



# **UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

**ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES**

**MASTER UNIVERSITARIO EN GEOTECNOLOGÍA Y DESARROLLO DE  
PROYECTOS SIG**

**DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS**

**AREA DE INGENIERÍA CARTOGRÁFICA, GEODESIA Y  
FOTOGRAMETRÍA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Aplicación de técnicas de teledetección al análisis de  
severidad y regeneración de un incendio forestal**

**AUTOR: EVA CABAL VILLANUEVA**

**TUTOR: CRISTINA ALLENDE PRIETO**

**JULIO DE 2023**

## Tabla de contenidos

<b>TRABAJO FIN DE MÁSTER</b> .....	1
1. Introducción: .....	2
2. Justificación y objetivos:.....	4
3. Zona de estudio: .....	5
4. Marco teórico: .....	7
4.1 Conceptos básicos: .....	7
4.1.1 Severidad:.....	7
4.1.2 Teledetección: .....	7
4.1.3 Tipos de sensores y sus características:.....	7
4.1.4 Características de los sensores: .....	8
4.1.5 Satélite Sentinel-2:.....	10
4.1.6 Índices espectrales: .....	11
5. Metodología:.....	13
5.1 Selección y descarga de las imágenes:.....	13
5.2 Procesamiento de las imágenes.....	15
5.2.1 Cálculo de Índices:.....	16
5.2.2 Delimitación del área quemada.....	17
5.2.3 Delimitación de la severidad del incendio.....	18
5.2.4 Generación del polígono del Incendio y máscaras de severidad:.....	19
5.2.5 Cálculo del NDVI en la zona del incendio .....	22
5.3 Usos del suelo en la zona afectada.....	31
6. Resultados y discusion .....	32
6.1 Resultados de la aplicación del dNBR.....	32
6.2 Resultados de la aplicación del NDVI.....	35
7. Conclusiones .....	39
8. Bibliografía.....	40

## Índice de figuras

Figura 1 Histórico de superficies arboladas y no arboladas quemadas en Asturias. Fuente: (SADEI, 2023).....	3
Figura 2 Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia. ....	6
Figura 3 Visualización interfaz Copernicus con un polígono sobre la zona afectada...	15
Figura 4 Remuestreo de una imagen.....	16
Figura 5 Cálculo dNBR. ....	17
Figura 6 Aplicación del umbral del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression para identificar la zona con severidad moderada-alta.....	18
Figura 7 Resultado aplicación de los umbrales del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression.....	19
Figura 8 Mapa final resultante de la aplicación de los umbrales del dNBR. ....	19
Figura 9 Polígono del incendio.....	20
Figura 10 Aplicación de umbral del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression para identificar la zona con severidad moderada-alta en la zona de estudio. ....	21
Figura 11 Resultado aplicación de los umbrales del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression.....	21
Figura 12 Máscaras aplicadas a la zona del incendio. ....	22
Figura 13 Zona de vegetación densa elegida, a la izquierda NDVI, a la derecha imagen en RGB.....	23
Figura 14 Zona de vegetación menos densa elegida, a la izquierda NDVI, a la derecha imagen en RGB. ....	24
Figura 15 Zona de suelo desnudo elegida, a la izquierda NDVI, a la derecha imagen en RGB.....	24
Figura 16 Zona de agua elegida, a la izquierda NDVI, a la derecha imagen en RGB..	25
Figura 17 Aplicación del umbral del índice NDVI a través de New Logical Band Math Expression para identificar la zona con vegetación densa. ....	27
Figura 18 Resultado aplicación de los umbrales del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression.....	27
Figura 19 Mapa final resultante de la aplicación de los umbrales del NDVI. ....	28
Figura 20 Aplicación de umbral del índice NDVI a través de New Logical Band Math Expression para identificar la zona con vegetación densa en la zona de estudio.....	29
Figura 21 Resultado aplicación de los umbrales del índice NDVI a través de New Logical Band Math Expression.....	29
Figura 22 Máscaras aplicadas a la zona del incendio después del incidente. ....	30

Figura 23 Máscaras aplicadas a la zona del incendio en la imagen previa. ....	30
Figura 24 Gráfica de distribución de los usos del suelo en hectáreas según códigos del SIOSE. Fuente: Elaboración propia .....	31
Figura 25 Estadísticos de SNAP resultado dNBR zona afectada por cada categoría de severidad.....	33
Figura 26 Gráfico por sectores de la representación del grado de calcinación en la zona afectada en hectáreas. ....	34
Figura 27 Estadísticos de SNAP resultado dNBR zona afectada.....	35
Figura 28 Estadísticos de SNAP imagen pre-incendio resultado NDVI zona afectada por cada umbral establecido. ....	36
Figura 29 Estadísticos de SNAP imagen post-incendio resultado NDVI zona afectada por cada umbral establecido. ....	37
Figura 30 Distribución de los valores de píxel por cada umbral de vegetación del índice NDVI. Fuente: Elaboración propia.....	38

## Índice de tablas

Tabla 1 Bandas espectrales del Sentinel 2. Fuente: IGN, 2018 .....	10
Tabla 2 Grados de severidad del dNBR. Fuente: Key & Benson, 2006.....	12
Tabla 3 Imágenes descargadas para el análisis del incendio. Fuente: Elaboración propia .....	14
Tabla 4 Valores de referencia del NDVI. Fuente: Elaboración propia.....	25
Tabla 5 Umbrales para el índice NDVI. Fuente: De Santis & Chuvieco 2007. ....	26
Tabla 6 Umbrales establecidos para el cálculo del NDVI. Fuente: Elaboración propia. ....	26
Tabla 7 Códigos de Usos del suelo y listado. Fuente: Elaboración propia. ....	32
Tabla 8 Cálculo de superficie afectada a partir de los valores del dNBR. Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 9 N.º de píxeles bajo cada umbral a partir de los valores del NDVI a lo largo de los meses de estudio. Fuente: Elaboración propia .....	37
Tabla 10 Hectáreas bajo cada umbral a partir de los valores del NDVI a lo largo de los meses de estudio. Fuente: Elaboración propia. ....	38

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Cálculo del NBR donde NIR (B8) y SWIR (B12) para Sentinel 2. (Potter, 2014) .....	11
Ecuación 2 Cálculo del dNBR donde NBR <sub>post</sub> es el índice después del incendio y NBR <sub>pre</sub> es el de antes del incendio.(Potter, 2014) .....	12
Ecuación 3 Cálculo del NDVI donde NIR es el infrarrojo cercano (B8) y R es el rojo (B4) para Sentinel 2. (Rouse et al, 1974).....	12
Ecuación 4 Cálculo del NBR.....	16
Ecuación 5 Cálculo del NDVI.....	16
Ecuación 6 Cálculo del dNBR.....	17

## RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Máster, abordamos el análisis de un incendio forestal que tuvo lugar en Asturias en enero de 2023, el cual afectó a casi 170 hectáreas de un Espacio Natural Protegido. Con el fin de llevar a cabo este estudio, se descargaron imágenes anteriores y posteriores al incendio del satélite Sentinel-2. Utilizando el software SNAP y los índices espectrales NDVI, NBR y dNBR, se procedió a delimitar el perímetro del incendio y estudiar su severidad.

A través del análisis estadístico de los datos obtenidos, se llegó a la conclusión de que esta metodología resulta altamente eficaz para el estudio de incendios. Además, se pudo observar una regeneración vegetal rápida, predominando especies de matorral y pastizal. A pesar de que el tamaño del incendio no fue considerable, se determinó una severidad elevada.

Estos hallazgos proporcionan una base sólida para comprender y evaluar los impactos de los incendios forestales, así como para implementar estrategias adecuadas de gestión y conservación en áreas afectadas por eventos similares.

## ABSTRACT

In this Master's Thesis, we address the analysis of a forest fire that took place in Asturias in January 2023, which affected nearly 170 hectares of a Protected Natural Area. In order to conduct this study, pre-fire and post-fire images were downloaded from the Sentinel-2 satellite. Using the SNAP software and the spectral indices NDVI, NBR, and dNBR, the fire perimeter was delineated and its severity was studied.

Through statistical analysis of the obtained data, it was concluded that this methodology proves highly effective for the study of wildfires. Additionally, rapid vegetation regeneration was observed, with shrub and grassland species predominating. Although the size of the fire was not considerable, a high severity was determined.

These findings provide a solid foundation for understanding and evaluating the impacts of forest fires, as well as for implementing appropriate management and conservation strategies in areas affected by similar events.

## 1. Introducción:

Los incendios forestales constituyen un problema para los bosques de Asturias, por lo general, son incendios de pequeña escala bien distribuidos por todo el territorio, pero debido a la geografía de la región, en ocasiones aparecen en áreas de difícil acceso o en zonas con alguna figura de protección, pudiendo llegar a arrasar varias hectáreas y generando unas repercusiones sobre el ecosistema y biodiversidad notables. (Recondo & Wozniak, 2002)

Una tercera parte de la superficie de Asturias son áreas protegidas, dentro de estas se encuentran 5 grandes parques naturales, todos ellos distribuidos a lo largo y ancho de la región cantábrica y con un enfoque destacado en la conservación medioambiental. Estos espacios naturales albergan una gran diversidad de especies de flora y fauna con algunas de ellas emblemáticas cuya presencia hace que sean unas áreas de vital importancia para su protección y preservación.(Parques Naturales de Asturias,2023.)

Los incendios forestales son por tanto considerados como un factor crítico de perturbación en los ecosistemas a nivel global. Los efectos que generan en el suelo y las plantas están influenciados por la frecuencia, intensidad y duración del fuego, así como por la capacidad de recuperación y resistencia de las especies vegetales presentes en el área afectada (Santis & Chuvieco, 2007). En la Figura 1 se refleja la evolución anual desde el año 2000 hasta el 2022 de superficie quemada en Asturias, haciendo diferencias entre si se trata de una zona arbolada o no.

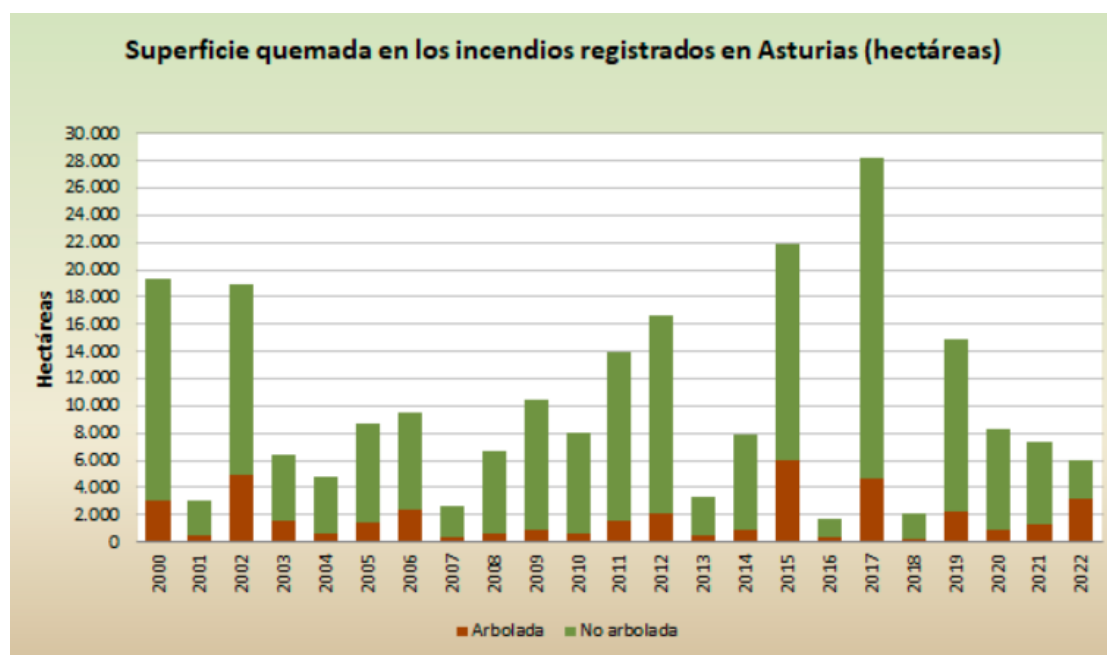


Figura 1 Histórico de superficies arboladas y no arboladas quemadas en Asturias. Fuente: (SADEI, 2023).

Los factores descritos anteriormente generan que su función ecológica como regulador de procesos haya sido esencial a lo largo de la historia de la Tierra, especialmente cuando surge de forma natural. En los ecosistemas forestales, los incendios que afectan a esta vegetación son cruciales para los procesos de sucesión ecológica y el mantenimiento de la estabilidad interna. No obstante, esta estabilidad se ve cada vez más afectada debido a la creciente intervención humana y a la explotación constante de los recursos naturales renovables. (Castillo et al., 2003)

Otro factor que afecta directamente a la estabilidad de los ecosistemas asolados por el fuego es la severidad de la quema. Esta severidad aúna los efectos en el suelo y las especies vegetales cuando el fuego ya se ha extinguido, es decir, en las fases posteriores al incendio. Este factor definido por diferentes variables como son la profundidad del carbón, el porcentaje de mortalidad del área basal de los árboles, la disminución de la cobertura vegetal, la volatilización o transformación de los componentes del suelo en formas minerales solubles, la proporción de ramas finas que quedan en la cubierta arbórea y el grado de consumo y mortalidad de la cubierta arbórea. (Santis & Chuvieco, 2007). Estos factores permiten evaluar in-situ el impacto del fuego tanto en la estructura, como en la composición y funcionamiento de los ecosistemas afectados y proporcionan información de relevancia. Por otro lado, es importante destacar los significativos avances en telecomunicación y computación que han dado lugar al desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la teledetección. Estas tecnologías permiten acceder y gestionar una amplia variedad de datos geoespaciales, desempeñando un papel fundamental en la administración,



análisis y representación cartográfica de la información. Su función principal radica en conectar datos con mapas, integrando información de ubicación con datos descriptivos relevantes y brindando herramientas avanzadas para el análisis espacial. Esto permite entre otras cosas, identificar patrones o tendencias en los datos ayudando a tomar decisiones o medidas adecuadas (ESRI, 2023) Todo lo anterior implica que, para realizar un estudio exhaustivo de los incendios y sus efectos en un territorio, es necesario contar con una cartografía precisa que muestre la ubicación exacta de las áreas quemadas, su tamaño y la vegetación afectada. Una forma de obtener esta información es mediante el uso de imágenes de satélite. Estas imágenes proporcionan una visión global y detallada de los incendios pasados, lo que permite un análisis espacial y temporal para comprender su impacto y tomar medidas de prevención y gestión adecuadas. (Recondo & Wozniak, 2002)

## **2. Justificación y objetivos:**

Los incendios forestales se definen como la propagación incontrolada del fuego, que consume la vegetación en áreas rurales con aptitud forestal o en aquellas que, sin tener esa clasificación, desempeñan una función ambiental. (Torres Becerra, 2019)

El fuego, por tanto, es un disturbio de origen natural o antrópico que juega un papel importante en la dinámica y evolución de los ecosistemas, debido a que afecta y altera a las especies que los habitan a nivel de composición, de dinámica y estructura y a todos los procesos que dentro de los ecosistemas ocurren. (Bond & Keeley, 2005)

Los incendios forestales representan un desafío para la preservación de los bosques, ya que tienen un impacto negativo en la biodiversidad, provocan deforestación y plantean una amenaza para la supervivencia de especies no adaptadas a los incendios (Parra Lara et al., 2011). Estos eventos también afectan directamente a los ecosistemas forestales, generando cambios en los bosques que pueden ser analizados a través del cálculo de diversos índices satelitales obtenidos de imágenes, (Vales et al., 2020). Estos índices permiten examinar los patrones espaciales de la severidad del fuego, abarcando una amplia superficie de suelo y facilitando la comparación entre regiones o diferentes áreas, además de analizar aspectos como la regeneración de la vegetación, la recuperación del suelo y la dinámica de los ecosistemas afectados.

