



Sensado Remoto de Incendios Forestales en la Región Andina Venezolana

Francisco Mirabal ^{1*}, Reimer Romero H. ^{1,2}

¹ *Laboratorio de Instrumentación, Óptica y Materiales. Departamento de Física, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo. Naganagua, Edo. Carabobo-Venezuela*

² *Instituto de Investigaciones Médicas y Biotecnológicas de la Universidad de Carabobo*

***Autor de correspondencia:** francisco.mirabal.facyt@gmail.com

Recibido: 25/05/2025, **Revisado:** 30/05/2025, **Aceptado:** 25/07/2025

Resumen

Los incendios forestales son fenómenos complejos con impactos significativos en los ecosistemas y la vida humana. Este estudio analiza datos recogidos por sensado remoto para identificar focos de calor en la región andina venezolana (Mérida, Táchira, Trujillo) entre 2018 y 2020. Se utilizaron datos de los sistemas FIRMS, MODIS, VIIRS y Landsat, procesados con Google Earth Engine y QGIS. Se identificaron patrones temporales y espaciales, destacando el primer cuatrimestre del año como el de mayor actividad, siendo el estado Trujillo con la mayor densidad de focos. La presencia de vegetación con indicios de debilitamiento o enfermedad, considerable estrés hídrico y un entorno con baja humedad, aunado a las condiciones climáticas de sequía, caracterizadas por un ligero incremento en las temperaturas medias y máximas y un descenso en la precipitación y humedad relativa, pueden ser considerados como condicionantes del inicio y/o propagación de los incendios.

Palabras Claves: Análisis espectral, Incendios forestales, Sensado remoto.

REMOTE SENSING OF WILDFIRES ON VENEZUELAN ANDEAN REGION

Abstract

Wildfires are complex phenomena with significant impacts on ecosystems and human life. This work analyzes data collected by remote sensing to identify hotspots in the Venezuelan Andean region (Mérida, Táchira, Trujillo) between 2018 and 2020. Data from the FIRMS, MODIS, VIIRS, and Landsat systems were used, processed with Google Earth Engine and QGIS. Temporal and spatial patterns were identified, highlighting the first quarter of year as the most active, with Trujillo state having the highest density of hotspots. The presence of vegetation with signs of weakening or disease, considerable water stress, and an environment with low humidity, coupled with drought climatic conditions, characterized by a slight increase in average and maximum temperatures and a decrease in precipitation and relative humidity, can be considered as determining factors for the start and/or spread of fires.

Keywords: Remote sensing, Wildfire, Spectral analysis.

1. Introducción

Los incendios forestales son aquellos incendios que ocurren en los ecosistemas terrestres y se propagan por la vegetación (Pausas, 2012). Un aspecto adicional que caracteriza a este tipo de incendio es que puede avanzar descontroladamente causando daños ecológicos, económicos y sociales.

Para que se inicie un incendio deben estar presente tres componentes, llamados también triángulo del fuego: la presencia de oxígeno, la cobertura vegetal (combustible) y la fuente de calor. Respecto a la cobertura vegetal, es el aspecto más estudiado en la literatura, de allí que se considere a la biomasa (abundancia de vegetación) como factor de riesgo (Mora & Eduardo, 2020). Las fuentes de calor o ignición tienen su origen natural y antropogénico.

Tal como la biomasa, existen también otros factores condicionantes para la ocurrencia de incendios, representado en las condiciones climáticas, con el adicional de que éstos también determinan la evolución de los mismos. Entre los factores condicionantes para la ocurrencia de incendios están las condiciones climáticas: temperatura ambiente, temperatura máxima, nivel de precipitaciones, humedad, velocidad del viento, etc. (Oom & Pereira, 2013).

