

EVALUACIÓN POST-INCENDIO DE LA VEGETACIÓN DEL PÁRAMO DE SANTURBÁN MEDIANTE IMÁGENES ESPECTRALES

Miguel Angel Molina Garzón
Ingeniería de Sistemas, Universidad Industrial de Santander, Colombia,
miguel2200161@correo.uis.edu.co

Michael Ronaldo Rueda Barragán
Ingeniería de Sistemas, Universidad Industrial de Santander, Colombia,
michael2204131@correo.uis.edu.co

Hoover Fabián Rueda Chacón, PhD.
Ingeniería de Sistemas, Universidad Industrial de Santander, Colombia,
hfarueda@uis.edu.co

Resumen

Introducción: El incendio ocurrido en enero de 2024 en el Páramo de Santurbán, Santander, Colombia, afectó aproximadamente 800 hectáreas de flora y fauna, impactando gravemente este ecosistema. Los páramos son esenciales para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad, lo que subraya la importancia de comprender los efectos de incendios para planificar estrategias de restauración. **Objetivo:** Evaluar el impacto del incendio mediante el análisis de imágenes satelitales de la plataforma COPENICUS. Utilizando datos del satélite Sentinel-2, se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para cuantificar los efectos del fuego. **Metodología:** Se seleccionaron imágenes satelitales en tres etapas clave: antes, durante y después del incendio. Estas fueron procesadas mediante scripts en Python para realizar el ajuste y el cálculo del NDVI. **Resultados:** El análisis del NDVI permitió una visualización más precisa del daño causado por el incendio, evidenciando una degradación significativa de la vegetación durante el evento y una lenta recuperación en los meses posteriores. **Conclusión:** El uso de imágenes satelitales y NDVI son una herramienta eficaz para monitorear de forma precisa los efectos de incendios en ecosistemas frágiles, siendo clave para guiar estrategias de restauración ecológica, esenciales para la regulación y preservación de la biodiversidad.

Palabras clave: Incendio, Páramo de Santurbán, Imagen Satelital, Imágenes Espectrales, Índices de vegetación.

1. Introducción

Entre el 22 y el 26 de enero de 2024, un incendio devastador afectó cerca de 800 hectáreas en el Páramo de Santurbán, ubicado en Santander, Colombia. Esta región es de gran importancia ecológica debido a su biodiversidad y a la presencia de especies clave como los frailejones, plantas endémicas de los páramos que desempeñan un papel crucial en la regulación hídrica. El incendio no sólo devastó la vegetación, sino que también afectó la fauna local, alterando profundamente el equilibrio ecológico del área. La Figura 1 presenta una guía de la ubicación geográfica del Páramo de Santurbán en relación con la Universidad Industrial de Santander (UIS), lo que facilita una mejor comprensión de la región afectada.

Figura 1

Ubicación del páramo de Santurbán con respecto a la UIS



Fuente: Elaborada por autores.

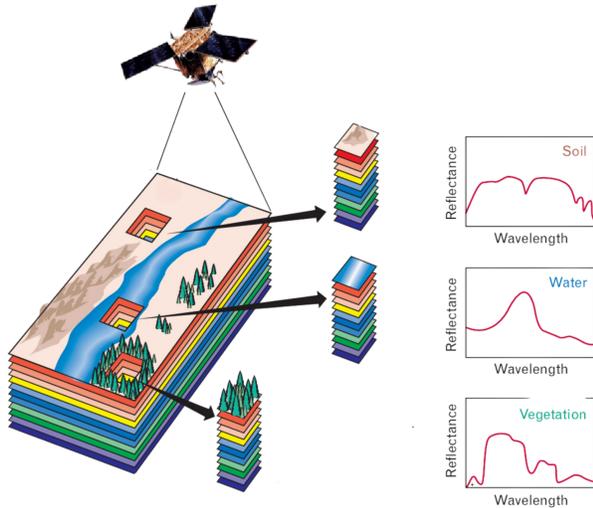
Dado que el acceso físico al Páramo de Santurbán es complicado debido a su lejanía, condiciones climáticas adversas y el terreno frío y accidentado, la monitorización de los efectos del incendio representa un desafío considerable. Para abordar este problema, optamos por utilizar imágenes espectrales satelitales que permiten un análisis remoto y eficiente del área afectada.