La información obtenida mediante los productos del Sentinel-2 es de gran utilidad para el seguimiento del estado de la vegetación con posterioridad al incendio y más aún, cuando las zonas son poco accesibles, abruptas o con una alta frondosidad. Ayudan a

obtener una visión integral y actualizada de los efectos del fuego en el paisaje repercutiendo en la toma de decisiones y la implementación de medidas de gestión adecuadas por parte de las administraciones.

En el presente trabajo se utilizarán los datos del sensor Sentinel-2 para perimetrar y analizar la severidad y evolución a lo largo de los meses de un incendio ocurrido el 1 de enero de 2022 en el municipio asturiano de Cangas del Narcea, dentro del Parque Natural de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias quemando más de 170 ha en dos días.

Para ello, se realizará un análisis exhaustivo de la severidad y alcance de la afectación causada por el incendio registrado a principios de año de 2022 dentro del importante Parque Natural asturiano, así como su recuperación a lo largo de los siguientes meses, siendo esto por tanto su objetivo principal. Se llevará a cabo mediante el uso de índices satelitales derivados, por tanto, de los productos del Sentinel-2.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Delimitación del área quemada y establecimiento de la severidad del incendio a través de un índice espectral específico que resalta las zonas que han sufrido un incendio.
- Generación de la cartografía del incendio.
- Estudiar la evolución de la vegetación en el área quemada gracias a la respuesta espectral de la vegetación a partir del cálculo de un índice espectral específico que resalta las zonas con actividad fotosintética, para ver los cambios a través de los meses.

### **3. Zona de estudio:**

El 01 de enero de 2022, recién comenzado el año, se desencadenó un incendio en el municipio de Cangas del Narcea, en la provincia de Asturias, más concretamente dentro del Parque Natural de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias, a poco más de 11 kilómetros de la Reserva Natural de Muniellos y muy cerca de la frontera con la provincia de León (Vega, 2022). En la Figura 2 se puede ver su ubicación exacta dentro del municipio de Cangas del Narcea y del Parque Natural y en el mapa detalle su ubicación más general en la zona Noroeste de la península.

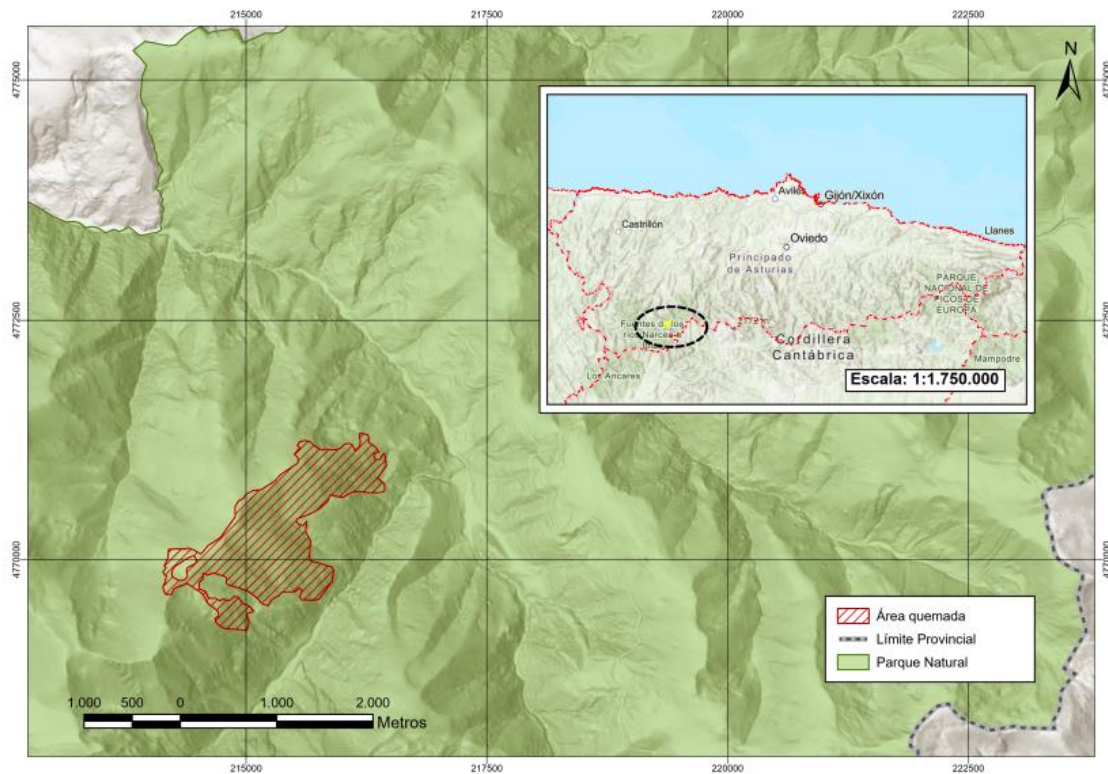


Figura 2 Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

El Parque Natural de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias, con una extensión de 555 kilómetros cuadrados, cuenta con una amplia biodiversidad dentro de la zona Cantábrica. Se encuentra ubicado en la zona suroccidental de Asturias, limitando con la provincia de León y rodeado por la cordillera Cantábrica. Destaca por su paisaje montañoso que abarca desde valles fluviales hasta cumbres por encima de los 1900 metros de altitud.

Uno de los atractivos más destacados es su amplia diversidad biológica, cuenta con grandes bosques de hayas, robles, acebos, abedules y avellanos y con especies de fauna tan importantes como el oso pardo, el urogallo cantábrico y el lobo ibérico que otorgan al parque una riqueza natural excepcional. Además, el Parque Natural de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias cuenta con figuras de protección como Parque Natural, Reserva de la Biosfera y está incluido en la Red Natura 2000. (Turismo Asturias, 2023)

## **4. Marco teórico:**

### **4.1 Conceptos básicos:**

En los siguientes apartados se presentan aquellos conceptos teóricos que se consideran clave y esenciales para brindar un contexto a los problemas tratados en el presente trabajo. Estos conceptos son fundamentales, ya que proporcionan una base de conocimientos previos sobre los incendios forestales, la severidad de los incendios forestales y la teledetección entre otros.

#### **4.1.1 Severidad:**

Generalmente se utiliza este término para hacer referencia al grado de daño o alteración ocasionado por el fuego en el ecosistema en su totalidad o en alguna de sus características particulares. A su vez, se considera como un indicador del impacto ambiental del fuego y un factor clave para comprender la respuesta del ecosistema. (Key & Benson, 2006)

#### **4.1.2 Teledetección:**

Según el Instituto Geográfico Nacional (IGN), la teledetección es una técnica que consiste en la obtención de datos de la superficie terrestre utilizando sensores instalados en plataformas espaciales. Durante esta interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, se generan datos que luego son procesados para obtener información interpretable sobre la Tierra. Esta técnica permite obtener datos sobre características físicas, químicas y biológicas de la superficie terrestre, como son la vegetación, los cuerpos de agua, la cobertura del suelo y otros fenómenos ambientales. Esta técnica se utiliza como un complemento en investigaciones científicas en diferentes campos, especialmente en el estudio del medio ambiente. (IGN, 2023.)

#### **4.1.3 Tipos de sensores y sus características:**

Estos sensores, como bien describe Emilio Chuvieco en su libro Fundamentos de Teledetección Espacial de 1995, pueden ser clasificados en dos categorías principales: activos y pasivos. (Emilio Chuvieco, 1995)

#### A) Sensores activos:

Los sensores activos son aquellos capaces de generar su propia radiación y recibir su reflexión a través de una superficie. Estos sensores recogen la energía dispersada, la amplifican y la analizan con el fin de determinar la ubicación y las propiedades de los objetos. Ejemplos de sensores activos incluyen sistemas de radar y LIDAR, ya que constan de un emisor, un receptor y una antena de emisión/recepción.

#### B) Sensores pasivos:

Por otro lado, la función de los sensores pasivos es capturar la radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda, como la luz visible, el infrarrojo y el ultravioleta, reflejada o emitida de forma natural por las superficies y objetos. La misión de estos instrumentos es la observación y dependen principalmente de la energía solar como fuente de radiación para iluminar las superficies y objetos analizados.

En el ámbito de la teledetección pasiva se utilizan sensores multiespectrales o hiperespectrales que captan la cantidad de radiación en diferentes bandas del espectro electromagnético. Los sensores multiespectrales capturan información en un reducido número de bandas espectrales, mientras que los sensores hiperespectrales abarcan cientos o incluso miles de bandas espectrales de todo el espectro electromagnético.

Estos sensores ofrecen la ventaja de permitir una interpretación sencilla de las imágenes, lo que resulta útil para la monitorización de recursos naturales y áreas forestales especialmente en situaciones de incendios forestales, así como para el seguimiento a largo plazo de cambios en los bosques a lo largo de varios años o décadas. Algunos sensores pasivos se incluyen las plataformas Sentinel 2, Landsat y MODIS.

#### 4.1.4 Características de los sensores:

En el campo de la teledetección, las características de los sensores juegan un papel fundamental y su comprensión es esencial para su adecuado uso. Entre las características más importantes se encuentran la resolución espacial, la resolución espectral, la resolución radiométrica y la resolución temporal. Estos aspectos son clave para garantizar un uso eficiente de los sensores.

#### A) Resolución espacial.

La resolución espacial se utiliza para referirse al tamaño mínimo de un objeto que puede ser identificado en una imagen. Esta medida determina el tamaño del píxel en el terreno, que representa el tamaño mínimo de información en la imagen capturada.

La resolución espacial de un sensor óptico-electrónico está influenciada por diversos factores, como son la altura orbital, la velocidad de exploración y el número de detectores utilizados. (Emilio Chuvieco, 1995)

#### B) Resolución espectral.

Este término se refiere al número y ancho de las bandas espectrales en las cuales un sensor captura la energía reflejada desde la superficie terrestre.

La capacidad de un sensor para distinguir diferentes tipos de coberturas en la superficie terrestre se incrementa a medida que su resolución espectral es mayor. Esto se logra mediante la utilización de un mayor número de bandas espectrales y un ancho de banda más estrecho. (Emilio Chuvieco, 1995)

#### C) Resolución radiométrica.

La resolución radiométrica, también denominada resolución dinámica, está relacionada con la capacidad del sensor para discernir las variaciones en la radiancia espectral que recibe. Esta resolución se expresa en términos del número de niveles de gris disponibles, siendo común que la mayoría de los sistemas proporcionen 256 niveles por píxel, lo cual corresponde a una representación de 8 bits. (Emilio Chuvieco, 1995)

#### D) Resolución temporal.

La resolución temporal se refiere a la frecuencia con la que el satélite atraviesa un punto determinado de la superficie terrestre. En otras palabras, indica el intervalo de tiempo que transcurre cuando el satélite vuelve a pasar por la misma zona de la Tierra. Esta resolución depende de las características orbitales como son la altura, velocidad e inclinación, así como del diseño del sensor, en particular del ángulo de observación y la apertura. (Emilio Chuvieco, 1995)

#### 4.1.5 Satélite Sentinel-2:

La misión Copernicus SENTINEL-2 está compuesta por dos satélites cuya función principal es monitorear las condiciones de la superficie terrestre. Gracias a su amplio ancho de franja de 290 km y su alto tiempo de revisita (10 días en el ecuador con un satélite y 5 días con dos satélites en condiciones sin nubes, lo que resulta en 2-3 días en latitudes medias), SENTINEL-2 facilita el seguimiento de los cambios en la superficie de la Tierra, obteniéndose una o dos imágenes por semana. (Sentinel-2 - Missions - Sentinel Online, 2015)

Se trata de un sensor pasivo que consta del instrumento Multi Spectral Instrument (MSI), el cual recopila información de la superficie terrestre utilizando 13 bandas espectrales distintas (consultar Tabla 1). Estas bandas presentan diversas resoluciones espaciales: cuatro bandas con una resolución de 10 metros, seis bandas con una resolución de 20 metros y tres bandas con una resolución de 60 metros. (ESA, 2015)

<b>Banda</b>	<b>Resolución Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolución Espacial (m)</b>
Banda 1	0.443 - 0.453	60
Banda 2	0.496 - 0.506	10
Banda 3	0.526 - 0.536	10
Banda 4	0.554 - 0.564	10
Banda 5	0.663 - 0.673	20
Banda 6	0.703 - 0.713	20
Banda 7	0.740 - 0.750	20
Banda 8	0.782 - 0.792	10
Banda 8A	0.864 - 0.874	20
Banda 9	0.935 - 0.945	60
Banda 10	1.373 - 1.393	60
Banda 11	1.598 - 1.618	20
Banda 12	2.183 - 2.203	20

*Tabla 1 Bandas espectrales del Sentinel 2. Fuente: IGN, 2018*

El satélite Sentinel-2A fue lanzado el 23 de junio de 2015, seguido por el lanzamiento del Sentinel-2B el 7 de marzo de 2017. Con ambos satélites operativos se logra una cobertura completa de la Tierra, lo que permite un seguimiento regular de los cambios y sucesos en nuestro entorno.

Esta misión tiene diversas aplicaciones, como el monitoreo de la vegetación, la detección de cambios en el uso del suelo, la gestión forestal, la evaluación de desastres

naturales y el control de la calidad del agua, entre otros ámbitos relacionados con la observación de la Tierra. (Delwart, 2015)

#### 4.1.6 Índices espectrales:

En ocasiones es necesario detectar aspectos específicos de la superficie terrestre y para ello se utilizan los índices espectrales, que aprovechan la información de las bandas de las imágenes para realizar operaciones entre los valores de los píxeles. Estos índices permiten identificar y analizar características de interés en la superficie de la Tierra de manera eficiente y precisa. Son herramientas fundamentales en teledetección para extraer información relevante de las imágenes capturadas por los sensores remotos.

##### A) NBR

El Normalized Burn Ratio o Índice normalizado de área quemada es un índice ampliamente utilizado para identificar las áreas quemadas, ya que tiene en cuenta el cambio significativo en la emisividad en las bandas de infrarrojo cercano (NIR), en el Sentinel- 2 es la banda 8 y de infrarrojo de onda corta (SWIR), siendo la banda 12, antes y después de los incendios. (Yixin Zhao et al., 2023)

Este cálculo se realiza utilizando las bandas NIR (infrarrojo cercano) y SWIR (infrarrojo de onda corta), y se basa en la diferencia y suma de estas bandas divididas entre sí.

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

*Ecuación 1 Cálculo del NBR donde NIR (B8) y SWIR (B12) para Sentinel 2. (Potter, 2014)*

Los incendios generalmente causan una disminución en la reflectancia en la región visible e infrarrojo cercano debido a la eliminación de la vegetación y la transformación del material vegetal en carbón vegetal. Sin embargo, la magnitud de esta disminución varía según el estado previo del fuego y la humedad de la vegetación. Mientras que la disminución en la reflectancia es consistente en el infrarrojo cercano, en la región visible se observan cambios más variables según la cobertura terrestre antes del incendio. (Fassnacht et al., 2021)



## B) dNBR

Derivado del índice anterior figura el dNBR (Diferencia Normalizada de Índice de Quemado), que aprovecha la respuesta opuesta en la reflectancia del infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta. Se calcula como la diferencia entre los valores del índice NBR antes y después del incendio. (Fassnacht et al., 2021)

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

*Ecuación 2 Cálculo del dNBR donde  $NBR_{post}$  es el índice después del incendio y  $NBR_{pre}$  es el de antes del incendio. (Potter, 2014)*

En la Tabla 2 se proponen las clases de severidad para los incendios forestales en función de los valores de reflectancia obtenidos tras el cálculo del dNBR, para una superficie. (Key & Benson, 2006)

GRADOS DE SEVERIDAD	
-1 a -0.25	Alto crecimiento de vegetación post incendio
-0.25 a -0.1	Bajo crecimiento de vegetación post incendio
-0.1 a 0.1	Zonas estables o sin quemar
0.1 a 0.27	Severidad del incendio baja
0.27 a 0.44	Severidad del incendio moderada-baja
0.44 a 0.66	Severidad del incendio moderada-alta
0.66 a 1.33	Severidad del incendio alta

*Tabla 2 Grados de severidad del dNBR. Fuente: Key & Benson, 2006.*

## C) NDVI

El NDVI o índice de vegetación de diferencia normalizada se calcula como la diferencia entre la intensidad de la radiación en las bandas de infrarrojo cercano (NIR) y rojo visible (RED), que son reflejadas por la vegetación, dividida por la suma de las mismas bandas (Rouse et al., 1974).