La cordillera andina incluye todo el ramal nororiental de la cordillera andina en Venezuela, desde la frontera con Colombia, en el estado Táchira, hasta la Depresión de Barquisimeto (Estado Lara). Allí se encuentran las mayores elevaciones fisiográficas de Venezuela, llegando hasta casi 5.000 m de altitud en el Pico Bolívar. Igualmente, aquí se registran los puntos más altos en el país con vegetación natural, lo cual ocurre a 4.700 msnm. El régimen climático varía con la altitud y la exposición, pero presenta variaciones locales. La región presenta una elevada pluviosidad en las vertientes orientales que presentan altitudes baja y media; en la región altimontano y antiandino la disponibilidad hídrica es más limitada. En las laderas orientales la vegetación se caracteriza por los numerosos tipos boscosos que ocupan sus laderas orientales (hacia los Llanos) y noroccidentales (hacia el lago de Maracaibo), así como por los páramos alto-andinos que van desde la línea boscosa hacia las cumbres. Entre los bosques basimontanos, submontanos y montanos, destaca el bosque nublado

andino dentro de los bosques montanos, con el predominio de majestuosos árboles de gimnospermas provenientes de la región austral (Rojas Suárez & Mazzei, 2010). En el año 2020 Venezuela sufrió uno de sus peores momentos registrados a la fecha de realizado este estudio en lo que se refiere a incendios forestales al ser el país de la región Amazónica con mayor densidad de incendios, siendo que cerca de un 99 % de estos fueron de origen humano. Las áreas protegidas que son refugios para la vida salvaje también son unas de las zonas donde más hincapié debería realizarse para el control de estos eventos, pero como mucho la mitad de estas son las que presentan un monitoreo regular para detectar el daño producido por los incendios. Esto se vuelve especialmente preocupante al observar que a lo largo de ese año en 4 áreas protegidas la actividad de incendios se quintuplicó, en 7 se cuadruplicaron, 11 se triplicaron y en 19 se duplicaron en contraste con los números de la última década. El daño generado por estos no solo se centra en la desaparición de la flora y fauna, también ha de considerarse que el debilitamiento de los suelos provoca un aumento de la erosión y un ambiente más propenso para incendios. También se presentan los efectos para las poblaciones cercanas a estas zonas de riesgo y es que la continua inhalación del humo es capaz de causar una serie de efectos y enfermedades como asma, irritación del sistema respiratorio, daños al sistema inmunológico, además del aumento de la probabilidad de padecer de neumonía o paros cardíacos en hasta un 70 %, entre muchos otros efectos que aún pueden descubrirse en nuestros cuerpos (Carpio, 2023).

Con el lanzamiento de los primeros satélites de observación de la Tierra, la teledetección se convirtió rápidamente en una alternativa para detectar áreas quemadas, esto proporciona una cobertura regional y mundial oportuna de la ocurrencia de incendios (Chuvieco et al., 2019). Con ello se ha logrado no solo un registro local sino también global de los factores estructurales y antropogénicos de la superficie terrestre, con lo que se han logrado identificar aquellas regiones con mayor o menor susceptibilidad al fuego (Earl & Simmonds, 2018).

En este trabajo se realiza una exploración estadística de las condiciones climáticas y espectrales presentes en los ciclos de fuego en la región Andina venezolana en el período desde 2018 al 2020. Se implementaron