Una imagen espectral es una captura digital que registra la reflectancia de la luz en diferentes longitudes de onda. Estas imágenes contienen múltiples bandas espectrales, cada una correspondiente a una porción específica del espectro electromagnético. La combinación de estas bandas permite analizar diferentes características de la superficie terrestre, como la vegetación y la humedad del suelo, con un nivel de detalle superior al de las imágenes RGB convencionales.

La Figura 2 ilustra cómo las imágenes espectrales capturadas por satélites permiten obtener información sobre diferentes elementos terrestres, como el suelo, el agua y la vegetación, al registrar su reflectancia en distintas longitudes de onda.

Figura 2

Ejemplo de imagen espectral y las firmas espectrales de suelo, agua y vegetación.



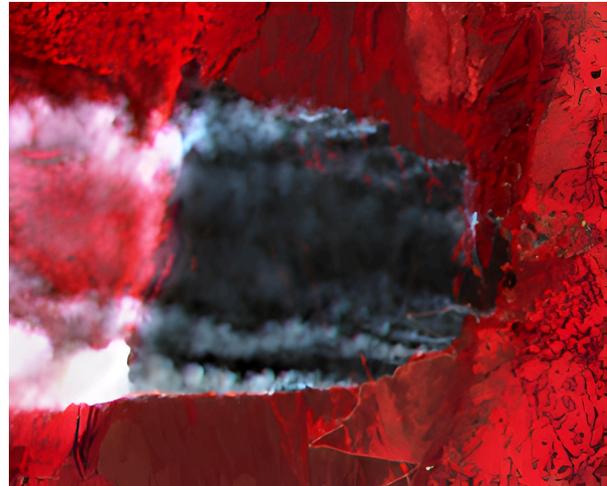
Fuente: Tomada de [\(Barbosa and Others 2020\)](#).

La Figura 3 muestra una imagen en falso color del área afectada por el incendio, donde se destacan las zonas quemadas y las áreas aún cubiertas de vegetación. Este tipo de imágenes es clave para visualizar la extensión del daño causado por el fuego.

En este estudio, utilizamos imágenes proporcionadas por la plataforma Copernicus, un sistema de observación de la Tierra de la Unión Europea que proporciona acceso gratuito a datos satelitales. Este ecosistema incluye las misiones Sentinel, entre las cuales se encuentra Sentinel-2, el satélite que capturó las imágenes utilizadas en este análisis.

Figura 3

Imagen en falso color del área afectada por el incendio.



Fuente: Tomada de COPERNICUS

A partir de estas imágenes, calculamos índices de vegetación, que son métricas derivadas de la reflectancia de la vegetación en diferentes bandas espectrales. Entre estos índices, destaca el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que nos permite cuantificar la salud y densidad de la vegetación. El NDVI es particularmente útil para detectar áreas afectadas por incendios, ya que muestra los cambios en la cobertura vegetal antes y después del evento.

Este enfoque basado en el monitoreo remoto tiene el potencial de proporcionar una evaluación precisa y oportuna de los efectos del incendio, lo que puede ayudar a guiar las futuras iniciativas de restauración ecológica en el Páramo de Santurbán.

2. Metodología

2.1 Búsqueda y descarga de las imágenes espectrales satelitales

Se seleccionaron imágenes satelitales de COPERNICUS, correspondientes a fechas clave antes, durante y después del incendio, asegurando visualmente la ausencia de nubosidad para garantizar la claridad de las escenas.

Las fechas tomadas previas al incendio fueron el 16 de noviembre de 2023, 1 de diciembre de 2023, 15 de enero de 2024 y 18 de enero de 2024. La imagen que documenta el incendio corresponde al 23 de enero de 2024. Posteriormente, se seleccionaron imágenes post-incendio correspondientes a las fechas: 25 de enero, 28 de enero, 12 de febrero, 14 de febrero, 29 de febrero, 12 de abril y 12 de agosto, de 2024.