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

*Ecuación 3 Cálculo del NDVI donde NIR es el infrarrojo cercano (B8) y R es el rojo (B4) para Sentinel 2. (Rouse et al, 1974)*

Este índice proporciona una medida cuantitativa del vigor y la salud de la vegetación y se utiliza ampliamente en estudios relacionados con el monitoreo de la vegetación y el análisis de cambios en el uso del suelo.

## **5. Metodología:**

En este apartado se presentan los materiales y métodos utilizados en este estudio, los cuales son fundamentales para obtener los resultados deseados y alcanzar los objetivos establecidos como el localizar y delimitar el incendio objeto de este estudio utilizando imágenes previas y posteriores al mismo y analizando la evolución de su recuperación. Para lograr esto, el primer paso consiste en descargar las imágenes y calcular los índices NBR Y NDVI para delimitar las zonas quemadas para, posteriormente, analizar la evolución de la vegetación.

### **5.1 Selección y descarga de las imágenes:**

Para realizar el análisis del incendio se utilizarán imágenes capturadas justo antes y después del evento (Key & Benson, 2006). En concreto, se seleccionará una imagen previa al 01 de enero de 2022 (pre-incendio) y otra imagen posterior al 03 de enero de 2022 (post-incendio). Debido a la alta cantidad de incendios sucedidos durante esas fechas en la zona, sólo se conoce la fecha de inicio de este, por lo tanto, se ha elegido una imagen post-incendio lo suficientemente separada temporalmente para que arroje resultados objetivos.

Además, como figura en la Tabla 3, se descargaron imágenes de abril, julio, octubre del mismo año y enero de 2023 para evaluar la evolución de la recuperación de la vegetación, hasta un año después del incendio, todas con un porcentaje de nubes muy bajo.

Archivo	Fecha	Nivel de procesamiento
S2A_MSIL2A_20211230T112501_N0301_R037_T29TPH_20211230T142011	30-12-2021	L2A
S2B_MSIL2A_20220114T112329_N0301_R037_T29TPH_20220114T131543	14-01-2022	L2A
S2A_MSIL2A_20220409T112121_N0400_R037_T29TPH_20220409T152647	09-04-2022	L2A
S2A_MSIL2A_20220708T112131_N0400_R037_T29TPH_20220708T173530	08-07-2022	L2A
S2B_MSIL2A_20221001T112109_N0400_R037_T29TPH_20221001T140124	01-10-2022	L2A
S2A_MSIL2A_20230104T112451_N0509_R037_T29TPH_20230104T150901	04-01-2023	L2A

*Tabla 3 Imágenes descargadas para el análisis del incendio. Fuente: Elaboración propia*

Como se detalla en la Guía para usuarios del Sentinel-2 de la ESA (Agencia Espacial Europea), uno de los desafíos que surgen al trabajar con imágenes de teledetección es la necesidad de realizar una corrección atmosférica para convertir la radiancia espectral a reflectancia de la superficie, siendo este preprocesamiento uno de los pasos más críticos para obtener resultados precisos. Para llevar a cabo esto se contemplan dos tipos de productos del Sentinel-2. (Delwart, 2015)

El primero de ellos es aquel con un nivel de procesado 1C, estos tienen una transformación directa desde la radiancia hasta la reflectancia en el nivel TOA ("Top of atmosphere") o en el tope de la atmósfera. En otras palabras, los valores de los píxeles y la apariencia visual de las imágenes se ven afectados por la presencia de elementos atmosféricos.

Por otro lado, existen los productos 2A, que contienen la reflectancia BOA ("Bottom of atmosphere"), es decir, la reflectancia a nivel de la superficie y por tanto una corrección en la influencia de la presencia atmosférica. La forma de lograr este nivel de procesado donde se realizan ajustes en los valores de los píxeles para generar imágenes menos difusas es a través de una herramienta especializada o descargando las imágenes directamente en ese nivel de procesado.

En el caso de las imágenes utilizadas para el trabajo, se han descargado todas en un nivel de procesado 2A de forma gratuita a través de la plataforma Copernicus (Figura 3), gracias a que se conocía aproximadamente la ubicación del incendio se realizó un polígono sobre la zona afectada que se corresponde con la tesela TPH.

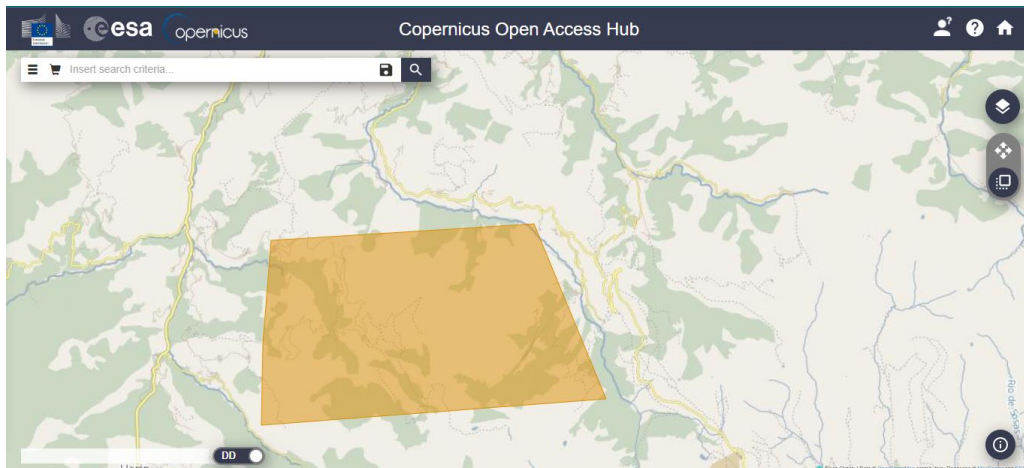


Figura 3 Visualización interfaz Copernicus con un polígono sobre la zona afectada.

## 5.2 Procesamiento de las imágenes

Durante todo el procesado de las imágenes se trabajó con el software libre desarrollado por la ESA, SNAP (Sentinel Application Platform), que es una herramienta de procesamiento de imágenes de teledetección que proporciona un entorno de trabajo completo para el tratamiento, análisis y visualización de datos de diversas misiones de satélites, incluido el Sentinel-2. (Delwart, 2015)

En primer lugar, se realizó para cada una de las imágenes un remuestreo a 20 metros a través de la herramienta resampling de SNAP, con esto se modifica la resolución espacial de las imágenes para que cada píxel represente una superficie de 20 metros en el terreno, homogeneizando las resoluciones de las diferentes bandas para procesos como combinaciones de bandas o cálculo de índices, (Delwart, 2015) ya que para realizar operaciones geométricas con las bandas, éstas deben de encontrarse a la misma resolución.

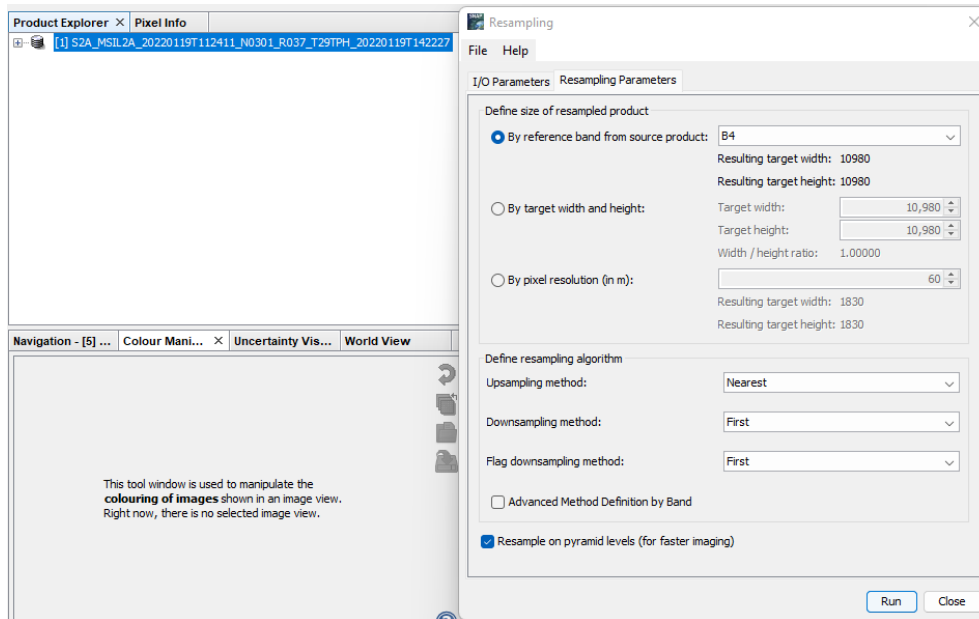


Figura 4 Remuestreo de una imagen.

### 5.2.1 Cálculo de Índices:

Para la delimitación de las áreas afectadas por los incendios forestales se requiere inicialmente realizar el cálculo de los índices correspondientes. Estos índices pueden obtenerse mediante diversos métodos y herramientas a través del software SNAP y sobre las imágenes remuestreadas a 20 metros.

El índice NBR (Normalized Burn Ratio) o índice normalizado de quema se ha calculado en SNAP para resaltar áreas incendiadas. El cálculo se realizó con la herramienta “Band Maths” sobre las imágenes pre y post-incendio.

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} ; \frac{B8 - B12}{B8 + B12}$$

Ecuación 4 Cálculo del NBR.

El siguiente índice calculado fue el NDVI, en este caso el índice se aplica para todas las imágenes, tanto la inmediatamente posterior y anterior al incendio como en las siguientes, a través de la herramienta “Band Maths” de SNAP.

El índice de vegetación normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) es uno de los indicadores más comúnmente utilizados para medir la vegetación.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} ; \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

Ecuación 5 Cálculo del NDVI.

### 5.2.2 Delimitación del área quemada

El dNBR, o Índice Normalizado de Quema Diferencial, como se comentaba en el apartado 4 del presente trabajo, es un indicador utilizado para estimar el área afectada por un incendio. Se calcula como la diferencia entre los valores del índice NBR antes y después del incendio, calculado en el apartado anterior. Su objetivo es identificar las áreas que han sufrido impacto, ya que presentan valores distintos en el índice NBR.

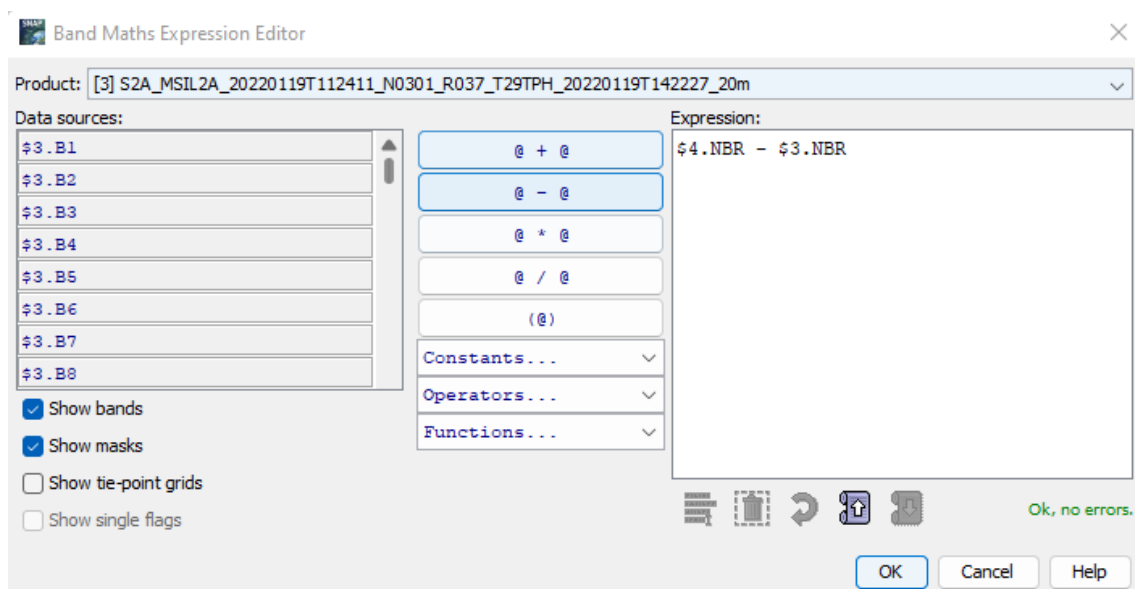
Al calcular la diferencia de los valores del NBR, se obtiene un mapa donde las zonas afectadas por el incendio se representan como áreas blancas, es importante destacar que, debido a la variabilidad en los valores de reflectancia en el agua, el índice dNBR resaltarán tanto las zonas incendiadas como los cuerpos de agua en el ya mencionado color blanco. (Gómez Morales, 2017)

La ecuación utilizada en el cálculo del dNBR, como se ve en la Figura 5 en la calculadora de SNAP, se basa en los valores de los índices NBR de las imágenes previas al incendio:

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post}$$

*Ecuación 6 Cálculo del dNBR.*

Donde NBR\_post-incendio se refiere al valor del índice NBR en la imagen posterior al incendio, y NBR\_pre-incendio es el valor del índice NBR en la imagen anterior al incendio.



*Figura 5 Cálculo dNBR.*

### 5.2.3 Delimitación de la severidad del incendio

Después de obtener la imagen resultante del índice dNBR, es necesario llevar a cabo la clasificación de los diferentes niveles de severidad del incendio para poder generar un polígono que englobe aquellas zonas que hayan sufrido una quema parcial o total de su superficie, apareciendo, de esa manera, claramente marcadas.

En SNAP, esta clasificación se realiza utilizando la herramienta "Mask Manager" sobre el dNBR a través de la herramienta de la Figura 6. Aquí se encuentran disponibles varias capas que se pueden aplicar a la imagen utilizando fórmulas matemáticas, lo que permite diferenciar y asignar colores a los índices de cada píxel. Se utilizará esta opción para identificar y visualizar los distintos grados de severidad del incendio y así poder realizar un perímetro lo más exacto posible para delimitarlo.

Las siguientes ilustraciones presentan los resultados obtenidos siguiendo los pasos descritos en el párrafo anterior:

- Se han utilizado los valores de referencia de la Tabla 2, mencionada en la sección 4.1.6 para clasificar los grados de calcinación basados en los rangos del índice dNBR.
- Se ha asignado una gama de colores que permite una identificación sencilla de las áreas en función de su grado de calcinación. Estas representaciones visuales facilitan la comprensión de la distribución de los niveles de severidad del incendio en la zona estudiada.