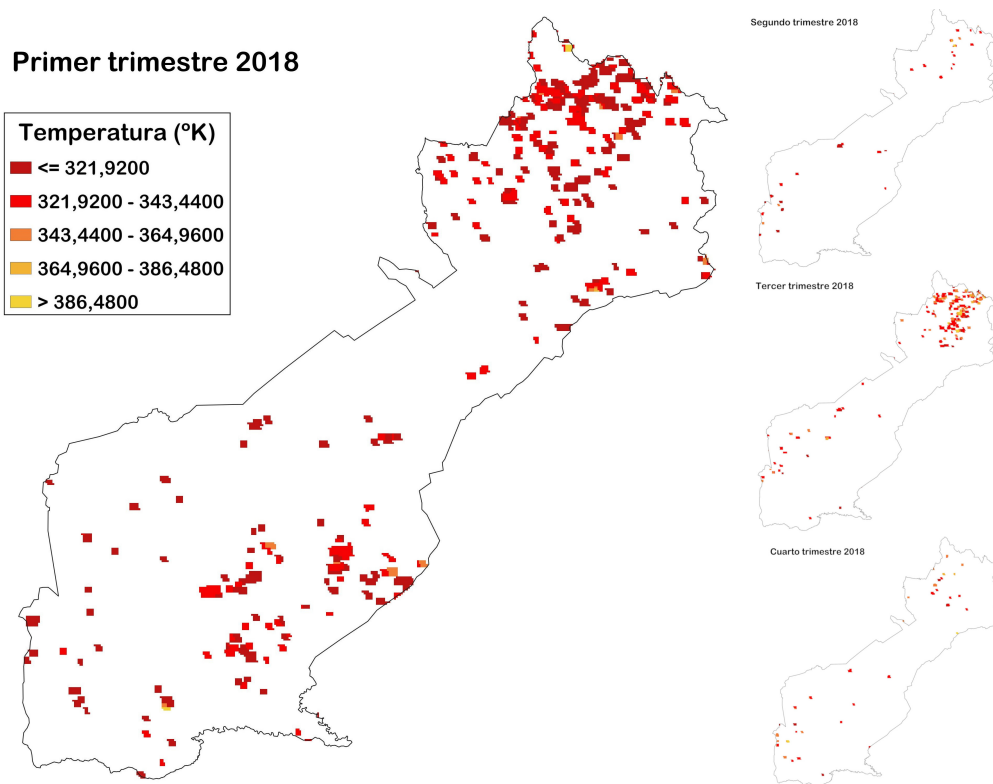


Figura 1. Mapas de incendios del año 2018

técnicas de sensado remoto utilizando la plataforma GEE y la información proveniente de los satélites VIIRS, MODIS y Landsat en el territorio venezolano para detectar focos de calor.

2. Metodología

Este estudio se basó en técnicas de sensado remoto para analizar los incendios forestales en la región andina venezolana, al suroeste del territorio venezolano, abarcando así los estados Mérida, Táchira y Trujillo. El período de análisis fue del año 2018 al 2020, dividiéndose temporalmente en trimestres para un análisis detallado de la evolución de los fenómenos. La información terrestre se gestionó y administro a través de la plataforma Google Earth Engine (GEE). Esta es una plataforma desarrollada por Google basada en la nube que permite realizar procesamientos geoespaciales a gran escala, proporcionando acceso a datos de teledetección por satélite, aerotransportados, modelos digitales de elevación, etc (Mutanga & Kumar, 2019).

Para la detección de focos de calor (puntos de incendio), se utilizó la plataforma FIRMS (Fire Informa-

tion for Resource Management System) de la NASA (Davies et al., 2009), accesible a través de los catálogos de imágenes proporcionados por los distintos instrumentos. FIRMS utiliza datos de los instrumentos MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite). MODIS captura datos en 36 bandas espectrales con una resolución de 1 km para la detección de incendios, con un tiempo de visita de 1 a 2 días (Justice et al., 2002). VIIRS (P. Li et al., 2020)recopila datos en 22 bandas espectrales con una resolución óptima de 375 m y la misma frecuencia que MODIS, siendo particularmente útil para incendios pequeños y mapeo de perímetros. Para la detección de incendios, se utilizó la banda de temperatura de estos instrumentos (F. Li et al., 2018).

Se calcularon dos índices espectrales relevantes para el estudio de la vegetación y su estado hídrico: NDVI y NDMI. El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se obtuvo desde MODIS ya procesado en GEE. El NDVI se calcula utilizando la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) y el rojo visible (VIS) según:

■ **NDVI** (Índice de Vegetación de Diferencia

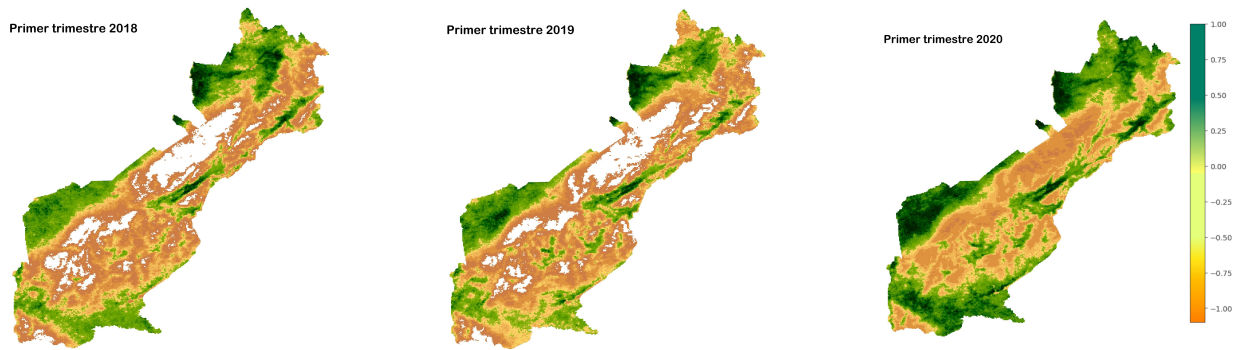


Figura 2. Mapas NDVI del primer trimestre de los años 2018, 2019 y 2020

Normalizada):

