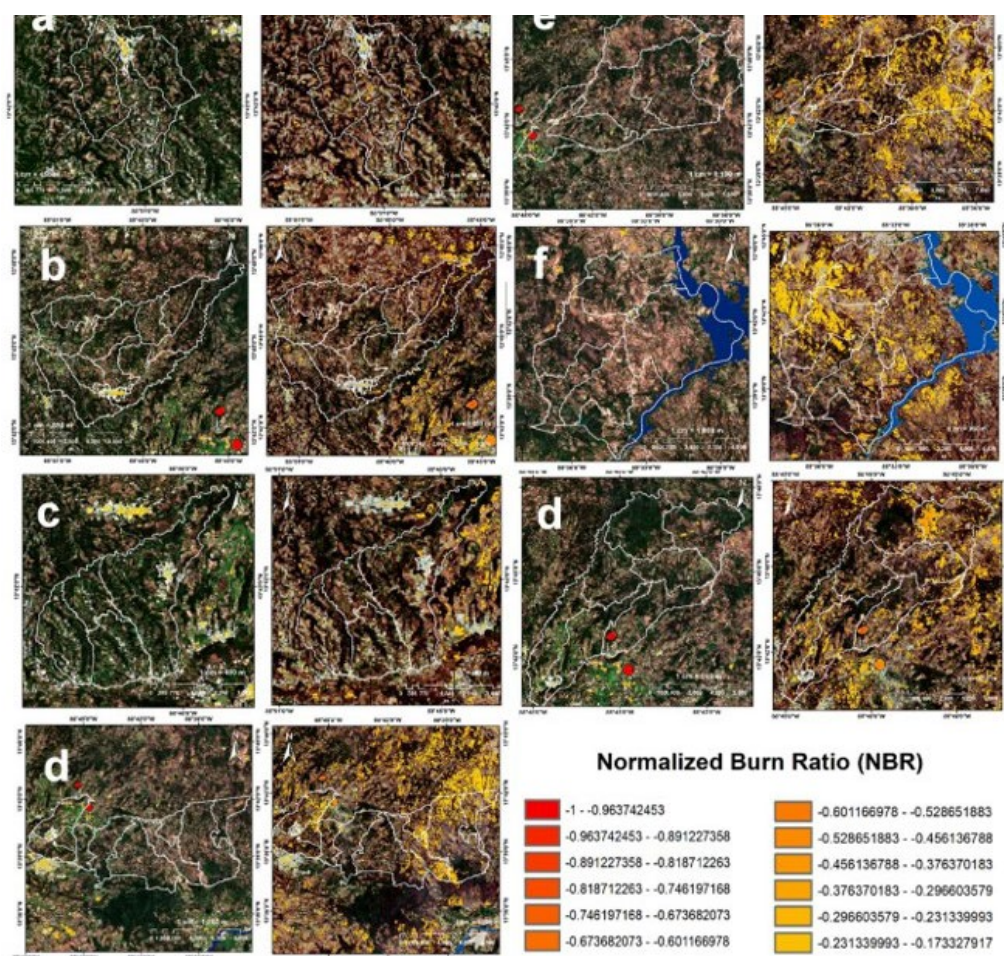
**Figura 3:** Zonificación de incendios de los distritos de San Vicente Sur proyectados con una combinación para geocolor acoplada con el índice Normalized Burn Ratio (NBR) para el periodo del 01 de enero y el 15 de abril de 2024. La proyección de los distritos muestra una imagen inicial de la zona que fue incendiada a la izquierda y a la derecha una imagen posterior a la ocurrencia del periodo de incendios: a) Guadalupe b) Verapaz c) Tepetitán d) San Cayetano Istepeque e) San Vicente y f) Tecoluca.



Es necesario tener en cuenta que el agua presenta una alta reflectancia en el infrarrojo cercano correspondiente a la banda B08 pero esto no denotan incendios y debe considerarse en el análisis. Por lo tanto, los cuerpos de agua, ríos, lagos, lagunas, embalses, entre otros se debe aplicar una máscara, filtro o excluirse del análisis de incendios, ya que mostrarán altos valores negativos de NBR. Con lo cual, se sugiere el aplicar el índice de agua de diferencia normalizada (Normalized Difference Water Index NDWI) o el índice de agua modificado de diferencia normalizada (Modifed Normalized Difference Water Index MNDWI) para ubicar los cuerpos de agua y que de esta forma no influyan en el análisis. Una vez considerado lo anterior, el resultado de este análisis permitió validar la información de las imágenes multispectrales mediante la interpretación del NBR y así corroborar los daños ocurridos en San Esteban y Apastepeque entre los incendios más grandes registrados.