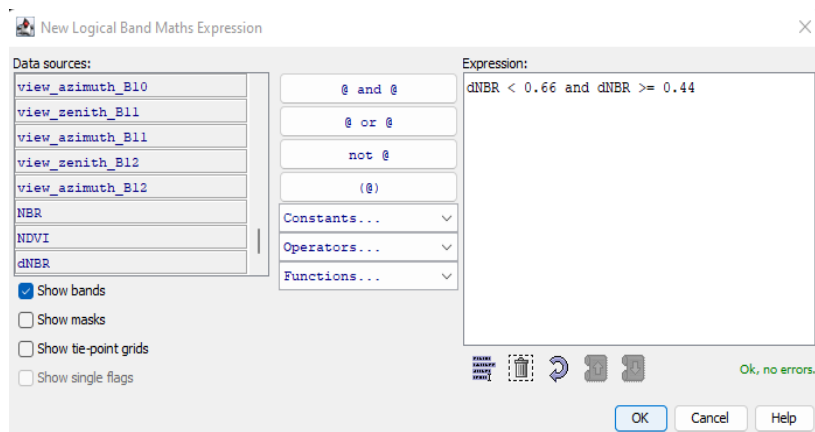


Figura 6 Aplicación del umbral del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression para identificar la zona con severidad moderada-alta.

La tabla de valores resultantes de la aplicación de los umbrales se visualiza en la Figura 7.






<input checked="" type="checkbox"/>	ALTA	Maths		$0.5 \text{ dNBR} \geq 0.66$
<input checked="" type="checkbox"/>	MODERADA_ALTA	Maths		$0.5 \text{ dNBR} < 0.66 \text{ AND } \text{dNBR} \geq 0.44$
<input checked="" type="checkbox"/>	MODERADA_BAJA	Maths		$0.5 \text{ dNBR} < 0.44 \text{ AND } \text{dNBR} \geq 0.27$
<input checked="" type="checkbox"/>	BAJA	Maths		$0.5 \text{ dNBR} < 0.27 \text{ AND } \text{dNBR} \geq 0.1$
<input checked="" type="checkbox"/>	NO_QUEMADO	Maths		$0.5 \text{ dNBR} < 0.1$

Figura 7 Resultado aplicación de los umbrales del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression.

En la Figura 8 aparece representado el resultado de la aplicación de los umbrales de la Figura 7 en la zona del incendio y sus inmediaciones resaltando varias zonas afectadas por otros incendios semejantes.

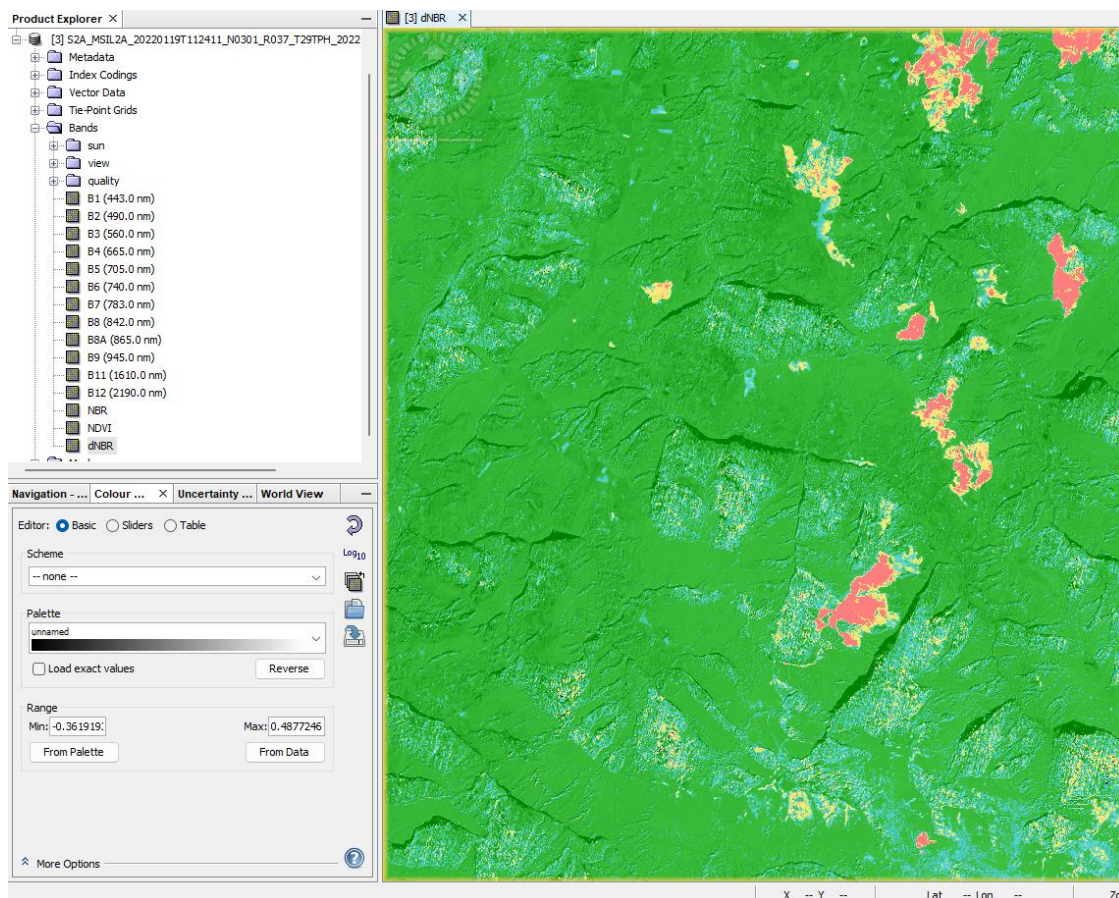


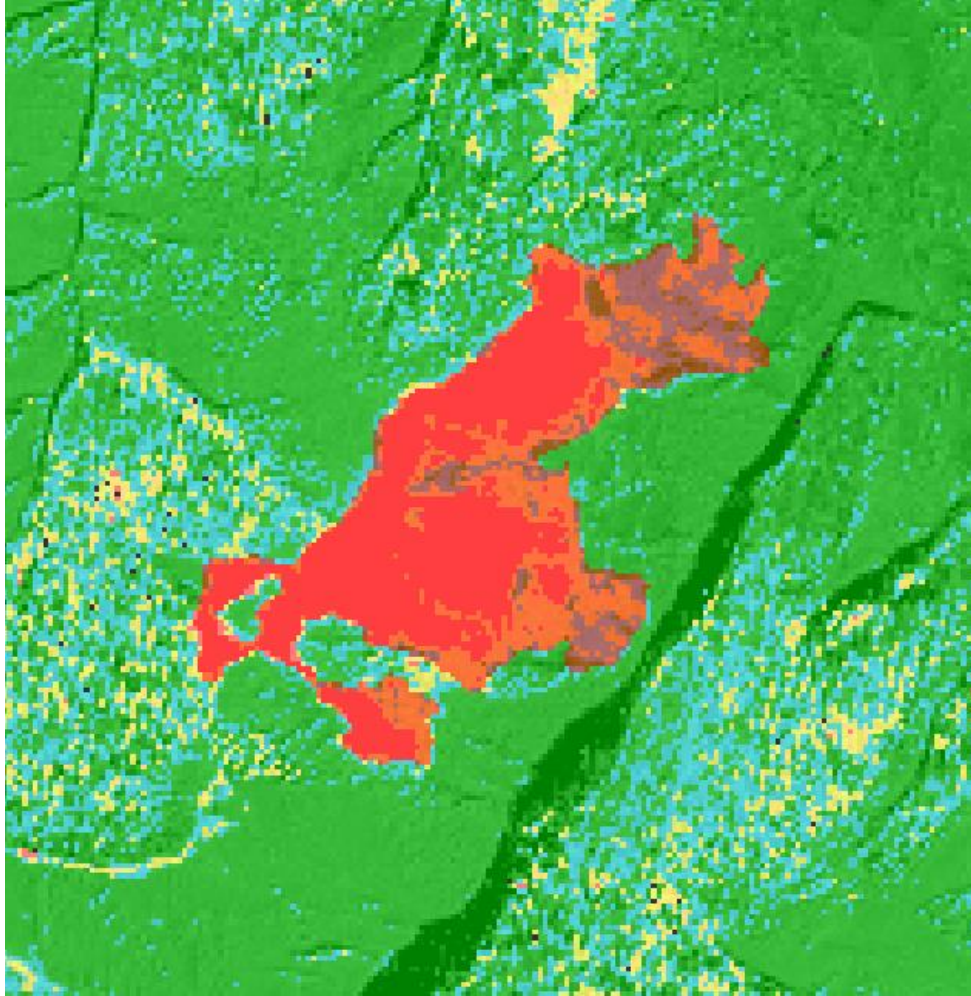
Figura 8 Mapa final resultante de la aplicación de los umbrales del dNBR.

#### 5.2.4 Generación del polígono del Incendio y máscaras de severidad:

Una vez que se han aplicado los niveles de calcinación, es necesario crear un polígono que englobe el incendio. Esto se lleva a cabo a través de la herramienta "Poligon Drawing Tool" en "Mask manager", de esta forma se genera manualmente una máscara geométrica con sus niveles correspondientes, permitiendo trabajar en los siguientes



pasos más cómodamente con los datos de interés de la zona quemada. Esta máscara se denomina 'Incendio\_Cangas\_ENP\_0122' y su resultado se puede ver en la Figura 9.



*Figura 9 Polígono del incendio.*

A partir de este polígono y de nuevo ayudado por “Mask manager”, se realizan operaciones para crear las mismas máscaras de la Figura 7 únicamente para la zona del incendio, calculando de manera individual los niveles de calcinación en la zona de estudio. Como se aprecia en la Figura 10, se relaciona el área seleccionada y los diferentes niveles de dNBR a través de la función “AND”.

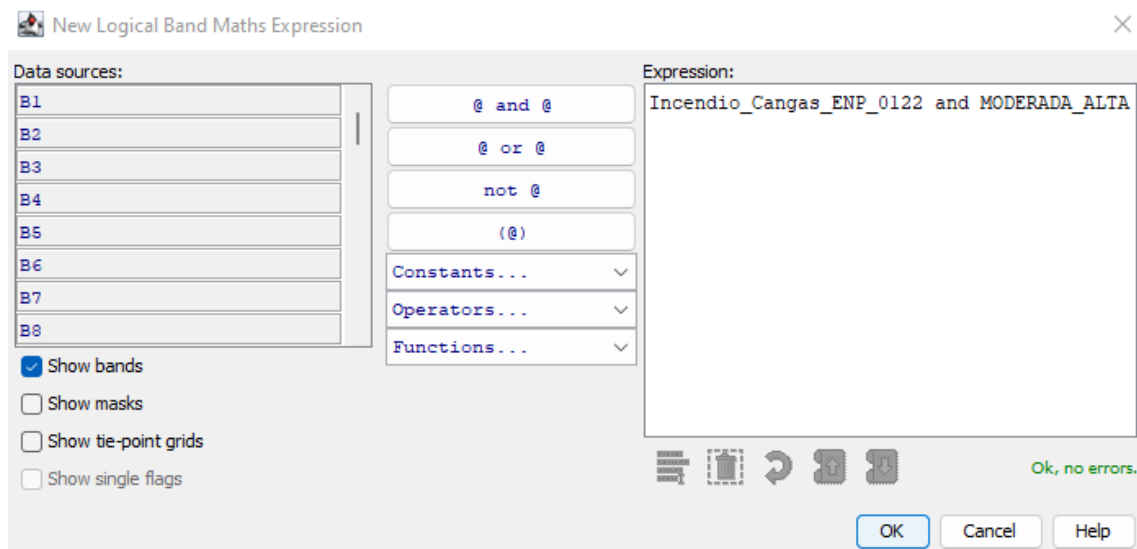


Figura 10 Aplicación de umbral del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression para identificar la zona con severidad moderada-alta en la zona de estudio.

La tabla de valores resultantes de la aplicación de los umbrales se visualiza en la Figura 11.





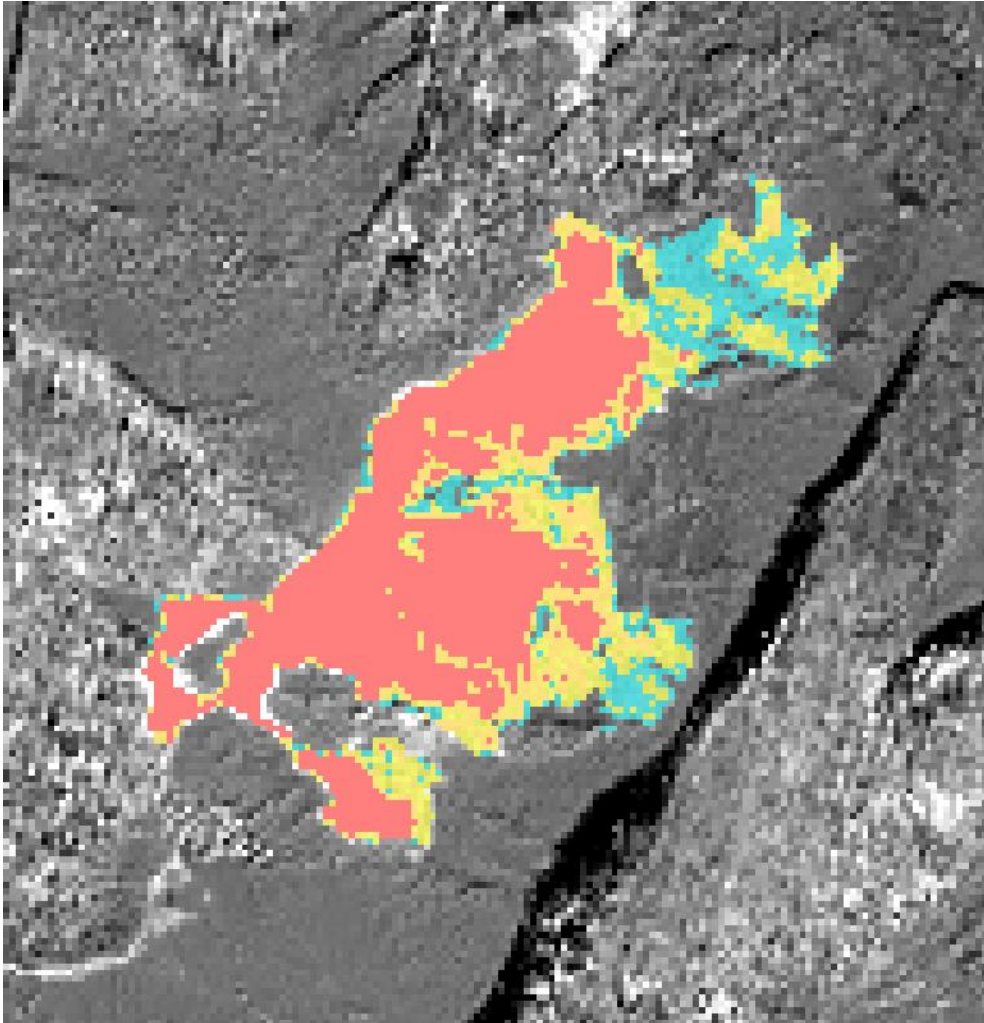
<input checked="" type="checkbox"/>	MSK_ALTA	Maths		0.5	'Incendio_Cangas_ENP_0122_1' and ALTA
<input checked="" type="checkbox"/>	MSK_MOD_ALTA	Maths		0.5	'Incendio_Cangas_ENP_0122_1' and MODERADA_ALTA
<input checked="" type="checkbox"/>	MSK_MOD_BAJ	Maths		0.5	'Incendio_Cangas_ENP_0122_1' and MODERADA_BAJA
<input checked="" type="checkbox"/>	MSK_BAJA	Maths		0.5	'Incendio_Cangas_ENP_0122_1' and BAJA

Figura 11 Resultado aplicación de los umbrales del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression.

En la Figura 12 aparece representado el resultado de las operaciones para aplicar los niveles de calcinación en la zona de estudio que aparecen en la Figura 11. De primeras se puede atisbar que el incendio, a pesar de no ser demasiado grande, tiene una severidad elevada.