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$$

Este índice puede tomar valores entre -1 y 1, indicando la condición de la flora (valores negativos o cercanos a cero para suelo desnudo o vegetación estresada, valores positivos para vegetación sana). Por otro lado, el Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI) se calculó utilizando el sistema Landsat, específicamente Landsat 8 (Robinson et al., 2017); este satélite ofrece imágenes con resolución de hasta 30 metros.

El NDMI se calcula usando la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR) mediante:

- **NDMI** (Índice de Humedad de Diferencia Normalizada):

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Se seleccionaron las bandas B5 (NIR) y B6 (SWIR) de Landsat 8. El NDMI es sensible al contenido de agua en la vegetación, con valores negativos indicando estrés hídrico y valores cercanos a 1 indicando alta humedad. El flujo de trabajo para NDMI también se realizó por trimestres.

Las variables meteorológicas (temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, nivel de precipitación, humedad relativa) también fueron registradas, estas se adquirieron desde el conjunto de datos ERA-5 Land (ERA5-Land Monthly Averaged Data from 1950 to Present, n.d.), la periodicidad de estas variables fue mensual para toda la región.

La información geoespacial recopilada se trató utilizando el software de Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS. QGIS se implementó para visualizar los resultados de los índices espectrales y la altitud, generando mapas trimestrales y un mapa de altitud. Los mapas fueron vectorizados para su posterior análisis.

Las variables meteorológicas (temperatura media, máxima, mínima, precipitación, humedad relativa) se adquirieron desde el conjunto de datos ERA-5 Land. La información geoespacial se trató utilizando QGIS para visualizar resultados y generar mapas.

3. Resultados

Se registraron un total de 4216 focos de calor en todo el período. El año 2020 registró el mayor número de focos de calor (1525), seguido por 2019 (1517), 2018 (1174) (ver Tabla 1). La distribución por estados muestra que Trujillo consistentemente presentó el mayor número y densidad de focos de calor, superando en la mayoría de los años los valores combinados de Mérida y Táchira. En 2020, Trujillo registró 905 focos, mientras que Mérida tuvo 238 y Táchira 382. Esta distribución espacial puede verse en la Figura 1, se destaca en esta representación, la dinámica anual vista en los cuatro períodos trimestrales del 2018, además una alta actividad en el primer trimestre, hecho que se repite cada uno de los años evaluados, en lo que sigue del estudio prestaremos atención sólo a este período.

En cuanto a la cobertura vegetal expresada por NDVI, se encontró que el primer trimestre de cada año la cobertura evidenciaba pérdida parcial y, en algunos casos total, característico de las condiciones climáti-

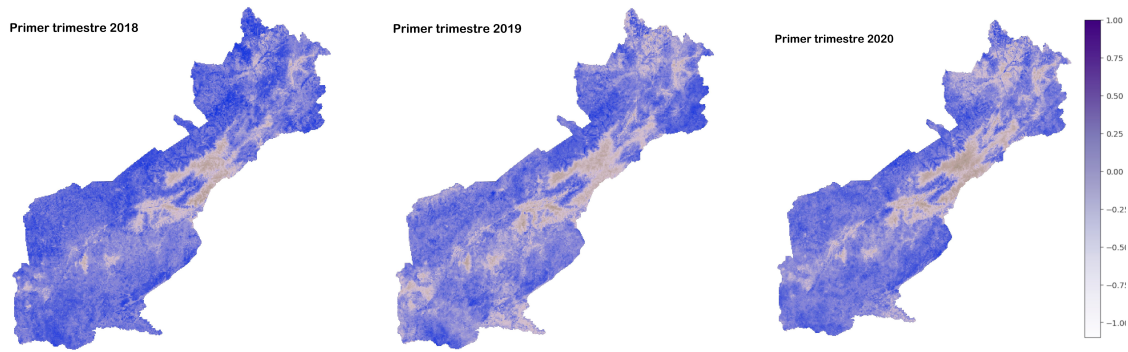


Figura 3. Mapas NDMI del primer trimestre de los años 2018, 2019 y 2020

Tabla 1. Distribución anual de los incendios por Estado

Estado	2018	2019	2020
Mérida	164	273	238
Táchira	170	341	382
Trujillo	840	903	905
Total	1,174	1,517	1,525

