

Estudio Longitudinal del Efecto de los Incendios Forestales en la Cobertura Vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá: Análisis a Través del Tiempo con Imágenes Satelitales

Aaron Sarmiento, Sergio Heredia

^aUniversidad Sergio Arboleda, Procesamiento de Imágenes,

Abstract

Este informe presenta un estudio detallado sobre los efectos de los incendios forestales en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá en 2024. Se realizó un análisis longitudinal desde el estado previo a los incendios hasta su extinción, con el objetivo de comprender el impacto del fuego en la vegetación a lo largo del tiempo. Para este estudio, se desarrolló un sistema automatizado utilizando herramientas de procesamiento de imágenes como OpenCV, Scikit-image, PyProj, Rasterio y SciPy. Se empleó el Índice de Severidad del Fuego (NBR) para evaluar la severidad y extensión de los incendios en imágenes satelitales, validando y comparando los resultados con herramientas avanzadas de análisis geoespacial como ArcGIS.

Los resultados que obtuvimos proporcionan una comprensión más profunda de los impactos de los incendios forestales en la vegetación de los Cerros Orientales de Bogotá. Estos hallazgos son fundamentales para la gestión y prevención de incendios, así como para la formulación de estrategias de conservación y restauración de los ecosistemas naturales. Además, la información generada contribuye a tomar decisiones informadas para proteger la biodiversidad y la seguridad de las comunidades locales.

Keywords:

Incendios forestales, Cobertura vegetal, Cerros Orientales de Bogotá, Análisis longitudinal, Imágenes satelitales, Landsat.

1. Introducción

Los incendios forestales, por su alcance devastador, representan una seria amenaza para la biodiversidad y la seguridad de las comunidades en todo el mundo. En los Cerros Orientales de Bogotá, esta amenaza se intensifica debido a la riqueza ecológica de la región y su proximidad a áreas urbanas densamente pobladas. Durante el año 2024, un incendio particularmente destructivo consumió alrededor de 12 hectáreas de bosques, generando preocupación por sus impactos ambientales, sociales y económicos.



Figure 1: Incendio forestal en la Quebrada La Vieja, Cerro Oriental de Bogotá(1)

Este incendio, iniciado el 22 de enero, se propagó rápidamente debido a los fuertes vientos y las condiciones climáticas adversas, desafiando los esfuerzos de contención durante más de 36 horas continuas (2). A pesar de los esfuerzos de

más de 300 personas, incluidos bomberos y equipos de emergencia, el control del fuego resultó difícil debido a la topografía accidentada de la zona, con pendientes pronunciadas que dificultaban el acceso al fuego (3).

Estos eventos tienen repercusiones más allá de la pérdida de vegetación y la amenaza a la seguridad humana. A nivel global, los incendios forestales contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, exacerbando el cambio climático (3). Además, los incendios forestales pueden tener un impacto duradero en la calidad del suelo y la biodiversidad local (4).

2. Definición del Problema

Abordamos la problemática de los incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, especialmente en relación con un evento ocurrido en 2024 que consumió alrededor de 12 hectáreas de bosque y desafió los esfuerzos de contención durante más de 36 horas (1). Los incendios forestales representan una seria amenaza en todo el mundo, con impactos devastadores en los sistemas ecológicos y climáticos. Estos eventos no solo aumentan la emisión de gases de efecto invernadero, sino que también provocan la pérdida de hábitats y fauna, así como cambios significativos en la cobertura vegetal (2; 3). En América Latina, esta preocupación ha crecido debido al cambio climático y los cambios en los usos del suelo (5). En Colombia, los incendios forestales son una realidad anual, afectando extensas áreas de bosques y ecosistemas naturales, con un promedio de 42,000 hectáreas afectadas cada año(6); Los Cerros Ori-

entales de Bogotá son particularmente vulnerables, con incendios recurrentes que han consumido grandes extensiones de cobertura vegetal, generando impactos tanto ambientales como socioeconómicos significativos(7).