*Figura 12 Máscaras aplicadas a la zona del incendio.*

#### 5.2.5 Cálculo del NDVI en la zona del incendio

Una vez realizados todos los cálculos y operaciones para el índice NBR y su derivado dNBR, se pasa a analizar la información que brinda el cálculo del NDVI ya realizado con anterioridad en el apartado 5.2.1 para todas las imágenes de la Tabla 3, que incluyen la inmediatamente anterior y posterior al incendio.

El propósito de este apartado del trabajo es examinar la evolución temporal de la cobertura vegetal en el área afectada por el incendio, con el fin de obtener conclusiones sobre la recuperación posterior al fuego en esa zona.

Para ello, inicialmente se toman unos valores de referencia para umbralizar el Índice NDVI en zonas correspondientes a las inmediaciones del incendio para poder así realizar una clasificación más concreta y basada en datos objetivos.

El procedimiento para validar estos umbrales para el índice NDVI, es trabajando sobre la imagen post-incendio de enero de 2022. Se realizan muestreos sobre zonas de vegetación densa, vegetación menos densa, suelo desnudo y agua, representado en las Figuras 13 a la 16 respectivamente. Se seleccionaron varios puntos concretos en los cuáles se obtuvieron estos valores y donde las diferentes categorías para la clasificación del NDVI se apreciaban con claridad. Los resultados figuran en la Tabla 4, pudiendo ser enfrentados con los umbrales propuestos por la metodología seleccionada de la Tabla 5.

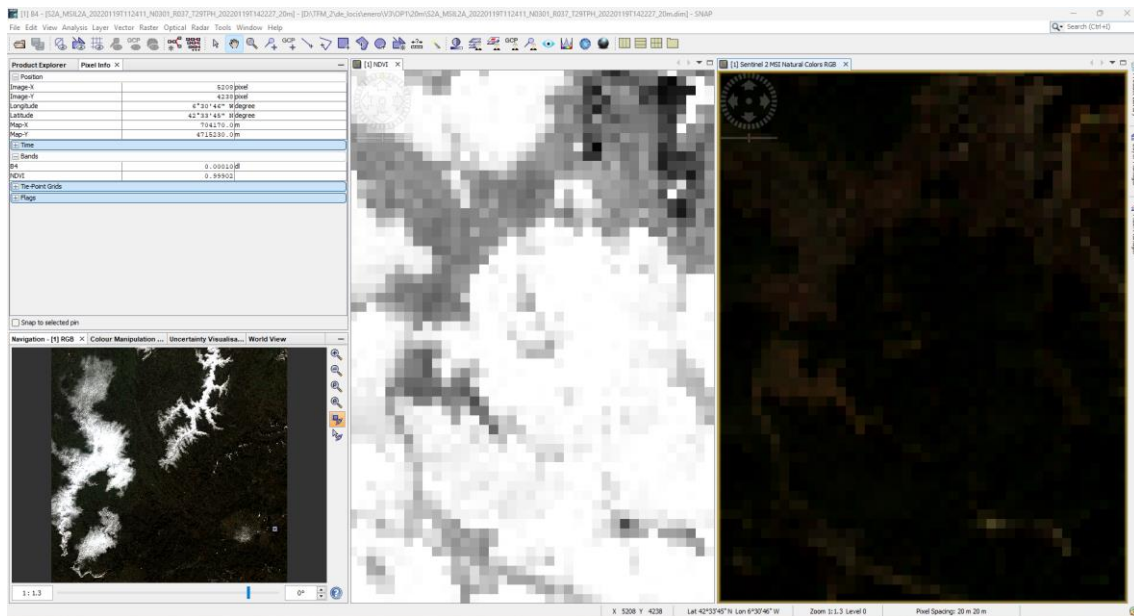


Figura 13 Zona de vegetación densa elegida, a la izquierda NDVI, a la derecha imagen en RGB.

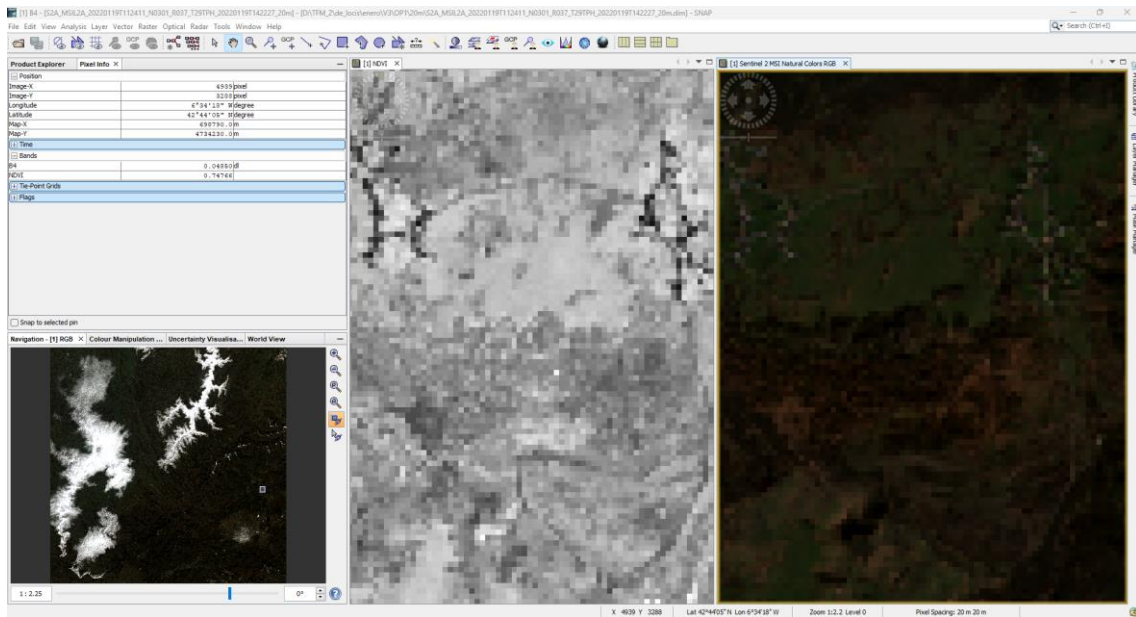


Figura 14 Zona de vegetación menos densa elegida, a la izquierda NDVI, a la derecha imagen en RGB.

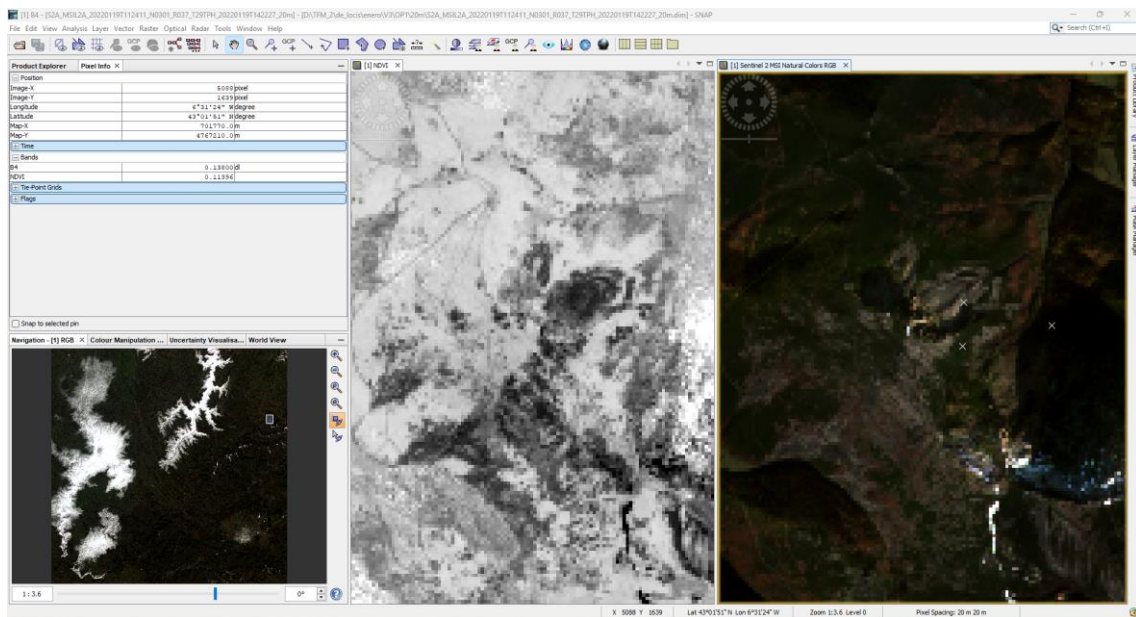


Figura 15 Zona de suelo desnudo elegida, a la izquierda NDVI, a la derecha imagen en RGB.

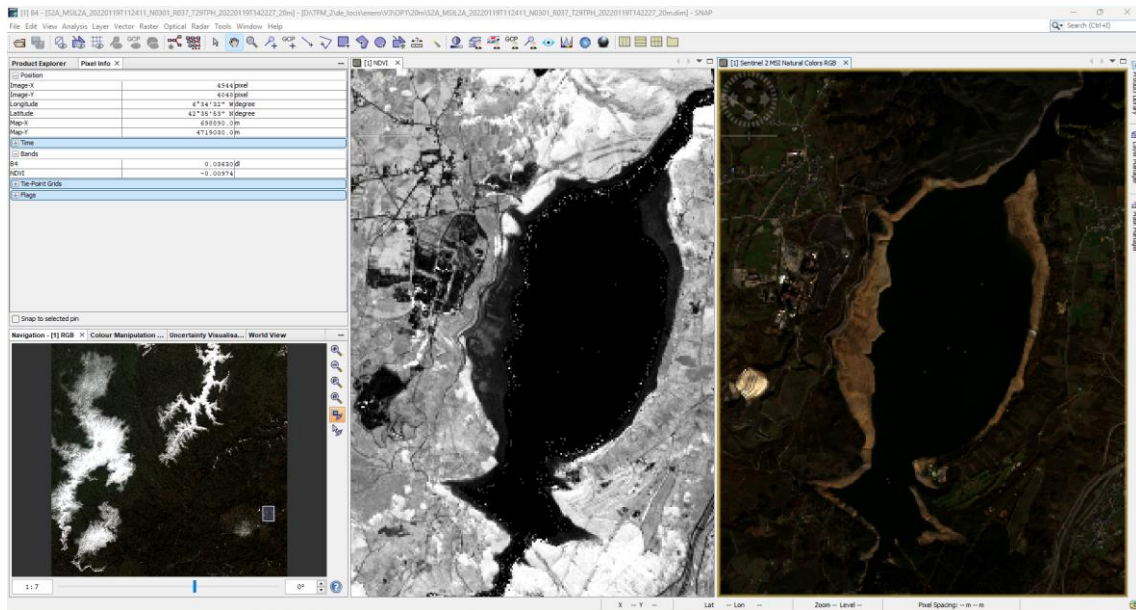


Figura 16 Zona de agua elegida, a la izquierda NDVI, a la derecha imagen en RGB.

Estos valores obtenidos a través de su medición en SNAP para cada una de las categorías se han recopilado en la Tabla 4

Tipo de vegetación Imágenes propias	Valor NDVI obtenido en las pruebas
Vegetación densa	0.99
Vegetación menos densa	0.75
Suelo desnudo	0.03
Agua	-0.009

Tabla 4 Valores de referencia del NDVI. Fuente: Elaboración propia.

Los valores propuestos en la metodología son los siguientes:

Actividad fotosintética	Rango
Nula	< 0
Muy Baja	0 - 0.1
Baja	0.1 - 0.2
Media	0.2 - 0.3
Media - Alta	0.3 - 0.4
Alta	0.4 - 0.6
Muy Alta	> 0.6

*Tabla 5 Umbrales para el índice NDVI. Fuente: De Santis & Chuvieco 2007.*

En base a los valores que figuran en la Tabla 5, la relación entre la elevada actividad fotosintética y vigorosidad de la vegetación en la zona y los valores obtenidos en ciertos puntos clave de las imágenes que figuran en la Tabla 3, se han generado 5 umbrales representados en la Tabla 6:

Tipo de vegetación	Valor del índice
Agua	<0.05
Suelo desnudo	$0.05 \leq \text{NDVI} < 0.2$
Vegetación escasa	$0.2 \leq \text{NDVI} < 0.3$
Vegetación dispersa	$0.3 \leq \text{NDVI} < 0.6$
Vegetación densa	$0.6 \leq \text{NDVI}$

*Tabla 6 Umbrales establecidos para el cálculo del NDVI. Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, y como último paso del procesado, se aplican estos umbrales a todas las bandas NDVI de cada imagen. El procedimiento es similar al realizado con el dNBR, pero en este caso la capa del incendio ya está generada y tendremos únicamente que cargarla para cada imagen.

En SNAP, esta clasificación se realiza utilizando de nuevo la herramienta "Mask Manager" sobre la banda NDVI, como se puede apreciar en la Figura 17. De nuevo resultan varias capas que se pueden aplicar a la imagen utilizando fórmulas matemáticas, lo que permite diferenciar y asignar colores a los índices de cada píxel.

Se utilizará esta opción para identificar y evaluar la calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y vigorosidad en el área del incendio.

Las siguientes ilustraciones presentan los resultados obtenidos siguiendo los pasos descritos en el párrafo anterior para una imagen a modo de ejemplo. Se han utilizado los valores de la Tabla 6 con una gama de colores que permite una identificación sencilla para la umbralización anteriormente descrita.

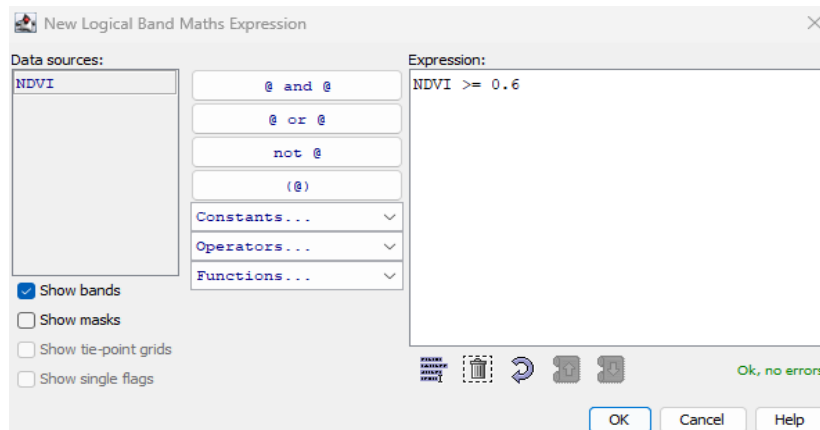


Figura 17 Aplicación del umbral del índice NDVI a través de New Logical Band Math Expression para identificar la zona con vegetación densa.

La tabla de valores resultantes de la aplicación de los umbrales se visualiza en la Figura 18.