En el caso de Guadalupe los valores de NBR oscilan entre -0.1 y -0.25, Verapaz, alcanzan un máximo de -0.35, la cuenca presenta valores de -0.35 y en San Vicente cuenta con un punto de calor con valores máximos de -0.75 cerca del Área Natural Protegida La Joya. Algunos distritos se caracterizan por presentar un mayor número como es el caso de Apastepeque, San Esteban Catarina, Santa Clara, Tepetitán, San Cayetano, Tecoluca y San Vicente, debido contar con zonas de producción agrícola. Por el contrario, los distritos de Santo Domingo, San Sebastián, San Lorenzo y San Ildefonso presentaron un menor número de incendios, tanto en el área limitada por el índice espectral como en los reportes de las comunidades (Fig.4).

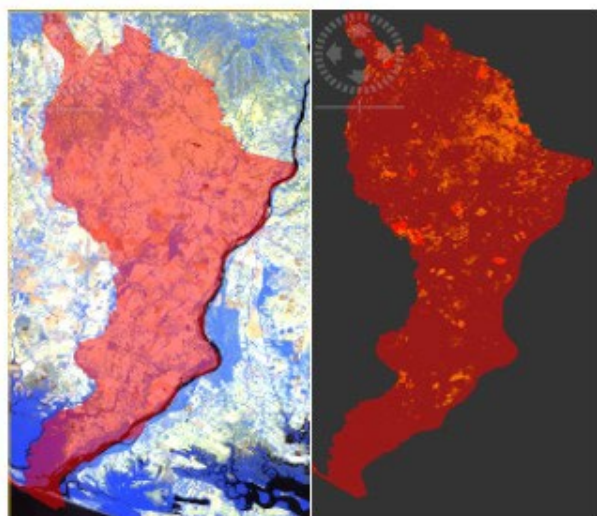
Asimismo, para complementar la caracterización, se utilizó el programa Sentinel Application Platform (SNAP) de la Agencia Espacial Europea, para delimitar los distritos de interés y poder ubicar los puntos de calor, así como procesar un diagrama de dispersión que demuestre las variaciones en la reflectancia del NBR. Para lograr esto, es necesario adaptar las imágenes satelitales puesto que algunas cuentan con diferentes resoluciones espaciales y, por lo tanto, es necesario que cada pixel de cuenten con la misma resolución, es decir, reajustar la resolución de 30 m de la banda del infrarrojo cercano B8A, la banda del infrarrojo de onda corta B12 y B11 a una resolución de 10 m característica de la banda B2.



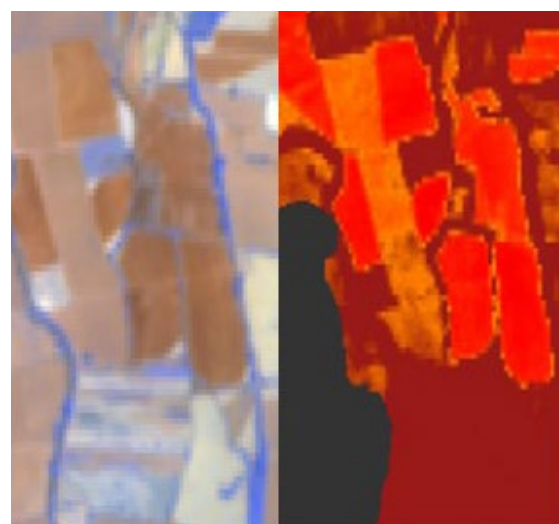
**Figura 4:** Zonificación de incendios de los distritos de San Vicente Norte proyectada con una combinación de geocolor acoplada con el índice Normalized Burned Ratio (NBR) para el periodo del 01 de enero al 15 de abril de 2024. La proyección de los distritos muestra una imagen inicial de la zona que fue incendiada a la izquierda y a la derecha una imagen posterior a la ocurrencia del periodo de incendios: a) Guadalupe b) Verapaz c) Tepetitán d) San Cayetano e) San Vicente y f) Tecoluca.