3. Desarrollo (Métodos):

3.1. Investigación

Nuestra investigación se centra en la observación detallada de la respuesta espectral de imágenes satelitales para comprender la propagación de incendios en los Cerros Orientales de Bogotá, específicamente cerca del mirador de la Virgen de Bogotá. Este enfoque descriptivo nos permite analizar minuciosamente la distribución y severidad de los incendios, proporcionando una visión integral de los impactos en la vegetación circundante y en el entorno natural en general (8).

Además, hemos desarrollado y perfeccionado técnicas precisas para medir la pérdida de vegetación provocada por estos incendios. Nuestro objetivo principal es contribuir activamente al diseño e implementación de políticas y acciones más efectivas que puedan proteger de manera adecuada el entorno natural y garantizar la seguridad de las comunidades locales. Estamos comprometidos en generar información y herramientas prácticas para los responsables de la toma de decisiones, con el fin de mitigar los impactos negativos de los incendios forestales en la región.

3.2. Metodología

Nuestra metodología involucró la recopilación de datos satelitales de diversas fuentes, seguida de un proceso de procesamiento de imágenes para corregir y analizar la información obtenida. Empleamos técnicas avanzadas de análisis de cambios para detectar y cuantificar las alteraciones en la cobertura vegetal antes, durante y después de los incendios, junto con herramientas de análisis geoespacial para validar y comparar los resultados. Esta metodología nos permitió obtener una comprensión detallada de los impactos de los incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, proporcionando información valiosa para la gestión y conservación de estos ecosistemas vulnerables

3.3. Adquisición de Datos Satelitales

En esta primera fase se adquirirán imágenes satelitales de la región de los Cerros Orientales de Bogotá utilizando el sensor Landsat. Para lograr adquirir las imagenes utilizaremos Earth Explorer, una plataforma proporcionada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) que permite acceder y descargar imágenes satelitales de manera gratuita. Earth Explorer ofrece una amplia variedad de imágenes de diferentes sensores y plataformas, incluyendo el sensor Landsat, que será utilizado en este estudio debido a su adecuada resolución espacial y temporal para la detección de cambios en la vegetación. Se seleccionarán imágenes que abarquen un período de tiempo que incluya el antes, durante y después del incendio forestal en estudio. Seguido a esto, Se definen los parámetros de búsqueda

en Earth Explorer para seleccionar las imágenes satelitales adecuadas para el estudio. Esto incluye la especificación de la región de interés, el rango de fechas que abarca el período antes, durante y después del incendio forestal, y la selección del sensor Landsat como fuente de datos.

Las imágenes utilizadas son de Landsat 8 las cuales cuentan con las siguientes características o bandas:

Visible (Blue, Green, Red): Perciben la luz visible, útiles para identificar características como vegetación, agua y áreas urbanas.

Pancromática: Ofrece alta resolución, capturando un amplio rango del espectro electromagnético para obtener imágenes detalladas.

Infrarrojo Cercano (NIR): Detecta radiación cercana al infrarrojo, siendo útil para evaluar la salud de la vegetación.

Infrarrojo de Onda Corta (SWIR): Cubre longitudes de onda ligeramente más largas que el NIR, penetrando la vegetación para revelar su estructura y composición.

Térmica: Captura radiación térmica, siendo útil para medir la temperatura superficial y detectar incendios forestales, áreas urbanas calientes y cuerpos de agua.

Estas medidas se observan así:

Sensor	Spectral Band	Use Area	Wavelength	Resolution
OLI	Band 1	Coastal/Aerosol	0.433 – 0.453 μm	30 m
OLI	Band 2	Blue	0.450 – 0.515 μm	30 m
OLI	Band 3	Green	0.525 – 0.600 μm	30 m
OLI	Band 4	Red	0.630 – 0.680 μm	30 m
OLI	Band 5	Near Infrared	0.845 – 0.885 μm	30 m
OLI	Band 6	Short Wavelength Infrared (SWIR 1)	1.560 – 1.660 μm	30 m
OLI	Band 7	Short Wavelength Infrared (SWIR 2)	2.100 – 2.300 μm	30 m
OLI	Band 8	Panchromatic	0.500 – 0.680 μm	15 m
OLI	Band 9	Cirrus	1.360 – 1.390 μm	30 m
OLI	Band 10	Long Wavelength Infrared	10.30 – 11.30 μm	100 m
OLI	Band 11	Long Wavelength Infrared	11.50 – 12.50 μm	100 m