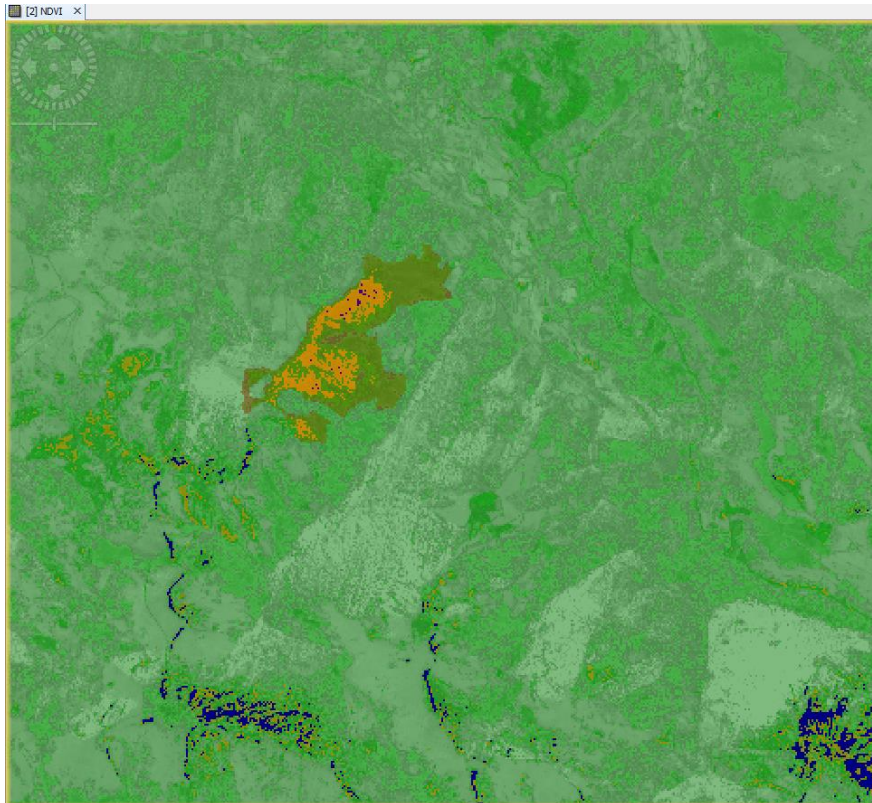
<input type="checkbox"/>	AGUA	Maths		0.5 NDVI < 0.05
<input type="checkbox"/>	SUELO_DESNUDO	Maths		0.5 NDVI >= 0.05 and NDVI < 0.2
<input type="checkbox"/>	VEGETACION_ESCASA	Maths		0.5 NDVI >= 0.2 and NDVI < 0.3
<input type="checkbox"/>	VEGETACION_DISPERSA	Maths		0.5 NDVI >= 0.3 and NDVI < 0.6
<input type="checkbox"/>	VEGETACION_DENSA	Maths		0.5 NDVI >= 0.6

Figura 18 Resultado aplicación de los umbrales del índice dNBR a través de New Logical Band Math Expression.

En la Figura 19 aparece representado el resultado de la aplicación de los umbrales de la Figura 18 en la zona del incendio y sus inmediaciones con la capa geométrica del incendio generada cargada encima se corresponde con la zona sombreada en amarillo.





*Figura 19 Mapa final resultante de la aplicación de los umbrales del NDVI.*

Tal y como se hizo para la determinación del grado de severidad, a partir de este polígono y ayudado de nuevo por la herramienta “Mask manager”, se realizan operaciones para crear las mismas máscaras de la Figura 18 únicamente para la zona del incendio, calculando de manera individual los niveles de NDVI en la zona de estudio. Como se aprecia en la Figura 20, se relaciona el área seleccionada y los diferentes niveles de NDVI a través de la función “AND”.

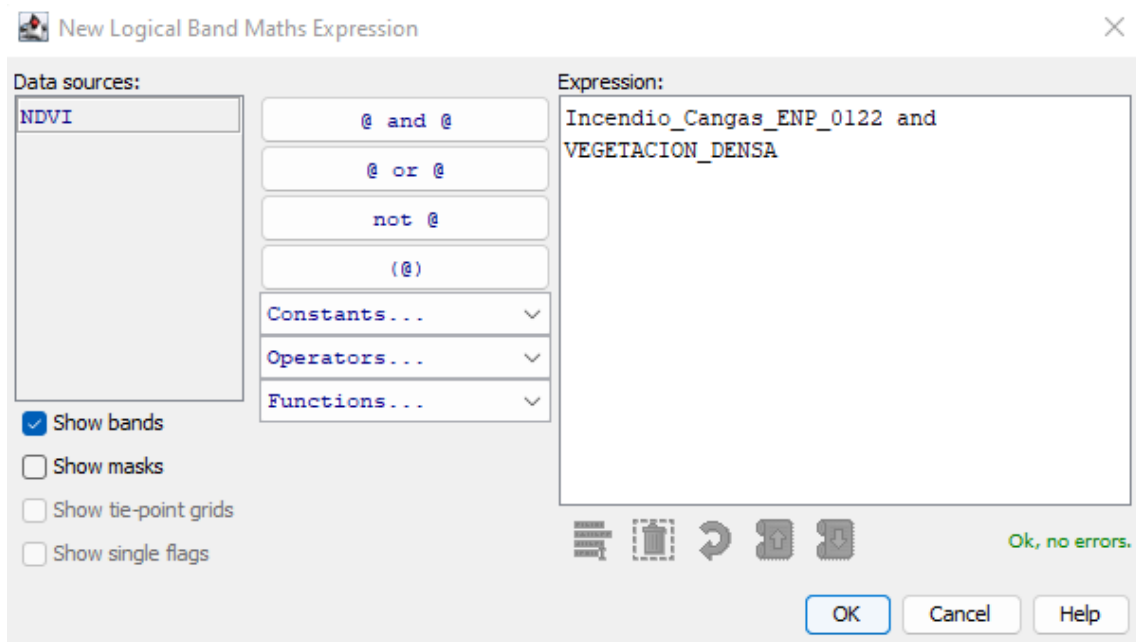


Figura 20 Aplicación de umbral del índice NDVI a través de New Logical Band Math Expression para identificar la zona con vegetación densa en la zona de estudio.

La tabla de valores resultantes de la aplicación de los umbrales se visualiza en la Figura 21.





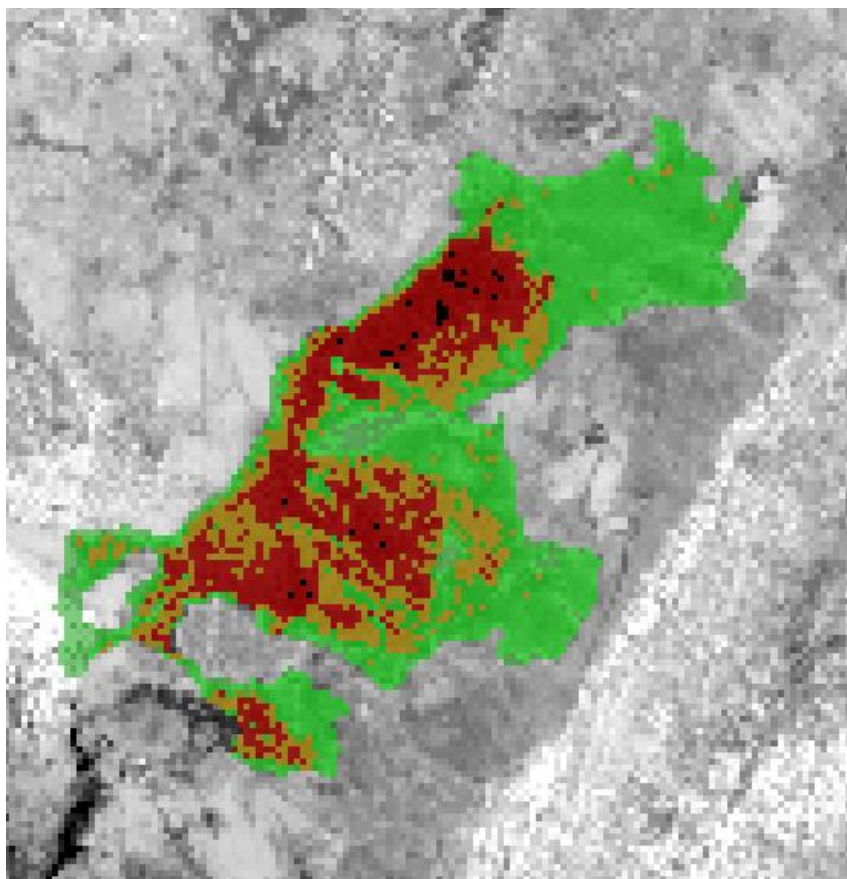
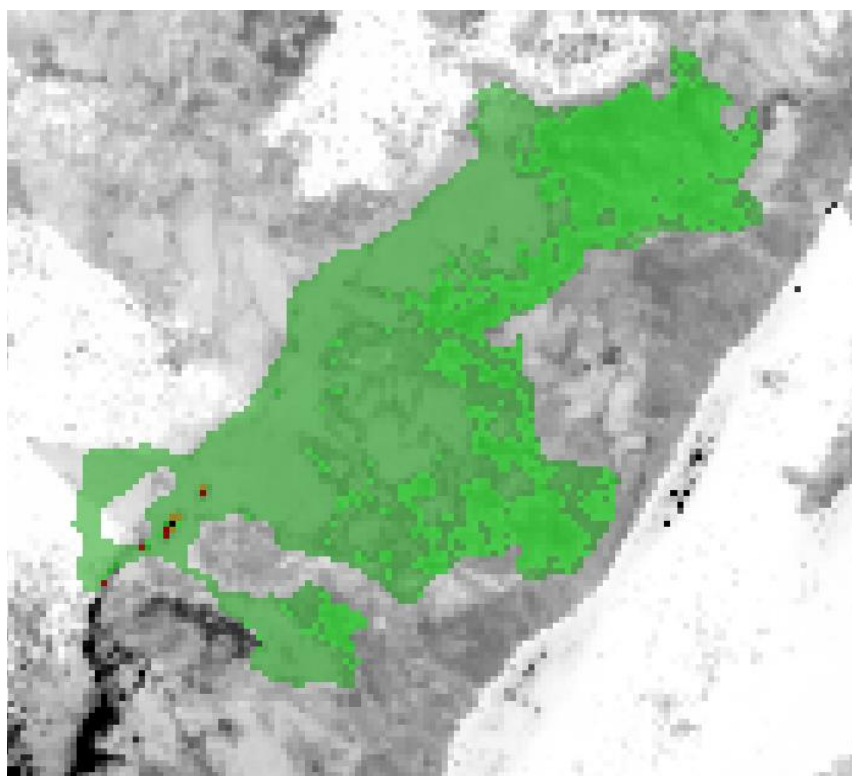
<input checked="" type="checkbox"/>	SUELO	Maths		0.5 'Incendio_Cangas_ENP_0122' and SUELO_DESNUDO
<input checked="" type="checkbox"/>	ESCASA	Maths		0.5 'Incendio_Cangas_ENP_0122' and VEGETACION_ESCASA
<input checked="" type="checkbox"/>	DISPERSA	Maths		0.5 'Incendio_Cangas_ENP_0122' and VEGETACION_DISPERSA
<input checked="" type="checkbox"/>	DENSA	Maths		0.5 'Incendio_Cangas_ENP_0122' and VEGETACION_DENSA

Figura 21 Resultado aplicación de los umbrales del índice NDVI a través de New Logical Band Math Expression.

En la Figura 22 aparece representado el resultado de las operaciones para aplicar los umbrales en la zona de estudio que aparecen en la Figura 21. De primeras se puede atisbar que el incendio, generó una disminución en la vegetación densa ya que, si se hace una comparativa entre resultados de las imágenes post y pre-incendio, representados en las Figuras 22 y 23 respectivamente, se ve como en la imagen previa correspondiente a diciembre de 2021 la vegetación era densa y dispersa, sin embargo, en la posterior los píxeles referentes a suelo desnudo y vegetación dispersa aumentan sustancialmente. De igual modo, haciendo la comparativa de ambas imágenes, se ve que las áreas con mayor daño en la Figura 22 presentaban una actividad fotosintética considerablemente alta (representadas por un tono de verde más oscuro), y posteriormente experimentaron una disminución de intensidad a niveles medios o bajos (tonos rojos y amarillos).



*Figura 22 Máscaras aplicadas a la zona del incendio después del incidente.*



*Figura 23 Máscaras aplicadas a la zona del incendio en la imagen previa.*

### 5.3 Usos del suelo en la zona afectada

Una vez conocida el área de afección y con el polígono generado, se analiza la cobertura de la zona afectada por el incendio en función de la ocupación del suelo y la vegetación. Para lograr esto, se utilizó la cartografía temática de ocupación del suelo del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE) correspondiente al año 2017. Los datos necesarios fueron descargados de la página del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y se cargaron al software QGis para hacer una visualización de los datos y un recorte con la capa vectorial del incendio.

Una vez generado el recorte, se exportan los resultados a un archivo en formato csv para poder analizar las coberturas existentes en la zona. Los resultados se indican en la gráfica de la Figura 24, donde se aprecia que la amplia mayoría de la zona afectada tiene cobertura con código 301, correspondiente con pastizales y matorrales, seguido de arbolado y frondosas caducifolias. La gráfica se apoya en la Tabla 7 para una correcta interpretación de los códigos de los usos del suelo.

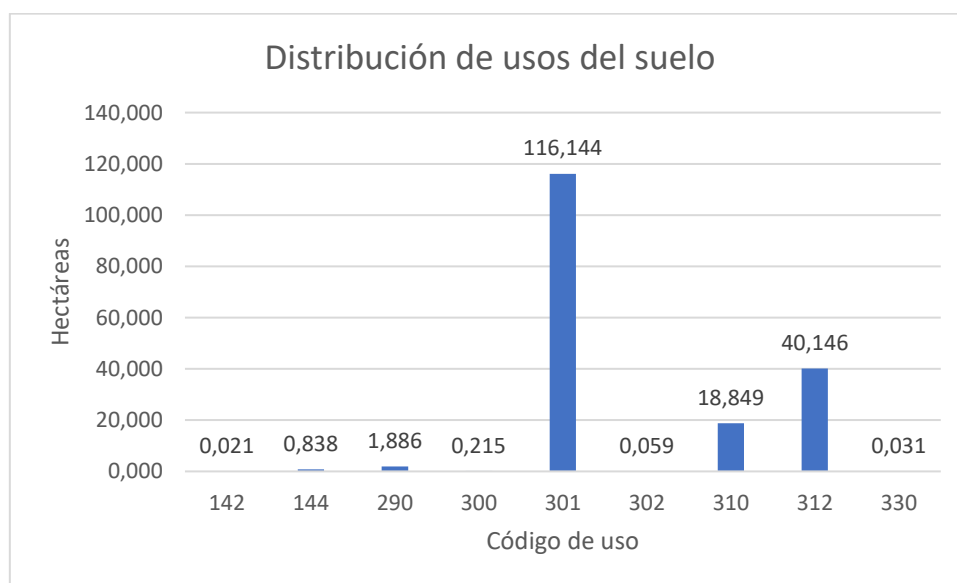


Figura 24 Gráfica de distribución de los usos del suelo en hectáreas según códigos del SIOSE. Fuente: Elaboración propia

Código de Uso	Uso del suelo
142	Carreteras
144	Caminos y sendas
290	Prados
300	Pastizal
301	Pastizal - Matorral
302	Pasto Arbolado
310	Arbolado
312	Fronosas Caducifolias
330	Terrenos con escasa o nula vegetación

*Tabla 7 Códigos de Usos del suelo y listado. Fuente: Elaboración propia.*

## 6. Resultados y discusión

La sección de resultados y análisis se ha estructurado en dos partes distintas. En la primera parte, se llevó a cabo la estimación del área afectada por el incendio junto con un estudio de la gravedad y severidad de este a partir de los resultados arrojados por el dNBR, en segundo lugar, se realizó una interpretación de los resultados obtenidos a partir del NDVI y un estudio de la evolución de la vegetación.

Una vez calculados los índices, SNAP permite adquirir los datos estadísticos de la zona afectada, en este caso de las máscaras generadas sobre el incendio, tanto para el NDVI como para el dNBR. De este modo se pueden interpretar los resultados ayudados de los estadísticos que ofrece SNAP sobre la marcha, o bien exportando los valores a un formato editable donde poder trabajar con ellos.

### 6.1 Resultados de la aplicación del dNBR

Una vez descargados los datos estadísticos a partir de la herramienta “Statistics” de SNAP, mostrados en la Figura 25, se procede a su análisis para representar visualmente la superficie real afectada y los diferentes grados de calcinación proporcionando valores por píxel, el recuento total de píxeles y el valor máximo y mínimo.