Posteriormente, se calculó el índice NBR y se realizó un análisis comparativo con la combinación multispectral de penetración atmosférica, para luego importar el archivo shape con la finalidad de delimitar los diferentes distritos de interés (Fig.5). Es así que es posible evidenciar que parcelas agrícolas con colores café probablemente han sufrido de incendios y que el suelo se encuentra en un proceso de restauración de las propiedades biogeofísicas (Fig.6)



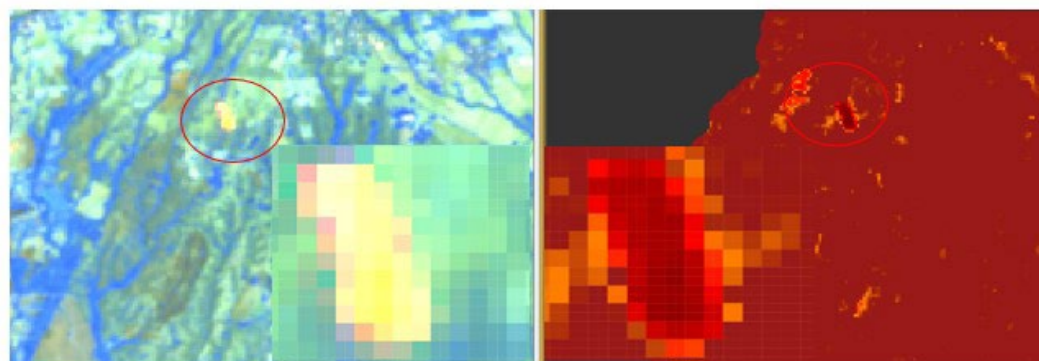
**Figura 5:** Delimitación de la zona de interés del distrito de Tecoluca para la evaluación de zonas incendiadas utilizando NBR mediante el procesamiento con SNAP



**Figura 6:** Comparación de zonas incendiadas mediante imagen multispectral y NBR.

De esta forma, se pueden evaluar los puntos de calor con colores amarillos a naranja intensos en la combinación multispectral y colores rojo a negro intensos en el índice NBR y consultar los valores de reflectancia de cada píxel, que suelen oscilar entre valores de NBR de -0.75 a -0.80 (Fig.7).

Para lo cual, fue necesario recolectar las coordenadas geográficas de latitud y longitud para categorizar puntos de interés en el análisis para cada uno de los incendios mencionados anteriormente. Esto permitirá poder realizar un monitoreo continuo y análisis de series temporales con imágenes ópticas con Sentinel 2 L2A u otros satélites como Landsat, así como imágenes radiométricas (Tabla 1).



**Figura 7:** Puntos de calor identificados y validados para el 15 de abril de 2024 con un acercamiento que denota los datos de los píxeles, con los cuales se realizó un estudio comparativo de los valores de reflectancia al utilizar una combinación multispectral (izquierda) y el índice NBR (derecha)

Para el caso de los incendios de mayor tamaño como el de San Esteban, Apastepeque, y en el Área Natural Protegida La Joya que fueron determinados y atendidos, se ubicaron diferentes puntos geográficos en los que se incluían cubierta de suelo sin vegetación, con vegetación, zonas incendiadas y otras superficies con variaciones en el color evidenciado en las imágenes multispectrales y el índice NBR.

Esto con la finalidad de poder determinar los valores de NBR y su relación con las características que presenta la cubierta de suelo considerando los diferentes cambios que pueden ocurrir. Vale la pena señalar que los sitios de estudio tienen una historia de múltiples incendios, lo que resulta en condiciones ambientales más diversas en comparación con otras áreas potenciales.

Como resultado se obtuvo un diagrama de dispersión, en el que los puntos se categorizan correlativamente de izquierda a derecha según la distancia entre estos y los valores de NBR. Es así que se evidencia que las superficies con valores positivos cuentan con vegetación saludable o con poca densidad, principalmente mayores de 0, y que en la imagen no se muestran debido a que solo se otorgó la paleta de colores desde -0.27 o menor a este; y los valores negativos corresponden a todos los puntos ubicados en las zonas incendiadas y, por ende, cuentan con colores rojos más intensos como los puntos (Fig.8).