cas de esta época del año (Figura 2); esto fue más evidente en el año 2019. En el 2020, el año con mayor cantidad de focos de calor, éstos ocurrieron en zonas donde el NDVI presentó valores entre 0.1 y 0.5, es decir, un cuerpo vegetal comprometido. Por otro lado, la humedad contenida en la vegetación, ligado al índice NDMI, puede ser observado (Figura 3), un nivel de humedad moderado para el primer trimestre del año.

Se destacan algunos aspectos muy interesantes; del índice NDVI obtuvimos que en las regiones con un valor de entre 0 y 0.5 en la escala se registró que un 52.68 % de los focos de calor, por otro lado, en las zonas donde el rango de valores de NDMI estaba entre -0.5 y 0 registró un 68.96 % de los focos de calor totales. Esta información es muy interesante ya que, en el NDVI, como vimos, hace referencia a las plantas que empiezan a mostrar indicios de debilitamiento o enfermedad y con el NDMI, este rango indica que las plantas ya presentan un severo estrés hídrico, así como un gran debilitamiento en la humedad del entorno, esto es un resultado muy positivo al entender como la información obtenida con estos índices son de utilidad para dar sentido a los registros de focos de calor en estos periodos de tiempo.

En cuanto a las variables meteorológicas observa-

das en el primer trimestre de cada año (Figuras 4 y 5), vemos como las temperaturas medias y máximas incrementan ligeramente en los últimos 3 años, de igual forma se observa que la precipitación y humedad relativa tienen un descenso en el mismo primer trimestre en los años de estudio, propio de la época de sequía. Esta combinación condiciona el inicio y propagación de incendios, se trata de una vegetación que no ha perdido cobertura, pero si muestra evidente estrés vegetal, como vimos en la figura 2. También es evidencia de un período seco el bajo nivel de precipitación y la carencia de humedad como lo vimos en las figuras 4 y 5.

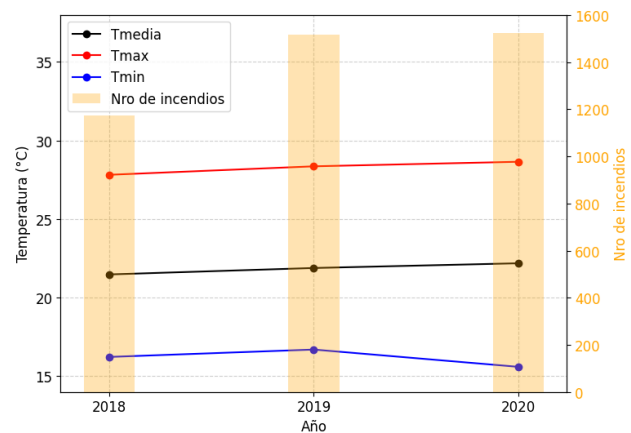


Figura 4. Temperaturas (medias, mínimas y máximas) en el primer trimestre 2018-2020

4. Conclusiones

En este estudio se emplearon técnicas de sensado remoto para la adquisición y análisis de focos de calor en los estados Mérida, Táchira y Trujillo de la región andina venezolana entre 2018 y 2020. Se utilizaron datos de FIRMS, MODIS, VIIRS y Landsat,

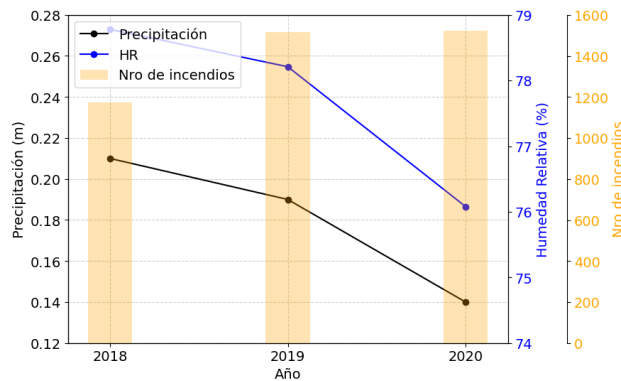


Figura 5. Nivel de precipitación y humedad relativa en el primer trimestre 2018-2020

procesados con Google Earth Engine y QGIS.