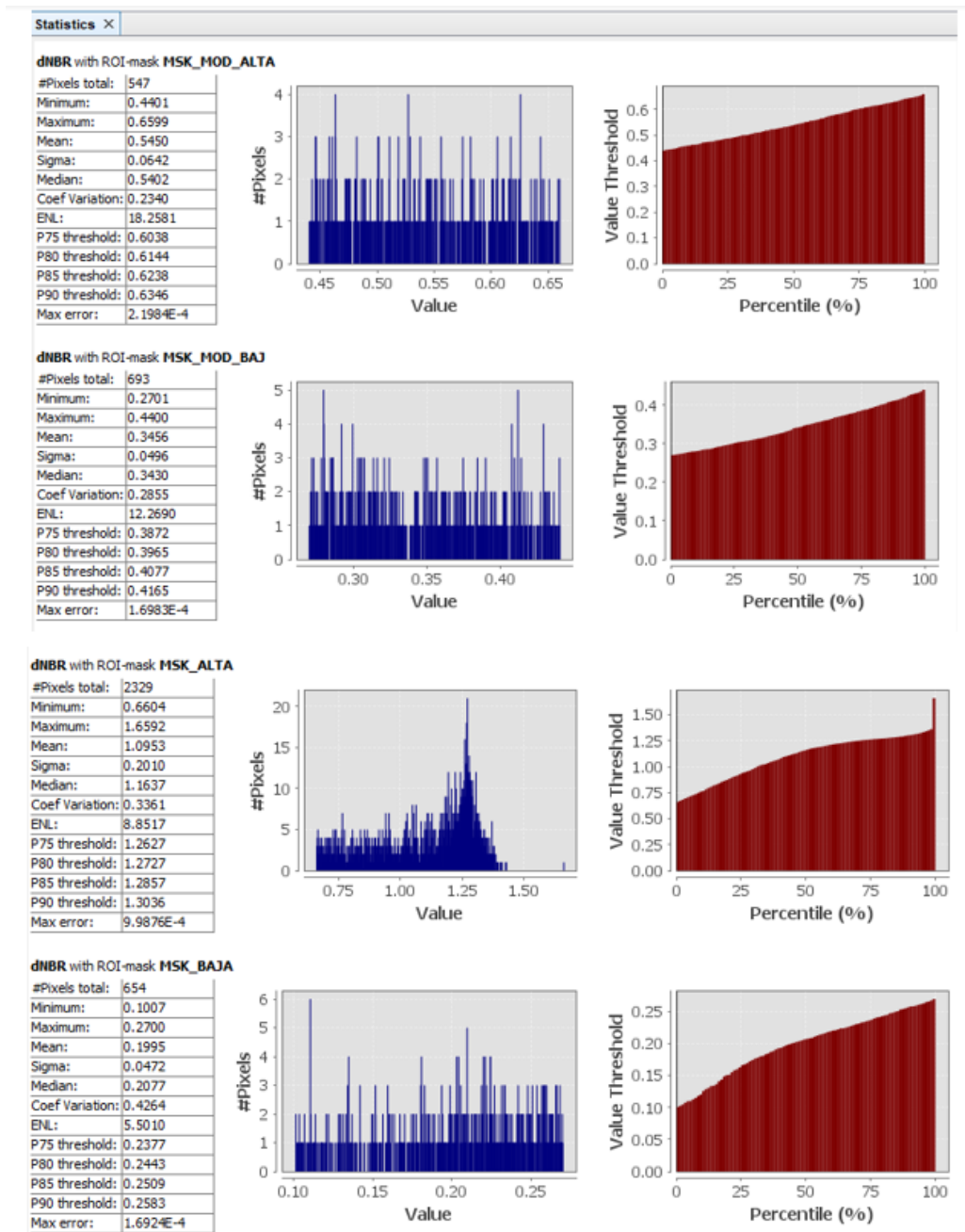


Figura 25 Estadísticos de SNAP resultado dNBR zona afectada por cada categoría de severidad.

De primeras, y echando un vistazo a los gráficos y sus valores, se puede afirmar que el número de píxeles más numerosos corresponden con aquellos de la categoría MSK\_ALTA, correspondiente con severidad alta de dNBR con base en la Tabla 2.

Para obtener la superficie afectada se debe de transformar los píxeles a hectáreas (ha). Cada pixel representa 20x20 metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de superficie total ya que las imágenes utilizadas tienen aplicado un resmuestreo a 20 metros, por lo tanto, se multiplica el número de píxeles por 20<sup>2</sup> y a continuación, para transformar de m<sup>2</sup> a ha se divide el resultado entre 10.000. Los resultados figuran en la Tabla 8.

Severidad	Total pixeles	Ha afectadas	Porcentaje	Sup total afectada ha
ALTA	2329	93.16	55.15	168.92
MEDIA ALTA	547	21.88	12.95	
MEDIA BAJA	693	27.72	16.41	
BAJA	654	26.16	15.49	

Tabla 8 Cálculo de superficie afectada a partir de los valores del dNBR. Fuente: Elaboración propia.

Tras llevar a cabo este estudio, se obtiene como resultado que la superficie afectada abarca un área de 168.92 hectáreas. Se identificó que un 15,49% de la superficie presenta un nivel de severidad baja, un 16,41% tiene una severidad moderada-baja, un 12,95% muestra una severidad moderada-alta, y un 55,15% presenta una severidad alta. Estos datos se presentan en la Tabla 8 y Figura 26, que muestran la distribución de los diferentes niveles de severidad encontrados.

## HECTÁREAS AFECTADAS

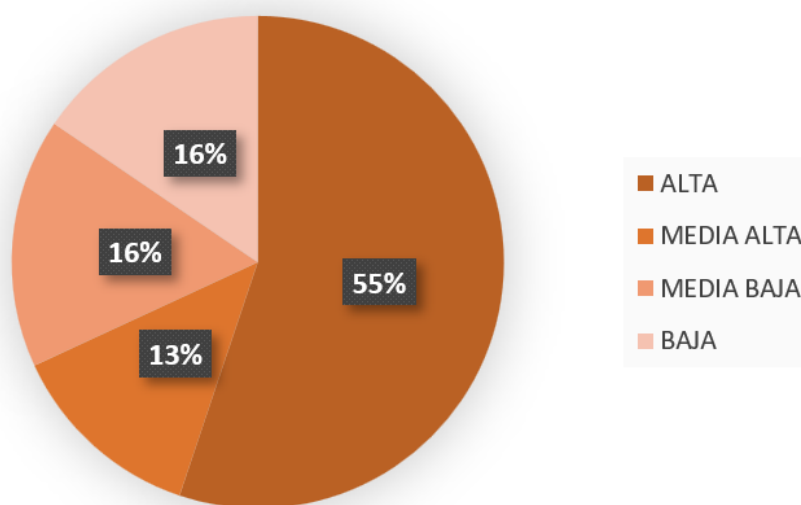


Figura 26 Gráfico por sectores de la representación del grado de calcinación en la zona afectada en hectáreas.

A partir de estos resultados se puede afirmar que, como se venía identificando durante los cálculos del dNBR y las máscaras del incendio, a pesar de no ser demasiado extenso en cuanto a superficie afectada, sí tuvo una severidad alta. En la Figura 27 se muestra cómo el valor medio del dNBR del incendio en la zona afectada se eleva a un valor de 0.72, que se corresponde con una severidad alta conforme a la bibliografía consultada.

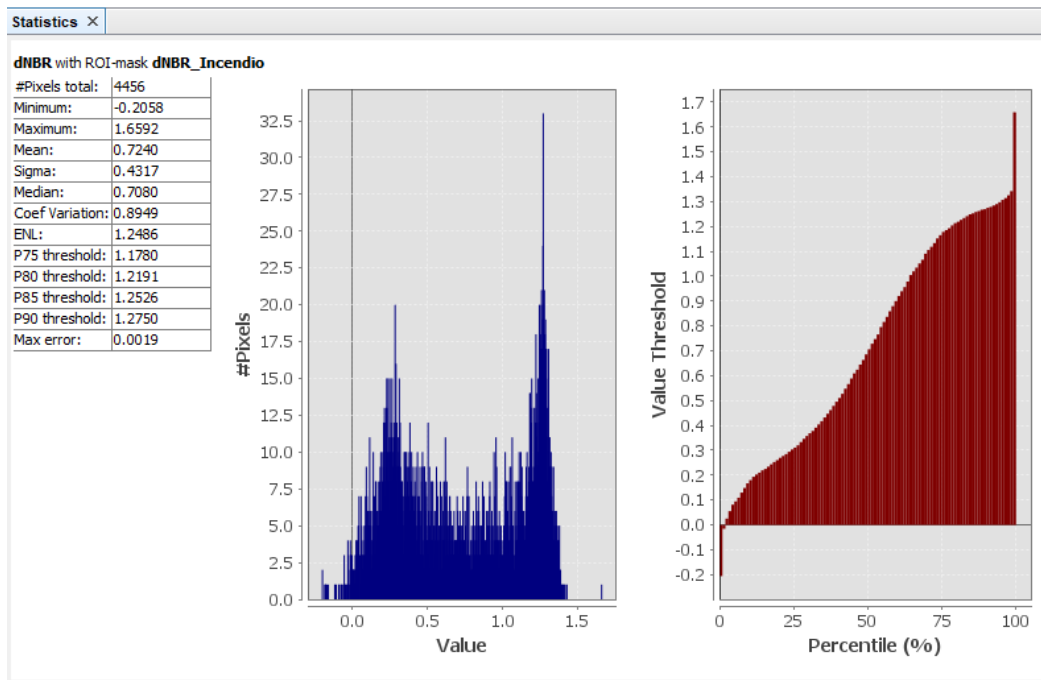


Figura 27 Estadísticos de SNAP resultado dnBR zona afectada.

## 6.2 Resultados de la aplicación del NDVI

De nuevo, y tal como se ha indicado en el apartado anterior, se descargan los datos estadísticos de SNAP para analizarlos representando visualmente la vegetación real afectada y su evolución a lo largo de los meses, proporcionando valores por píxel, el recuento total de píxeles y el valor máximo y mínimo.

En este caso, y como se ha venido comentando a lo largo del trabajo, se ha calculado el NDVI para las imágenes inmediatamente previa y posterior al incendio y los sucesivos meses, alternando trimensualmente para ver la evolución y recuperación. Estos resultados se han representado en la Tabla 9.

En cuanto a los estadísticos previo y posterior, y teniendo en cuenta que la separación de días entre una imagen y otra es de 15 días, se encuentran representados sus histogramas a continuación, en las Figuras 28 y 29. En la 28 se ve cómo los valores de píxel predominantes se corresponden con una vegetación densa y dispersa.

Lo contrario ocurre en los estadísticos referidos a la imagen inmediatamente posterior al incendio (Figura 28), los valores más numerosos son los píxeles bajo los umbrales de vegetación dispersa, suelo y escasa, dejando evidencias de una acusada disminución de los píxeles con valores elevados de tasa fotosintética.



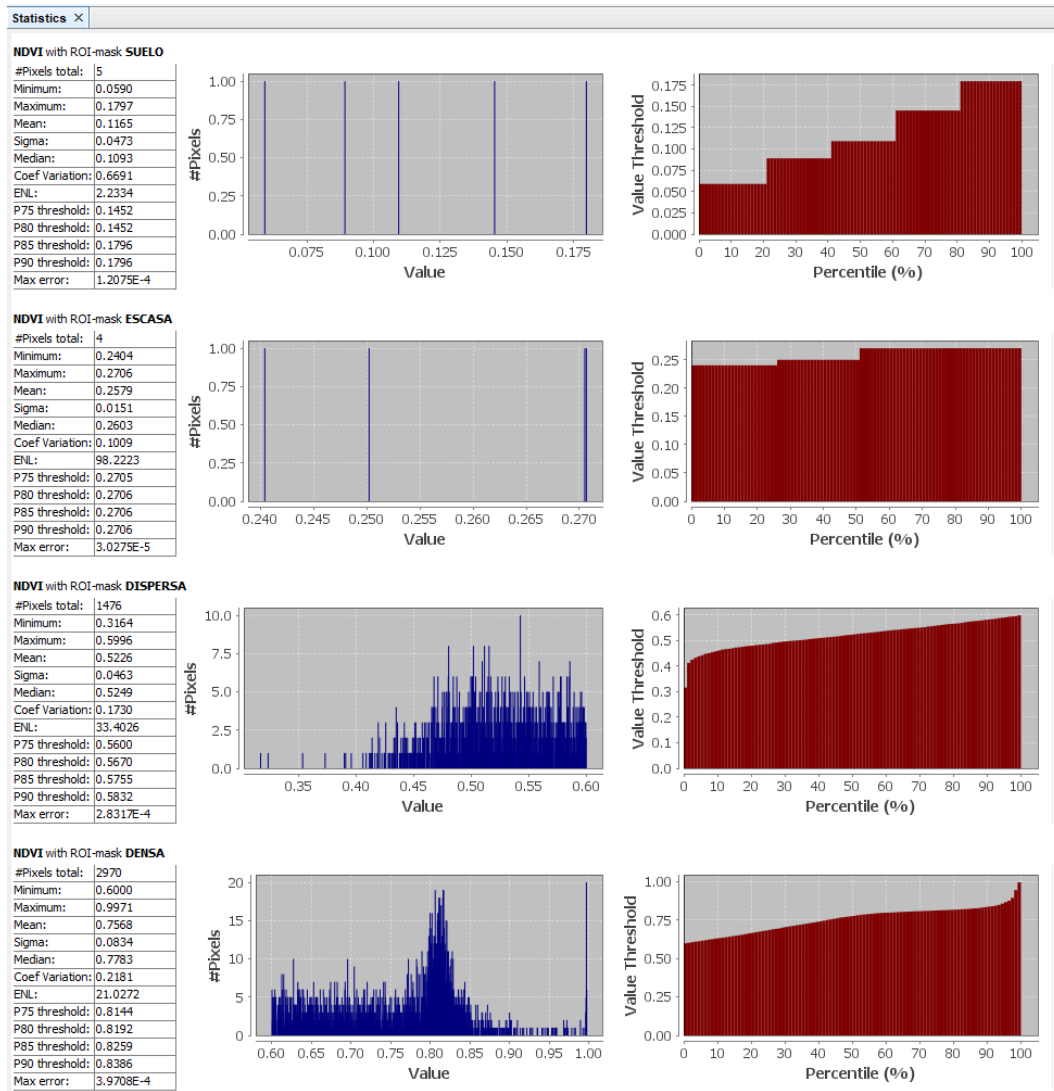


Figura 28 Estadísticos de SNAP imagen pre-incendio resultado NDVI zona afectada por cada umbral establecido.