Figure 2: Bandas usadas en Landsat 8, (5)

3.4. Proceso de adquisición y procesamiento de imágenes satelitales

Se realizó el proceso de adquisición y procesamiento de imágenes satelitales para los Cerros Orientales, especialmente en el mirador de la Virgen, donde la intensidad del incendio era más dominante. A continuación, se describen cada uno de los pasos del proceso que llevamos a cabo:

Búsqueda y descarga de imágenes

Para procesar imágenes de incendios forestales en Python, se puede realizar un preprocesamiento para corregir distorsiones y eliminar ruido con bibliotecas como OpenCV, Scikit-image y GDAL. Luego, se aplican algoritmos de detección de incendios y técnicas de aprendizaje profundo con TensorFlow, PyTorch o Keras. La comparación de imágenes en diferentes momentos permite identificar cambios en la cobertura del suelo, y la

clasificación ayuda a evaluar la severidad del incendio. Finalmente, la visualización de resultados con Matplotlib, Seaborn y Plotly facilita la comprensión de la distribución y evolución de los incendios.

Verificación de la cobertura de las imágenes

Para asegurar la cobertura completa del área de interés, se cargó el shape de los Cerros Orientales de Bogotá utilizando las librerías geopandas y shapely. Se verificó que las imágenes abarcaban toda la extensión de los cerros, garantizando así la integridad de los datos. Además, se aplicaron criterios de filtrado por temporalidad y nubosidad para obtener imágenes específicas. Utilizando Python y la librería pandas, se realizaron filtros según la fecha y el porcentaje de nubosidad, asegurando la calidad de los datos seleccionados para el análisis.

Análisis de imágenes con bandas específicas

Se llevaron a cabo análisis visuales de las imágenes utilizando combinaciones de bandas específicas. Se utilizaron las librerías ‘rasterio’ y ‘GDAL’ en Python para trabajar con las imágenes procesadas y crear combinaciones de bandas adecuadas para la delimitación de incendios.

4. Pipeline - Diagrama de flujo

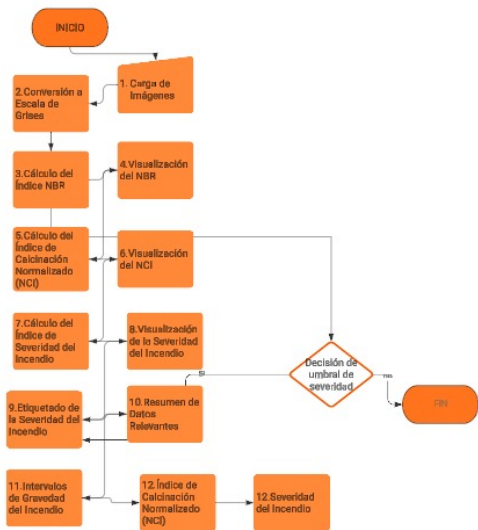


Figure 3: Diagrama de Flujo Procesamiento Imágenes Landsat 8

5. Análisis del pipeline y Procesamiento de Imágenes de los Cerros Orientales de Bogotá Landsat 8:

5.1. Carga de Imágenes:

Para la adquisición de imágenes satelitales, se utilizó el sistema Landsat 8, una plataforma espacial que proporciona imágenes de alta resolución de la superficie terrestre. Se cargaron dos imágenes capturadas por Landsat 8: una tomada antes del incendio y otra tomada después del mismo. Estas

imágenes ofrecen una perspectiva detallada de la zona de estudio, permitiendo un análisis comparativo de la cobertura vegetal antes y después del evento incendiario.