Todas las imágenes fueron obtenidas del satélite Sentinel-2, que proporciona un total de 13 bandas espectrales (véase Tabla 1). Es importante destacar que Sentinel-2 cuenta con un intervalo de captura de aproximadamente 3 días, lo que permitió seleccionar un conjunto adecuado de imágenes para el análisis.

La Figura 3 muestra las 12 bandas espectrales utilizadas en este estudio, excluyendo la banda N° 10, dado que no estaba presente en los archivos descargados.

Tabla 1

Información bandas proporcionadas por Sentinel-2

Banda	Longitud de onda central (μm)	Resolución espacial (m)
1 - Aerosol costero	0.443	60
2 - Azul	0.490	10
3 - Verde	0.560	10
4 - Rojo	0.665	10
5 - Vegetación borde rojo	0.705	20
6 - Vegetación borde rojo	0.740	20
7 - Vegetación borde rojo	0.783	20
8 - Infrarrojo cercano	0.842	10
8A - Vegetación borde rojo	0.865	20
9 - Vapor de agua	0.945	60
10 - Infrarrojo de onda corta	1.375	60
11 - Infrarrojo de onda corta	1.610	20
12 - Infrarrojo de onda corta	2.190	20

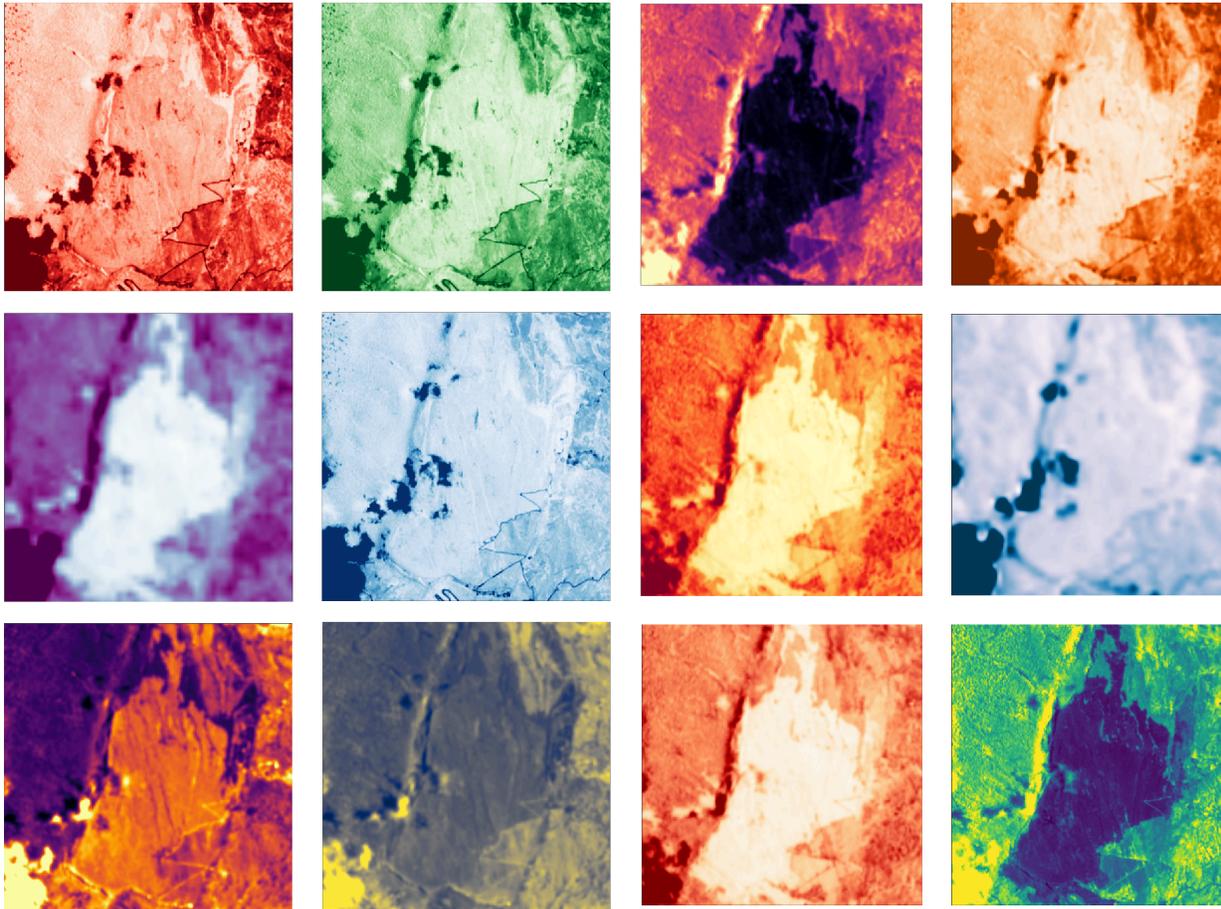
Fuente: Tomada de NASA *Earthdata*

2.2 Procesamiento de imágenes

El procesamiento de las imágenes se llevó a cabo mediante scripts desarrollados en Python, utilizando bibliotecas especializadas como *rasterio*, *matplotlib*, *numpy*, *os* y *PIL*. Inicialmente, se realizaron operaciones de recorte para aislar la zona de interés dentro

Figura 3

Representación gráfica de las 12 bandas espectrales obtenidas por Sentinel-2



Fuente: Elaborada por autores.