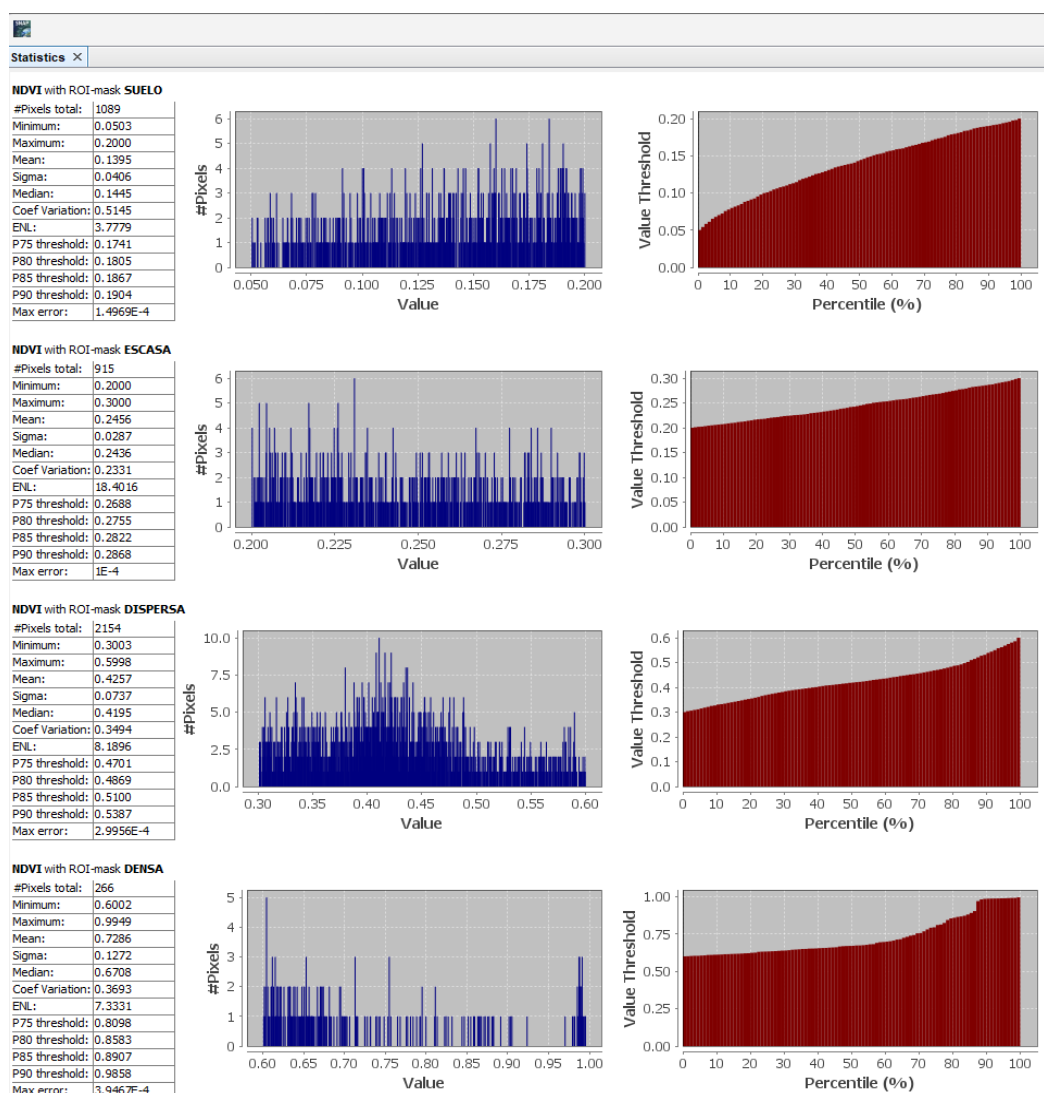


Figura 29 Estadísticos de SNAP imagen post-incendio resultado NDVI zona afectada por cada umbral establecido.

Los resultados totales obtenidos para cada uno de los meses en la zona del incendio y el nº de píxeles aparecen a continuación:

	NDVI	FECHA	12/2021	01/2022	04/2022	07/2022	10/2022	01/2023
Nº PIXELES	DENSA		2970	266	141	2705	1645	2046
	DISPERSA		1476	2154	2963	1740	1824	2365
	ESCASA		4	915	1097	11	421	20
	SUELO		5	1089	255	0	554	24

Tabla 9 N.º de píxeles bajo cada umbral a partir de los valores del NDVI a lo largo de los meses de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Con un simple vistazo a los datos que se muestran en la Tabla 10, se puede observar cómo existe un descenso importante en los valores de vegetación densa que, como se mencionó anteriormente, hacen referencia a matrices de vegetación compuestas por matorrales y pastos, y un ascenso de carácter brusco de los valores de suelo desnudo y vegetación escasa en la imagen de enero de 2022 como consecuencia del incendio ocurrido. Se puede observar con mayor claridad en la gráfica representada en la Figura 30, donde las diferentes coberturas de vegetación dejan su marca espectral y se puede observar su evolución.

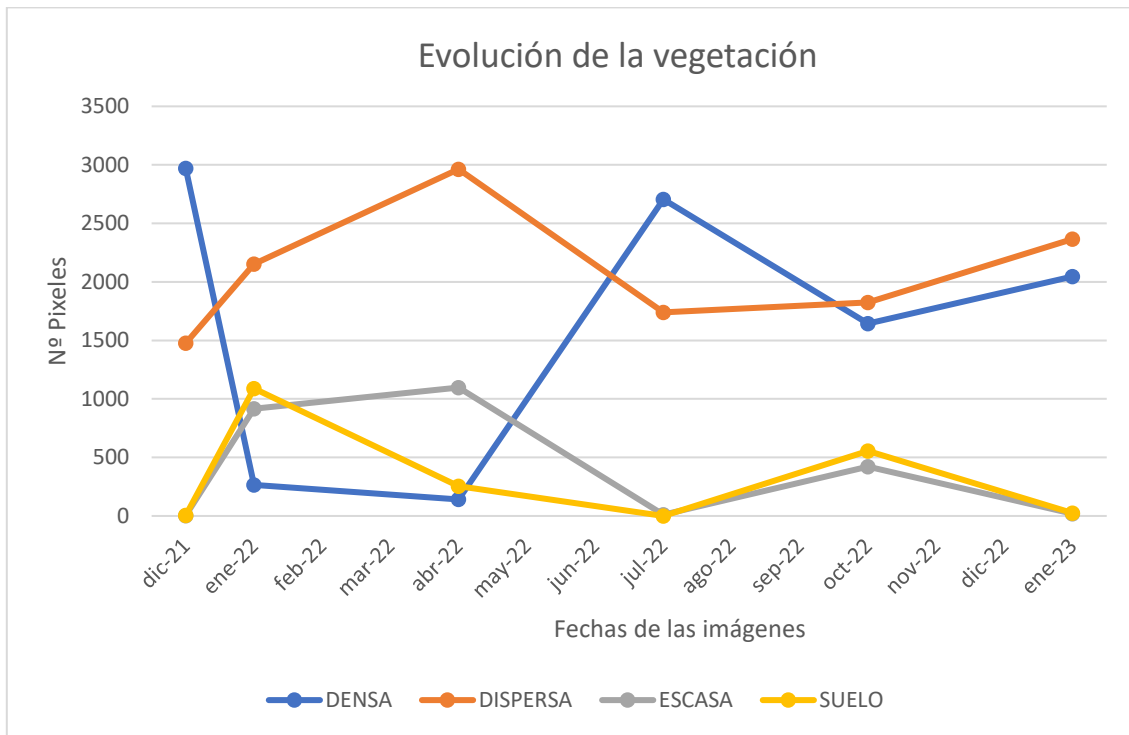


Figura 30 Distribución de los valores de píxel por cada umbral de vegetación del índice NDVI. Fuente: Elaboración propia.

En términos de superficies, los datos transformados a hectáreas aparecen representados en la Tabla 10.

	NDVI	FECHA	12/2021	01/2022	04/2022	07/2022	10/2022	01/2023
HECTÁREAS	Densa		118.8	10.64	5.64	108.2	65.8	81.84
	Dispersa		59.04	86.16	118.52	69.6	72.96	94.6
	Escasa		0.16	36.6	43.88	0.44	16.84	0.8
	Suelo		0.2	43.56	10.2	0	22.16	0.96

Tabla 10 Hectáreas bajo cada umbral a partir de los valores del NDVI a lo largo de los meses de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Entre la toma de imágenes de diciembre de 2021 y enero de 2022, la disminución de los valores de actividad fotosintética en vegetación densa descendió un 91%, a consecuencia de ello, el siguiente umbral se vio beneficiado con un aumento del 45%, seguidos de la vegetación escasa y el suelo que multiplicaron varias veces su valor inicial en la imagen posterior al incendio.

La vegetación densa sufre una bajada muy marcada durante los meses de enero y abril posteriores al incendio debido a la calcinación o pérdida de las hojas, pero en julio logra recuperar obteniendo unos valores bastante elevados. El porcentaje de recuperación medido de enero de 2021 posterior al incendio y enero de 2023 es del 87% con máximos en julio de 2022 del 90%, lo que sugiere que la recuperación de la vegetación densa en la zona afectada está prácticamente concluida, siendo el matorral y el pastizal una cobertura con una alta capacidad de recuperación.

Atendiendo al suelo desnudo, su evolución es inversa, parte con un crecimiento en sus cifras, ya que su valor se ha multiplicado por más de 200, aumentando de forma exponencial de 0.2 a 43 entre los meses de diciembre de 2021 y enero de 2022 para posteriormente disminuir progresivamente hasta llegar a un 97% de decrecimiento después de un año, corroborando la recuperación de la vegetación en la zona afectada.

## 7. Conclusiones

En el presente estudio, se utilizó la teledetección para realizar un análisis exhaustivo de un incendio forestal ocurrido en enero de 2022 en el Parque Natural de Fuentes del Narcea, Degaña e Ibias. Mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel-2, se logró delimitar con precisión las áreas afectadas por el fuego, determinar el grado de severidad y evaluar la evolución de la vegetación en proceso de recuperación. Esta metodología se ha demostrado ampliamente aplicable y puede ser utilizada en otras áreas de interés.

La utilización de índices espectrales, como NDVI y dNBR, ha sido fundamental para el análisis de la severidad del incendio. Estos índices permitieron distinguir entre diferentes niveles de severidad y cobertura, a pesar de tratarse de un área de tamaño moderado. La tecnología de teledetección proporcionó una aproximación altamente precisa del área consumida por las llamas, estimada en aproximadamente 170 ha. Estos resultados resaltan la eficacia de la teledetección en el análisis de incendios forestales, ofreciendo una herramienta efectiva y de bajo costo para la estimación de la severidad.

Además, se evaluó la capacidad de recuperación de la vegetación en la zona estudiada. Se observó que el matorral y el pastizal, gracias a sus características propias y a factores externos beneficiosos, como la existencia de un Espacio Natural Protegido, demostraron una destacada capacidad de recuperación frente a los impactos del fuego. La regeneración de la vegetación mostró signos de vigor y crecimiento, lo que indica una capacidad de resiliencia en el ecosistema.

En cuanto a la clasificación de la severidad, se realizó un análisis sencillo basado en la diferencia de índices antes y después del incendio. Los datos analizados y los resultados obtenidos indican una severidad media-alta del incendio. Sin embargo, a medida que transcurre el tiempo, se observa una rápida regeneración natural, aunque al finalizar el verano se evidencia una disminución en la actividad fotosintética, posiblemente debido a la pérdida de las hojas de la vegetación caducifolia.

En conclusión, los productos derivados de los satélites Sentinel-2 han demostrado su eficacia y potencial en la estimación de la severidad de los incendios forestales. La metodología de teledetección utilizada en este estudio puede ser aplicada en otras áreas de interés, contribuyendo así a la gestión y monitoreo de incendios forestales, así como a la toma de decisiones informadas para la conservación y protección del medio ambiente. Los resultados obtenidos destacan la importancia de la teledetección como una herramienta invaluable en el estudio y análisis de eventos incendiarios.

## 8. Bibliografía

- Bond, W. J., & Keeley, J. E. (2005). Fire as a global 'herbivore': The ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.025>
- Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). *Incendios forestales y medio ambiente: Una síntesis global*.
- Delwart, S. (2015). *ESA Standard Document*. 1.
- Emilio Chuvieco. (1995). *Fundamentos Básicos de Teledetección* (Segunda). Ediciones Rialp S.A.  
<http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO>

- ESRI. (s. f.). *¿Qué son los SIG? | Tecnología de representación cartográfica con sistemas de información geográfica*. Recuperado 25 de mayo de 2023, de <https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview>
- Fassnacht, F. E., Schmidt-Riese, E., Kattenborn, T., & Hernández, J. (2021). Explaining Sentinel 2-based dNBR and RdNBR variability with reference data from the bird's eye (UAS) perspective. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102262. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102262>
- Gómez Morales, A. (2017, septiembre 22). Uso de SNAP para el cálculo del NBR. *El INTA en Copernicus*. [https://www.inta.es/INTA/gl/blogs/copernicus/BlogEntry\\_1506065981706#](https://www.inta.es/INTA/gl/blogs/copernicus/BlogEntry_1506065981706#)
- IGN. (2023). *Teledetección*. Instituto Geográfico Nacional. Recuperado 20 de abril de 2023, de <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>
- IGN. (2018). *El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial*. Instituto Geográfico Nacional. [https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa\\_Marco\\_Copernicus\\_User\\_Uptake/3\\_componente\\_espacio\\_Copernicus.pdf](https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/3_componente_espacio_Copernicus.pdf)
- Key, C., & Benson, N. (2006). Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. En *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System* (p. LA 1-51).
- Parques Naturales de Asturias*. (2023). Recuperado 20 de junio de 2023, de <https://parquesnaturalesasturias.com/>
- Parra Lara, Á. del C., Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia), Red Colombiana de Formación Ambiental, & United Nations Environment Programme (Eds.). (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia* (Primera edición). Universidad Autónoma de Occidente: Red Colombiana de Formación Ambiental: PNUMA.

- Potter, C. (2014). Geographic Analysis of Burn Severity for the 2013 California Rim Fire. *Natural Resources*, 05(11), 597-606. <https://doi.org/10.4236/nr.2014.511052>
- Recondo, C., & Wozniak, E. (2002). *Cartografía de zonas quemadas en Asturias durante el período 1991-2001 a partir de imágenes Landsat-TM*.
- Rouse, W., & Haas, R. H. (1974). *MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS*.
- SADEI. (2023, marzo 15). Incendios forestales. *SOCIEDAD ASTURIANA DE ESTUDIOS ECONÓMICOS E INDUSTRIALES*. [https://www.sadei.es/incendios-forestales-y-superficie-quemada/noticias/incendios-forestales\\_1534\\_21\\_2048\\_0\\_1\\_in.html](https://www.sadei.es/incendios-forestales-y-superficie-quemada/noticias/incendios-forestales_1534_21_2048_0_1_in.html)
- Santis, A., & Chuvieco, E. (2007). Burn severity estimation from remotely sensed data: Performance of simulation versus empirical models. *Remote Sensing of Environment*, 108, 422-435. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.022>
- Sentinel-2—Missions—Sentinel Online*. (2015, septiembre 30). Sentinel Online. <https://copernicus.eu/missions/sentinel-2>
- Torres Becerra, C. E. (2019). *Proyecto actualización de componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria y actualización del Plan de Ordenamiento Territorial*. [https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO\\_TECNICO\\_DE\\_SOPORTE\\_14-06-19/DT04\\_Anexo14\\_MapadeAmenaza\\_porIncendiosForestales.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO_TECNICO_DE_SOPORTE_14-06-19/DT04_Anexo14_MapadeAmenaza_porIncendiosForestales.pdf)
- Turismo Asturias*. (2023). Recuperado 20 de junio de 2023, de <https://www.turismoasturias.es/home>
- Vales, J. J., Pino, I., Granado, L., Molina, R. P., Méndez, E., Rodríguez, M., Azcárate, F. G. de, Ortega, E., & Moreira, J. M. (2020). Cartografía de la afección y recuperación vegetal del incendio de Las Peñuelas en Moguer (Huelva) con imágenes satelitales. Año 2017. *Revista de Teledetección*, 57, Article 57. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13082>

Vega, L. Á. (2022, enero 1). *Asturias despide el año con 50 incendios, el más grave en Piñera (Cangas del Narcea)*. La Nueva España.

<https://www.lne.es/asturias/2022/01/01/asturias-despide-ano-50-incendios-61188068.html>

Yixin Zhao, Yajun Huang, Xupeng Sun, & Guanyu Dong. (2023). *Forest Fire Mapping Using Multi-Source Remote Sensing Data: A Case Study in Chongqing*.

<file:///C:/Users/usuario/Downloads/remotesensing-15-02323.pdf>