Figure 4: Carga de Imágenes de los Cerros Orientales, Mirador de la Virgen(9).

5.2. Conversión a Escala de Grises:

Después de obtener las imágenes, se convirtieron a escala de grises para simplificar el análisis y resaltar las diferencias en la vegetación antes y después del incendio. Esto facilita la detección de cambios en la cobertura vegetal.



Figure 5: Carga de Imágenes de los Cerros Orientales, Mirador de la Virgen(9).

5.3. Detección de Bordes con Filtro Canny

Aplicar la función “apply-canny-edge-detection” para resaltar los bordes en las imágenes pre y post incendio ayuda a identificar los cambios en la estructura del terreno y la vegetación. Los bordes permiten detectar claramente las áreas afectadas por el fuego, como la pérdida de vegetación y los cambios en las características del suelo.



Figure 6: Aplicación del Filtro Canny para Detección de Bordes(9).

En el contexto de nuestro proyecto, esta información es crucial para evaluar el impacto de los incendios en los Cerros Orientales, especialmente en el mirador de la Virgen. Facilita la

planificación de estrategias de recuperación y conservación, y proporciona datos precisos para las autoridades responsables de la gestión de desastres y la preservación ambiental.

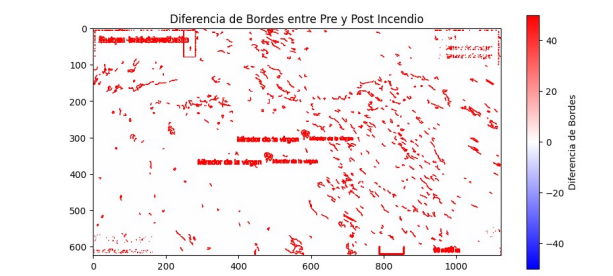


Figure 7: Diferencia de bordes aplicando canny(9).

5.4. Cálculo del Índice NBR:

El Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NBR) se calcula a partir de las imágenes antes y después del incendio. Este índice se utiliza para evaluar los cambios en la vegetación causados por el incendio, proporcionando información sobre la gravedad del daño.

5.5. Visualización del NBR:

Después de calcular el NBR, se visualiza para observar las diferencias en la vegetación afectada por el incendio. Esto ayuda a identificar las áreas más afectadas y a comprender mejor la extensión del daño.

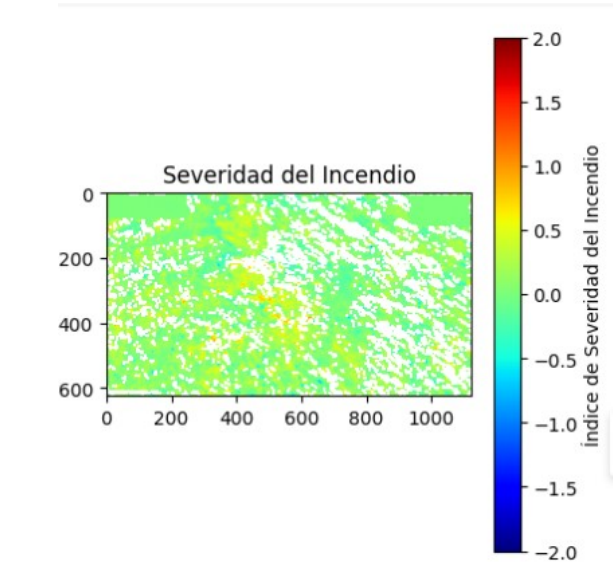


Figure 8: Cálculo del NBR mostrando cambios en Vegetación

5.6. Cálculo del Índice de Calcinación Normalizado (NCI):

El Índice de Calcinación Normalizado (NCI) se calcula para evaluar las zonas afectadas por el fuego. Se utiliza para identificar las áreas quemadas y se calcula a partir de las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo de onda corta (SWIR).

5.7. Visualización del NCI:

Después de calcular el NCI, se visualiza para identificar las áreas quemadas en la imagen después del incendio. Esto ayuda a comprender la extensión del fuego y a evaluar su impacto en el área de estudio.