de las imágenes satelitales descargadas. Posteriormente, se llevó a cabo la alineación de las imágenes para garantizar una correcta superposición espacial entre las distintas fechas seleccionadas, lo que permitió una comparación precisa de los cambios en la vegetación a lo largo del tiempo.

2.3 Cálculo del NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se calculó para cada una de las imágenes procesadas con el fin de cuantificar los cambios en la cobertura vegetal antes y después del incendio. El NDVI es un indicador ampliamente utilizado para

medir la salud y densidad de la vegetación, calculado mediante la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{(Banda\ Infrarrojo\ cercano - Banda\ roja)}{(Banda\ Infrarrojo\ cercano + Banda\ roja)} \quad (1)$$

donde la *banda infrarrojo cercano* corresponde a la reflectancia en la banda 8 y la *banda roja* corresponde a la banda 4.

Este índice toma valores entre -1 y 1, donde valores cercanos a 1 indican vegetación densa y saludable, mientras que valores cercanos a 0 o negativos sugieren la ausencia de vegetación o áreas afectadas. La Figura 4 presenta un mapa de NDVI calculado para una zona específica afectada por el incendio, permitiendo visualizar las áreas con vegetación saludable (color verde) y aquellas más afectadas (color rojo).

Este enfoque permitió observar de manera cuantitativa los efectos del incendio sobre la vegetación y facilitó la identificación de áreas críticas que podrían requerir restauración o monitoreo adicional.

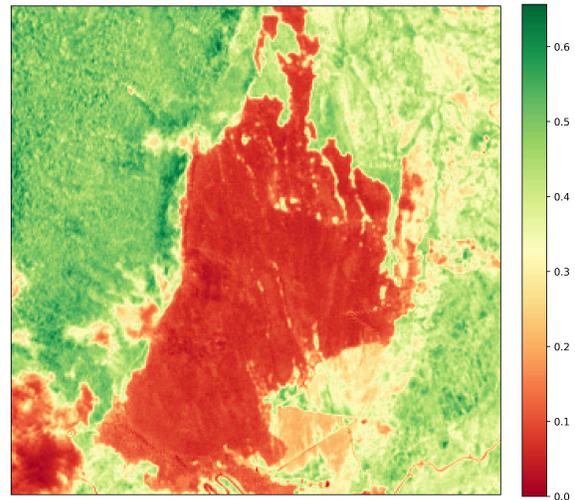
3. Resultados

Para cada una de las fechas seleccionadas, se generaron imágenes en formato RGB y sus correspondientes mapas de NDVI.