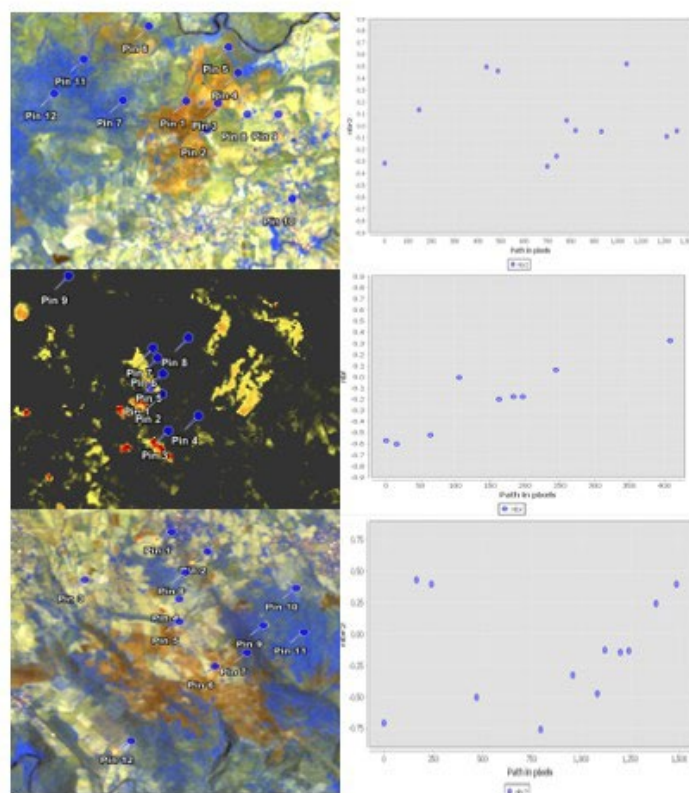
**Tabla 1:** Datos geográficos de los diferentes puntos de interés a evaluar de los incendios más grandes identificados

Punto ubicado	Lat	Long	Distrito
Pin 1	13.65366838	-88.65540286	Apastepeque
Pin 2	13.65062424	-88.6510375	
Pin 3	13.64609536	-88.66597903	
Pin 4	13.64318993	-88.65440554	
Pin 5	13.63966492	-88.65438098	
Pin 6	13.63273418	-88.64998894	
Pin 7	13.63483939	-88.6460294	
Pin 8	13.64735255	-88.65369513	
Pin 1	13.77732476	-88.72054078	San Esteban Catarina
Pin 2	13.7735475	-88.7178314	
Pin 3	13.77708203	-88.71647011	
Pin 4	13.78107684	-88.71390993	
Pin 5	13.78450293	-88.71513714	
Pin 6	13.78714255	-88.72542155	
Pin 7	13.77735811	-88.7286788	
Pin 1	13.57867415	-88.67816596	Área Natural Protegida La Joya
Pin 2	13.57892975	-88.68047773	
Pin 3	13.57318493	-88.67452389	
Pin 4	13.57435186	-88.67573324	
Pin 5	13.58202644	-88.67698833	
Pin 6	13.58669678	-88.66796572	
Pin 7	13.58950179	-88.66752332	
Pin 8	13.58945843	-88.67399127	
Pin 9	13.58969851	-88.67861313	
Pin 10	13.59156353	-88.68352367	
Pin 11	13.59368205	-88.69102339	
Pin 12	13.58866952	-88.69708639	
Pin 13	13.5830865	-88.69399747	

La modificación de los regímenes de fuego y su impacto en la recuperación de la vegetación, las propiedades del suelo y la estructura del combustible son áreas de investigación clave actuales que intentan identificar los umbrales de la vegetación a los incendios forestales (Peña-Molina et al., 2024).

Con esta metodología es posible mejorar la previsibilidad de los acontecimientos posteriores a un incendio, la severidad de las quemaduras utilizando rasgos estructurales y funcionales de la vegetación previos al incendio. Por lo tanto, de manera indirecta, es posible evaluar atributos de la vegetación que surgen como predictores más importantes de la gravedad de las quemaduras (Lee et al., 2024). Asimismo, el uso del índice NBR puede validarse al interpretar los valores de NDVI destinados a analizar la salud de la vegetación, con lo cual se puede evidenciar el daño del tejido forestal sano al alcanzar valores de reflectancia negativos. Esto denota plantas dañadas y áreas sin tejido vegetal después del fuego. Por tanto, se puede afirmar que la cubierta boscosa cubierta por árboles ha disminuido (Sandal-Erzurumlu y Ebru-Yildiz, 2024).