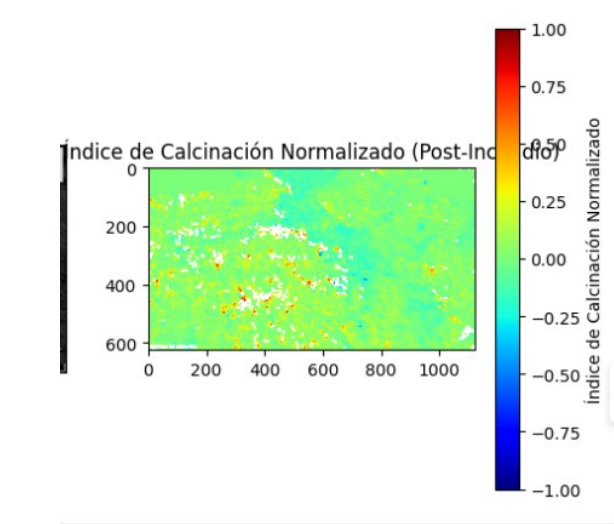


Figure 9: Cálculo del Índice de Calcinación

5.8. Cálculo del Índice de Severidad del Incendio:

Este índice se calcula a partir de la diferencia entre el NBR antes y después del incendio. Proporciona una medida de la gravedad del incendio en cada ubicación y ayuda a identificar las áreas más afectadas.

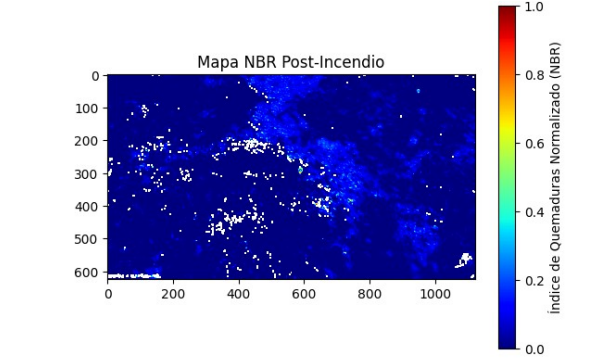


Figure 10: Cálculo del Índice de Severidad

5.9. Visualización de la Severidad del Incendio:

Después de calcular el índice de severidad, se visualiza para identificar las áreas más afectadas por el incendio. Esto ayuda a priorizar las acciones de mitigación y recuperación en esas áreas.

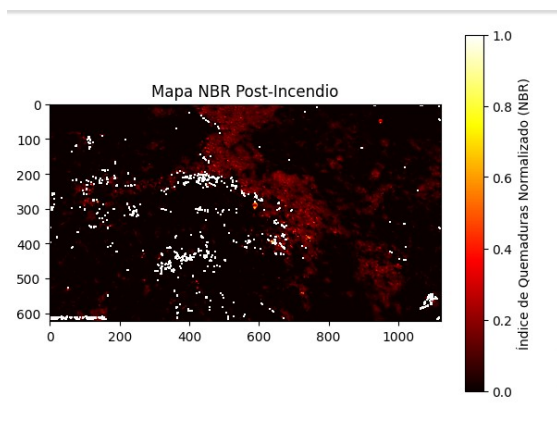


Figure 11: Cálculo del Índice de Severidad

5.10. Etiquetado de la Severidad del Incendio:

Se etiqueta el índice de severidad según intervalos de gravedad para proporcionar una interpretación más clara de la severidad del incendio en cada área. Esto ayuda a clasificar el nivel de daño en diferentes partes del área de estudio.

5.11. Cuantificación del Área

la cuantificación del área quemada mediante la comparación de imágenes en escala de grises antes y después del incendio. Se calcula la diferencia entre estas imágenes y se aplica un umbral para identificar las áreas afectadas. Luego, se determina el número de píxeles quemados y se convierte esta medida a metros cuadrados y hectáreas. Este proceso proporciona una estimación cuantitativa del impacto del incendio en términos de la extensión de la superficie afectada, lo que es crucial para evaluar la magnitud y la gravedad del evento.