Las imágenes RGB permitieron una evaluación visual rápida de la zona afectada, mostrando claramente las áreas quemadas y los cambios en la vegetación antes, durante y después del incendio.

Figura 4

Mapa de NDVI en la zona afectada, mostrando la distribución de vegetación saludable y áreas afectadas por el incendio.



Fuente: Elaborada por autores.

Estas imágenes RGB fueron particularmente útiles para una inspección visual preliminar de los daños. El cálculo del NDVI para las mismas fechas proporcionó un análisis cuantitativo más preciso de la salud de la vegetación. Los valores altos de NDVI, cercanos a 1, indicaron áreas con vegetación densa y saludable, mientras que los valores bajos y negativos reflejaron áreas afectadas por el incendio, donde la vegetación se encontraba gravemente dañada o completamente destruida.

Los resultados mostraron que antes del incendio, la zona presentaba valores de NDVI predominantemente positivos, sugiriendo una

cobertura vegetal saludable. Sin embargo, durante el evento del 23 de enero de 2024, se observó una disminución significativa en los valores de NDVI en las áreas afectadas, lo que coincide con la imagen RGB que muestra claramente las áreas quemadas.

Posteriormente, los análisis post-incendio revelaron un lento proceso de recuperación en ciertas áreas, mientras que otras zonas continuaron mostrando valores bajos de NDVI, lo que indica la magnitud del impacto del incendio en la vegetación.

La Figura 5 presenta el análisis temporal de la vegetación, mostrando los valores de NDVI para fechas clave: antes, durante y después del incendio, así como una fecha reciente que refleja el estado actual de la vegetación.

4. Discusión

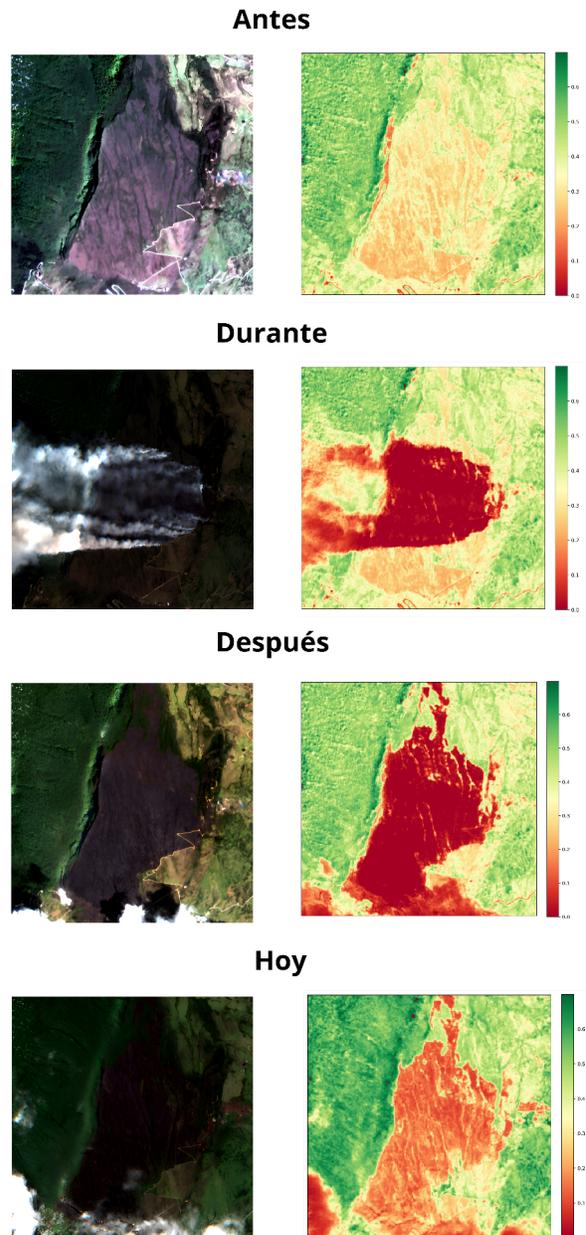
Los NDVI obtenidos para cada una de las fechas clave, tanto antes como después del incendio, proporcionan un análisis detallado de la evolución de la vegetación en la zona afectada. Los valores más altos de NDVI antes del día del incendio (23 de enero), indican una cobertura vegetal predominantemente saludable.