**Figura 8:** Delimitación de puntos geográficos en diferentes condiciones de la cubierta del suelo para analizar las variaciones en los valores de NBR (izquierda) con un diagrama de dispersión (derecha). Valores negativos, propios de las zonas incendiadas, se ubican en píxeles con colores café en la combinación multispectral y naranja a rojo intenso en el NBR que se denotan con valores muy negativos en el diagrama de dispersión.

## Conclusiones

La utilización de imágenes multispectrales de penetración atmosférica y geocolor, así como la aplicación del índice NBR son metodologías factibles para la identificación, caracterización y monitoreo de los incendios ocurridos durante la época seca, con las que se pueden ubicar las zonas incendiadas previamente, los puntos de calor registrados al momento, el área del incendio, la estimación de la intensidad de los incendios, el perímetro, así como las variaciones en la cubierta de la vegetación y el suelo, información útil para la planificación de los programas de conservación y restauración de las cuencas hidrográficas.

La zonificación de los incendios forestales en el departamento de San Vicente y sus diferentes distritos es una herramienta que beneficia la gestión de riesgos al lograr una detección temprana y un monitoreo continuo de las áreas propensas a los incendios forestales, lo que se refleja en la fácil implementación de medidas preventivas y de mitigación antes de que los incendios se descontrolen.

La herramienta, como mapas de gestión de riesgos de incendios, ayuda a las autoridades locales y a los equipos de respuesta a planificar de manera más eficaz los recursos y la logística. Con ello, la disponibilidad de datos precisos y actualizados fomenta una toma de decisiones informada y transparente con la finalidad de que las autoridades locales puedan diseñar políticas y programas de manejo de incendios forestales más eficaces, basados en evidencia científica y datos empíricos.

## Declaraciones

**Fondos:** Este estudio no fue financiado.

**Conflicto de intereses:** Los autores no tienen intereses financieros o no financieros relevantes que revelar. No revelaron conflictos de intereses.

**Cumplimiento de estándares éticos:** No se realizó ningún experimento con animales mayores o personas.

**Contribuciones de autor:** MOFA: Conceptualización, Metodología, Redacción, análisis de datos, Borrador Original, Redacción, Revisión y Edición. CRVC: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original. FGCR: Conceptualización, Metodología, toma de datos y Redacción de Borrador Original.