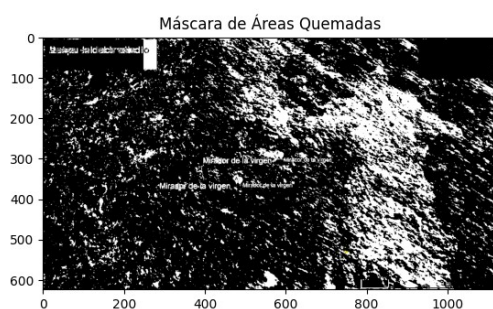


Figure 12: Máscara de áreas quemadas

La máscara de áreas quemadas se crea aplicando un umbral a la diferencia entre las imágenes en escala de grises antes y después del incendio. Esta máscara resalta las regiones donde se detectan cambios significativos en la intensidad de los píxeles, lo que sugiere la presencia de áreas quemadas.

5.12. Resumen de Datos Relevantes:

Se presenta un resumen de los datos relevantes del incendio, incluyendo el número total de píxeles analizados, el número de píxeles con daño en la vegetación y el porcentaje de daño en la

vegetación. Esto proporciona una visión general de la magnitud del incendio y su impacto en el entorno.

5.13. Intervalos de Gravedad del Incendio:

Se imprimen los intervalos de gravedad del incendio basados en el NBR, junto con sus etiquetas correspondientes. Esto ayuda a categorizar la severidad del incendio y a identificar las áreas más críticas.

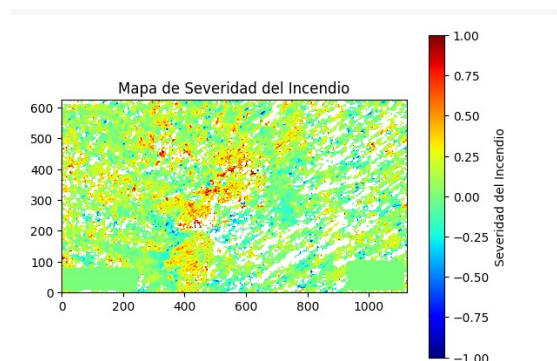


Figure 13: Cálculo del Índice de Severidad, Intervalos

5.14. Severidad del Incendio:

Obtuvimos una descripción exhaustiva de la severidad del incendio, profundizando en cómo se interpretan los valores del índice de severidad del incendio para comprender mejor la gravedad del daño causado por el incendio y su impacto en el área de estudio. La evaluación de la severidad del incendio es crucial para determinar la extensión de los efectos sobre la vegetación y el terreno circundante. Además de proporcionar una visión detallada de los daños, esta sección también aborda la importancia de estas mediciones para la planificación de la restauración y la gestión del paisaje post-incendio. Mediante la interpretación de los resultados del índice de severidad, se pueden identificar áreas prioritarias para la rehabilitación y establecer estrategias de mitigación para reducir el impacto futuro de incendios similares. Este análisis profundo de la severidad del incendio es fundamental para informar de manera efectiva las decisiones de gestión y conservación del ecosistema afectado.

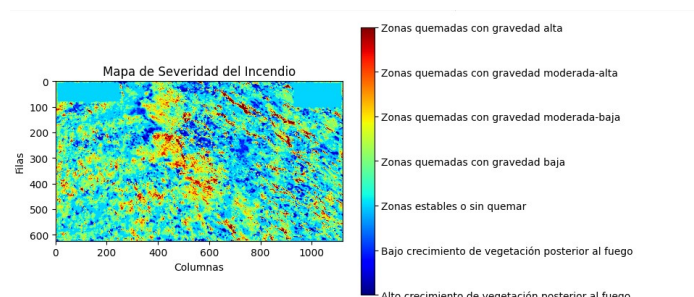


Figure 14: Mapa severidad total del incendio

6. Resultados Obtenidos:

Durante el análisis de las imágenes satelitales antes y después del incendio en los Cerros Orientales de Bogotá, se han identificado cambios significativos en la cobertura vegetal. La utilización de índices de vegetación como el NDVI y el NBR ha permitido una evaluación objetiva de la salud y la severidad del incendio en diferentes áreas, revelando marcadas variaciones. Estos índices han sido fundamentales para identificar con precisión zonas de alta y baja severidad.