Sin embargo, durante el incendio del 23 de enero de 2024, los valores de NDVI caen drásticamente, como se refleja en la imagen, donde se observan grandes áreas con valores cercanos a 0, lo que indica una

pérdida significativa de vegetación debido al fuego.

Figura 5

Imágenes RGB y mapas de NDVI de la zona afectada antes, durante y después del incendio (enero de 2024).



Fuente: Elaborada por autores.

El análisis de las fechas posteriores al incendio, muestra una leve recuperación en algunas áreas, pero en general los valores de NDVI permanecen bajos, lo que sugiere que las áreas afectadas no experimentaron una recuperación inmediata. Las imágenes más tardías, muestran una lenta regeneración de la vegetación en algunas partes, aunque una gran parte de la zona sigue presentando valores bajos de NDVI. Esto refleja la magnitud del daño y la capacidad limitada de recuperación de la vegetación a corto plazo, especialmente en un ecosistema tan sensible como el del páramo.

5. Conclusiones

El uso del NDVI permitió cuantificar de manera efectiva el impacto del incendio en la vegetación del Páramo de Santurbán. Los valores altos de NDVI antes del incendio indican una vegetación densa y saludable, mientras que los valores cercanos a 0 observados durante el incendio reflejaron las áreas de mayor afectación. Aunque se ha observado cierta recuperación de la vegetación en fechas posteriores, los resultados sugieren que este proceso es lento y que la magnitud del incendio ha tenido efectos duraderos en el ecosistema.

El análisis temporal muestra que, incluso varios meses después del incendio, muchas áreas aún presentan valores bajos de NDVI, lo que implica que el ecosistema del páramo podría requerir intervenciones de restauración

para acelerar su recuperación. Estos hallazgos destacan la importancia de desarrollar estrategias de manejo de incendios y planes de reforestación para proteger y restaurar ecosistemas frágiles como el páramo, que son vitales para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad.

Referencias

Barbosa, L. R. (2020). *Groundwater recharge in tropical wet regions via GIS-based methods and cosmic-ray neutron sensing*.

Libro con autor

[Apellido del autor, Inicial nombre. (Año de publicado), Título del libro, Ciudad y país, Editorial del libro.]

Ejemplo: García, G. (1967), Cien años de soledad, Colombia, Editorial Planeta.

Libros electrónicos

[Apellido, Inicial nombre. (Año de publicado). Título del libro. Recuperado de <http://urlweb.com>]

Ejemplo: García, G. (2015). Cien años de soledad. Recuperado de <https://normasapa.in>

Libro electrónico con DOI

[Apellido del autor, Iniciales del autor (Año). Título del libro. DOI: 0000000000]

Ejemplo: García, G. (2015). Cien años de soledad. DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.uph32-65.gmc>

Capítulo de un libro

[Apellido del autor, Iniciales del autor (Año de publicado). Título del capítulo. Título del libro (Páginas). Ciudad, País: Editorial]

Trabajo de tesis

[Apellido del autor, Inicial nombre del autor. (fecha AA – MM – DD). Título de la tesis [TIPO: Tesis de pregrado, maestría o doctorado). Nombre de la institución, ubicación de la institución.]

Ejemplo: Rivas, A. (2018, Julio 18). Aprovechamiento energético de los recursos hídricos [Tesis de pregrado]. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.

Artículos científicos

[Apellido del autor, Inicial nombre del autor. (Fecha publicación). Título del artículo. Nombre de la revista, volumen (Número), páginas.]