En el primer trimestre de cada año estudiado (2018-2020), que fue identificado como el período de mayor actividad de incendios, la cobertura vegetal mostró pérdida parcial o total, lo cual es característico de las condiciones climáticas de esa época. Se encontró que un 52.68 % de los focos de calor se registraron en regiones donde el valor de NDVI estaba entre 0.1 y 0.5. Este rango de valores indica plantas que comienzan a mostrar indicios de debilitamiento o enfermedad.

También se observó un nivel de humedad moderado. Un resultado importante es que un 68.96 % de los focos de calor totales se registraron en zonas donde el rango de valores de NDMI estaba entre -0.5 y 0. Este rango de NDMI señala plantas que ya presentan un severo estrés hídrico, así como un gran debilitamiento en la humedad del entorno. Los rangos de NDVI (0.1 a 0.5) y NDMI (-0.5 a 0) identificados corresponden a vegetación debilitada o estresada hídricamente, lo cual condiciona el inicio y la propagación de incendios.

Durante el primer trimestre de cada año (2018-2020), las temperaturas medias y máximas incrementaron ligeramente, mientras que la precipitación y la humedad relativa mostraron un descenso. Estas condiciones climáticas, propias de la época de sequía, se combinan con el estrés vegetal para condicionar el inicio y la propagación de los incendios. La vegetación, aunque no haya perdido completamente la cobertura (según NDVI), muestra un evidente estrés vegetal, y el bajo nivel de precipitación y la carencia de humedad (según NDMI) son evidencia de un

período seco.

Los incendios forestales en la región andina venezolana durante el período 2018-2020, particularmente en el primer trimestre, pueden estar condicionados por una combinación de factores: la presencia de vegetación con indicios de debilitamiento o enfermedad (NDVI entre 0.1-0.5) y que presenta un severo estrés hídrico y un entorno con baja humedad (NDMI entre -0.5 y 0), aunado a las condiciones climáticas de sequía, caracterizadas por un ligero incremento en las temperaturas medias y máximas y un descenso en la precipitación y humedad relativa. Estos factores crean un ambiente propicio para la ocurrencia y propagación de incendios.

Referencias

- [1] Carpio, H. (2023, 1 noviembre). *Naturaleza en llamas: 20 años de incendios en áreas protegidas de Venezuela*. <https://prodavinci.com/naturalezaenllamas/>
- [2] Chuvieco, E. et al. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45-64.
- [3] Davies, D. K. et al. (2009). Fire information for resource management system. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(1), 72-79.
- [4] Earl, N., & Simmonds, I. (2018). Spatial and Temporal Variability and Trends in 2001-2016 Global Fire Activity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(5), 2524-2536.
- [5] ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present. (s.f.). Recuperado el 29 de mayo de 2025, de <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land-monthly-means>
- [6] Justice, C. O. et al. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 244-262.
- [7] Li, F. et al. (2018). Comparison of Fire Radiative Power Estimates From VIIRS and MODIS Observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(9), 4545-4563.

- [8] Li, P. et al. (2020). Occurrence frequencies and regional variations in Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) global active fires. *Global Change Biology*, 26(5), 2970-2987.
- [9] Mora, G., & Eduardo, J. (2020). INCENDIOS FORESTALES: causas e impactos. *El Antoniano*, 6(1), 68-113.
- [10] Mutanga, O., & Kumar, L. (2019). Google Earth Engine Applications. *Remote Sensing*, 11(5), 591.
- [11] Oom, D., & Pereira, J. M. C. (2013). Exploratory spatial data analysis of global MODIS active fire data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21(1), 326-340.
- [12] Pausas, J. G. (2012). *INCENDIOS FORESTALES: una visión desde la ecología*. Catarata y CSIC.
- [13] Robinson, N. P. et al. (2017). A Dynamic Landsat Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for the Conterminous United States. *Remote Sensing*, 9(8), 863.
- [14] Rojas Suárez, J., & Mazzei, J. (Eds.). (2010). *Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela*. Lenovo (Venezuela).