Además, mediante algoritmos avanzados, se logró la identificación y mapeo de las áreas quemadas, lo que proporcionó una comprensión detallada de la extensión geográfica del incendio. Sin embargo, es importante destacar otros hallazgos clave, como el resumen del incendio, que revela datos significativos sobre la magnitud del evento y su impacto en la vegetación circundante.

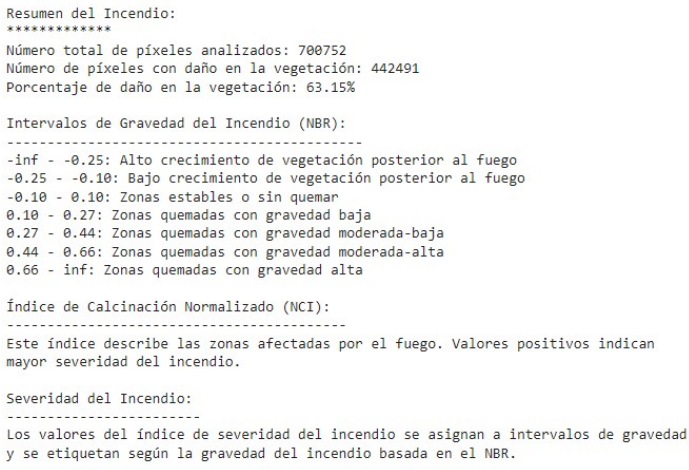


Figure 15: Resumen total del incendio

El análisis del resumen del incendio reveló que del total de píxeles analizados (700.752), aproximadamente el 63.15 por ciento presentaba daños en la vegetación, lo que subraya la magnitud de los efectos del incendio en el área de estudio. Los intervalos de gravedad del incendio, determinados a través del NBR, proporcionaron una clasificación detallada de las zonas afectadas, desde áreas con alto crecimiento de vegetación posterior al fuego hasta zonas con gravedad alta de quemaduras.

El Índice de Calcinación Normalizado (NCI) brindó información valiosa sobre las zonas afectadas por el fuego, con valores positivos indicando una mayor severidad del incendio. Esta amplia gama de datos permite una comprensión más completa de la severidad y el alcance del incendio en los Cerros Orientales de Bogotá, lo que es fundamental para informar futuras estrategias de gestión y conservación del ecosistema afectado.

7. Comparación con Otros Métodos:

En el estudio longitudinal del efecto de los incendios forestales en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá, se empleó un enfoque exhaustivo que involucró análisis

longitudinal desde el estado previo a los incendios hasta su extinción, utilizando imágenes satelitales. Este enfoque permitió comprender el impacto del fuego en la vegetación a lo largo del tiempo y proporcionó información valiosa para la gestión y prevención de incendios, así como para la formulación de estrategias de conservación y restauración de los ecosistemas naturales.

El método propuesto en este estudio se distingue de otros métodos tradicionales de análisis de incendios forestales, como el método de análisis manual basado en inspecciones terrestres y muestreo, por varias razones significativas. En primer lugar, ofrece una mayor calidad la evaluación de la extensión geográfica del incendio, identificando zonas de alta y baja severidad con precisión gracias a la combinación de herramientas de procesamiento de imágenes y análisis geoespacial. Esta capacidad proporciona una comprensión detallada de la dinámica del fuego en el tiempo y el espacio.