**Disponibilidad de datos:** Los conjuntos de datos están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

## Referencias bibliográficas

- Ana-Novo, C. F., Clara-Míguez, E., & Suárez-Vidal, (2024). Analysing the capacity of multispectral indices to map the spatial distribution of potential post-fire soil losses based on soil burn severity. *Ecological Informatics*, 83, article102793, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102793>.
- Adamopoulos, I., Syrou, N., Valamontes, A., Khan, A. J., & David, D. (2025). Global perspectives on forest fire protection and biodiversity conservation strategies in the agricultural circular economy. *Journal of Forests*, 12(1), 35–52. <https://doi.org/10.18488/jof.v12i1.4142>.
- CIRA Connecting Models and Observations. (2019). Producto Geocolor. Guía rápida. [https://rammb.cira.colostate.edu/visitview/custom/AmeriGEOweek\\_Aug2019/QuickGuides/QuickGuide\\_CIRA\\_Geocolor\\_es.pdf](https://rammb.cira.colostate.edu/visitview/custom/AmeriGEOweek_Aug2019/QuickGuides/QuickGuide_CIRA_Geocolor_es.pdf)
- Cisneros Vaca, C., Calahorrano, J., y Manzano, M. (2024). Análisis espacial y temporal de incendios forestales en el Ecuador utilizando datos de sensores remotos. *Colombia forestal*, 27(1), article e20111. <https://doi.org/10.14483/2256201X.20111>
- Consejo Nacional De Planificación Y Coordinación Económica (Conaplan). (1974). El Salvador – Zonificación Agrícola – Fase 1. Estudio realizado por el Departamento de Desarrollo Regional con la colaboración del del Gobierno de El Salvador. Secretaria General, Organización de los Estados Americanos, Washington, D.C. <https://www.oas.org/USDE/publications/Unit/oea34s/ch050.htm>
- Dorrego, X. & Álvarez, G. (2009). Teledetección y SIG en la gestión de los incendios forestales en Galicia. Teledetección: Agua y desarrollo sostenible. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Calatayud, 23-26 de septiembre de 2009. pp. 297-300. Editores: Salomón Montesinos Aranda y Lara Fernández Fornos. <https://www.aet.org.es/congresos/xiii/cal75.pdf>
- Follette-Cook, M., Gupta, P., Prados, A., McCullum, A., Torres-Pérez, J., Bengtsson, Z., Mehta, A., Podest, E., McCartney, S., Field, R., Orland, E., Rios, B., Barrett, B., & Raga, G. (2021). Observaciones de Satélites y Herramientas para el Riesgo, Detección y Análisis de Incendios. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/spanish/arset-observaciones-de-satelites-y-herramientas-para-el-riesgo>
- Gil Mora, J. E. (2022). Incendios Forestales: causas e impactos. *El Antoniano*, 135(1), 68 - 113. <https://doi.org/10.51343/anto.v135i1.866>
- IGN (Instituto Geográfico Nacional). (2018). Fundamentos de teledetección aplicada. El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, España. Proyecto cofinanciado por la Comisión Europea. [https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa\\_Marco\\_Copernicus\\_User\\_Uptake/2\\_Fundamentos\\_teledeteccion\\_aplicada.pdf](https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/2_Fundamentos_teledeteccion_aplicada.pdf)
- Lee, K, van Leeuwen, W.J.D, Gillan, J.K, & Falk, D.A. (2024). Examining the Impacts of Pre-Fire Forest Conditions on Burn Severity Using Multiple Remote Sensing Platforms. *Remote Sens.* 16, 1803. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/rs16101803>
- NASA ARSET (National Aeronautics and Space Administration). (2023). Building Climate Risk Assessments from Local Vulnerability and Exposure. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). <http://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/english/arset-building-climate-risk-assessments-local-vulnerability-and>
- 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. <https://www.redalyc.org/pdf/478/47817140008.pdf>
- Peña-Molina, E., Moya, D., Marino, E., Tomé, J.L., Fajardo-Cantos, Á., González-Romero, J., Lucas-Borja, M.E., y de las Heras, J. (2024). Fire Vulnerability, Resilience, and Recovery Rates of Mediterranean Pine Forests Using a 33-Year Time Series of Satellite Imagery. *Remote Sens.* 16, 1718. <https://doi.org/10.3390/rs16101718>
- Ramos-Rodríguez, M. P., Alcívar-Cobeña, A., Cedeño-Luna, N.A, y Manrique-Toala, T. O. (2022). Usos tradicionales del fuego en las actividades agrícolas de la parroquia Convento, cantón Chone, Manabí, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(3), 319-335. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-34692022000300319&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692022000300319&lng=es&tlng=es).



- Rosero-Cuesta J., Y Osorio-Giraldo, I., (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. Estado del arte. *Cuaderno Activa*, 5(1), 59–67. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/130>
- Sandal-Erzurumlu, G. y Ebru-Yildiz, N. (2024). Determination of fire intensity after forest fire by remote sensing: marmaris case study. *BIO Web of Conferences*, 85, article 01041 <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248501041>
- Serco Italia SPA (2017). Burned Area Mapping with Sentinel-2 (SNAP), Portugal (version 1.2). <https://rus-copernicus.eu/portal/the-rus-library/learn-byyourself>
- Taylor, A., Dronova, I., Sigona, A. & Kelly, M. (2024). Using Sentinel-2 Imagery to Measure Spatiotemporal Changes and Recovery across Three Adjacent Grasslands with Different Fire Histories. *Remote Sens.* 16, 2232. <https://doi.org/10.3390/rs16122232>
- Kassaye, M., Emiru, E., Derebe, Y., Tsega, A. (2025). Carbon stock dynamics in Ethiopian forests; a systematic review for sustainable forest management towards climate change mitigation, *Trees, Forests and People*, 20, 100841, 2666-7193. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100841>.
- Yang, L., Fang, L., Zhou, W., Qiao, Z., Chang, Yu., Xinran, Y., Yuanyuan, L., Ping Ren, Jiangtao, X., (2024). Evaluating the long-term effects of near-natural restoration on post-fire forest dynamics in a wildland-urban interface landscape, *Ecological Indicators*, Volume 160, article 111777, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111777>.