8. Conclusión

En conclusión este estudio longitudinal sobre los efectos de los incendios forestales en la cobertura vegetal de los Cerros Orientales de Bogotá en 2024 representa un esfuerzo exhaustivo y meticuloso que emplea imágenes satelitales para entender el impacto del fuego en la vegetación a lo largo del tiempo. A lo largo de nuestra investigación, hemos identificado varios puntos clave que destacan la importancia y la eficacia de nuestra metodología:

En primer lugar, el desarrollo de un sistema automatizado utilizando herramientas de procesamiento de imágenes como OpenCV, Scikit-image, PyProj, Rasterio y SciPy ha sido fundamental. Estas herramientas son ampliamente reconocidas y utilizadas en el campo del procesamiento de imágenes, permitiéndonos desde la corrección y análisis hasta la visualización de datos de manera eficiente y precisa.

En segundo lugar, la aplicación del Índice de Severidad del Fuego (NBR) ha sido crucial para evaluar la severidad y extensión de los incendios en las imágenes satelitales. Este índice proporciona una medida objetiva y confiable para la detección y evaluación de incendios forestales en imágenes de satélite.

Nuestro enfoque no se limitó a un análisis estático; seguimos el proceso desde el estado previo a los incendios hasta su extinción, lo que nos permitió comprender cómo evolucionan los incendios y su impacto en la vegetación a lo largo del tiempo. Esta perspectiva longitudinal ha enriquecido nuestra comprensión de los efectos de los incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá.

Nuestra metodología integral, que incluyó la adquisición de datos satelitales, procesamiento de imágenes y análisis geoespacial, demuestra un enfoque completo y sistemático para comprender los efectos de los incendios forestales. Este enfoque nos permitió obtener una visión holística de la dinámica de los incendios y sus consecuencias en la vegetación.

El uso de Python para el procesamiento de imágenes ha sido fundamental en todo el proceso, desde la búsqueda y descarga de imágenes hasta la detección de bordes y el cálculo de índices

de vegetación. La versatilidad y la amplia disponibilidad de bibliotecas en Python han facilitado enormemente nuestro trabajo en el campo del procesamiento de imágenes; estos hallazgos subrayan la importancia de emplear enfoques integrados y herramientas avanzadas para comprender y abordar los efectos de los incendios forestales en los ecosistemas, destacando la necesidad continua de innovación y colaboración en este campo crucial para la conservación ambiental.

References

- [1] C. N. N. Español, A. Ledesma, A. Oraa, J. Quadrana, I. P. Sarmenti, and F. Pérez, "Impactantes imágenes de los incendios forestales que arrasan en Colombia," *CNN*, enero 2024.
- [2] M. Cochrane, "Fire science for rainforests," *Nature*, vol. 421, pp. 913–919, 2003. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/nature01437>
- [3] F. Avelino, J. Collatz, L. Giglio, E. Kasischke, O. Seth, K. Prasad, J. Randerson, and G. van der Werf, "Continental-scale partitioning of fire emissions during the 1997 to 2001 el niño/la niña period," *Science*, vol. 303, pp. 73–76, 2004. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1126/science.1090753>
- [4] L. Calvo, E. Calabuig, V. Fernández, E. Marcos, C. Quintano, and L. Valbuena, "Evaluation of composite burn index and land surface temperature for assessing soil burns severity in mediterranean fire-prone pine ecosystems," *Forests*, pp. 1–16, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/f9080494>
- [5] R. Martínez Domínguez and D. A. Rodríguez Trejo, "Los incendios forestales en México y América Central," 2008. [Online]. Available: https://www.fs.fed.us/pw_gtr208es/pw_gtr208es767-780_dominquez.pdf
- [6] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), "Estadísticas de incendios en Colombia," 2016.
- [7] Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, "Caracterización general del escenario de riesgo por incendio forestal," 2019. [Online]. Available: <https://www.idiger.gov.co/rincendiof>
- [8] C. E. Torres Becerra, "Documento técnico de soporte amenaza por incendios forestales," 2019, en línea. [Online]. Available: http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO_TECNICO_DE_SOPORTE_14-06-19/DT04_Anejo14_MapaDeAmenaza_porIncendiosForestales.pdf
- [9] USGS, "Landsat 8." [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>