



Facultad de Ciencias experimentales

Grado en Ciencias Ambientales



CIENCIAS AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

Empleo de un índice de vegetación para analizar su relación con un índice de severidad en dos incendios

Autor: Mario Martínez Manchón

Curso académico de 2023/24

Tutor: César Guerrero Maestre

Departamento: Agroquímica y Medio Ambiente

Área: Edafología y Química Agrícola

Resumen

El fuego es un elemento natural que puede causar daños. Este potencial para causar daños hace que sea muy necesario conocer cómo se comportan los incendios y aprender a gestionarlos de una manera más segura y eficiente. En este caso, se aplica la teledetección para conocer si hay alguna relación entre la cantidad de vegetación previa al incendio y la severidad con que se quema esa vegetación durante el incendio, dando con que dicha relación es muy baja y negativa, haciendo pensar que la severidad depende muy poco de la cantidad de vegetación que hay antes del incendio, además de verse influenciada por otros factores más.

Palabras clave: Incendio forestal, teledetección, severidad, vegetación, índices, NDVI, dNBR, RdNBR

Abstract

Fire is a natural element that can cause damage. This potential to cause damage makes it very necessary to know how fires behave and learn how to manage them in a safer and more efficient way. In this case, remote sensing is applied to find out if there is any relationship between the amount of vegetation prior to the fire and the severity with which that vegetation burns during the fire, finding that said relationship is very low and negative, suggesting that the The severity depends very little on the amount of vegetation that exists before the fire, in addition to being influenced by other factors.

Keywords: Forest fire, remote sensing, severity, vegetation, index, NDVI, dNBR, RdNBR

Índice

1. Abreviaturas.....	3
2. Introducción.....	4
3. Objetivo	6
4. Material y métodos	7
4.1. Áreas de estudio y datos de los incendios a tratar	7
4.2. Datos de teledetección usados.....	8
4.3. Método de procesamiento	9
4.4. Índices empleados	14
5. Resultados y discusión.....	16
6. Conclusión	28
7. Bibliografía.....	29



1. Abreviaturas

NIR: Infrarrojo cercano

SWIR: Infrarrojo de onda corta

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NBR: Índice Normalizado de Área Quemada

dNBR: Diferencia Índice Normalizado de Área Quemada

RdNBR: Diferencia Relativa Índice Normalizado de Área Quemada



2. Introducción

El fuego es un elemento natural que forma parte de la mayoría de los ecosistemas terrestres en mayor o menor medida, de forma que los incendios forestales se suceden en diferentes partes del mundo. Al efecto de un incendio en las propiedades del ecosistema vegetativo se le va a llamar severidad en este trabajo, y se le va a definir como el grado de quemado, consumo y mortalidad de la vegetación y la recuperación proyectada o final (Lentile *et al.*, 2006; Morgan *et al.*, 2001).

Los factores ambientales más importantes que influyen en un incendio se pueden resumir con el triángulo del comportamiento del fuego. Estos factores que forman el triángulo son la meteorología, la topografía y el combustible. El factor meteorológico se basa en aspectos como la temperatura, la humedad, el viento y las precipitaciones. El factor topográfico está más centrado en aspectos como el relieve, la pendiente, la altitud y la exposición solar. Y el factor del combustible guarda relación con aspectos como el contenido de humedad de la vegetación, la proximidad entre combustibles, su tamaño y si el combustible es subterráneo, superficial o aéreo.

La recuperación vegetal y a la dinámica hidrogeomorfológica post-incendio están muy ligadas a la severidad, de forma que tasas de recuperación de la vegetación más bajas y tasas de erosión más elevadas están más vinculadas a la alta severidad que a la baja severidad (Doerr *et al.*, 2006; Moody *et al.*, 2013). La evolución que está teniendo el régimen de fuego a escala global es hacia un aumento de la intensidad, la extensión, la frecuencia y la severidad. El régimen referido es uno en el que los Grandes Incendios Forestales toman cada vez más protagonismo, de forma que con menos incendios se quema una mayor cantidad de hectáreas (Figura 1). Una de las causas principales del aumento de Grandes Incendios Forestales es la falta de heterogeneidad y discontinuidad en el paisaje. Esto se debe a cambios de tipo socioeconómico como son el abandono rural de las últimas décadas, y el consecuente abandono del pastoreo, de los cultivos y la tala para recolección de madera, lo que ha provocado el aumento de la carga de combustible (Pausas, 2018).

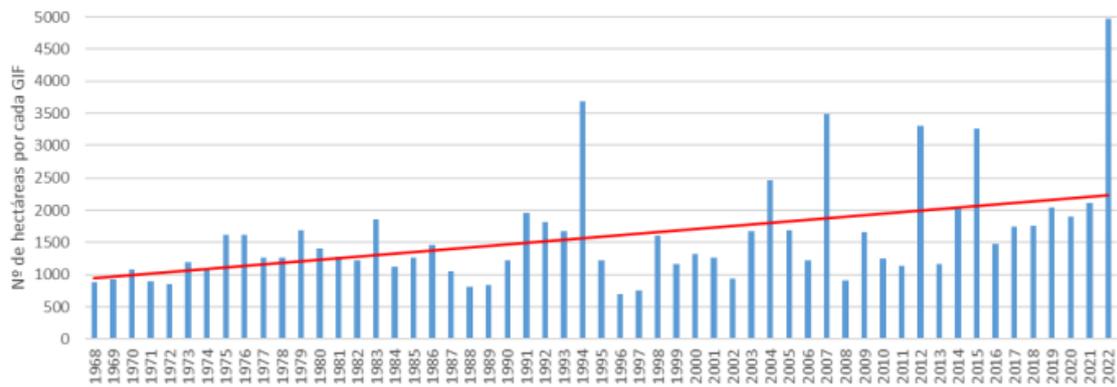


Figura 1. Número de hectáreas quemadas por cada Gran Incendio Forestal (GIF) en España (1968-2022). Basados en datos oficiales del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto Demográfico y EFFIS (Úbeda et al., 2023).

Debido, a la cada vez mayor frecuencia de los Grandes Incendios Forestales se vuelve muy necesario realizar una correcta gestión del combustible disponible para el fuego. Para realizar esta gestión es necesario conocer la cantidad de vegetación que hay disponible como combustible, lo cual se puede saber con índices de vegetación elaborados por medio de la teledetección. Aparte de los índices de vegetación también se pueden realizar índices de severidad, y juntos usarlos para estudiar si hay relación entre los combustibles y la severidad en los incendios.

La importancia de la teledetección a la hora de determinar cómo es esa relación está en que con la teledetección se puede cubrir una gran cobertura espacial de forma rápida y continua, mientras que con la observación directa es muy costoso en tiempo y dinero.

3. Objetivo

El objetivo de este estudio es determinar si existe una relación entre la cantidad de vegetación y la severidad con la que se ha quemado. Este análisis se ha realizado en dos incendios diferentes empleando un índice de vegetación y un índice para medir la severidad.



4. Material y métodos

4.1. Áreas de estudio y datos de los incendios a tratar

Las áreas de estudio corresponden a dos incendios diferentes que sucedieron en dos provincias diferentes de España.

Uno se encuentra en la provincia de Lugo, en el municipio de A Pobra do Brollón. El cuál se inició el 15 de julio de 2022 debido a un rayo de una tormenta, y fue extinto el 28 de julio de 2022. Durante estos 13 días en los que duró el incendio se quemaron 13.566 ha.

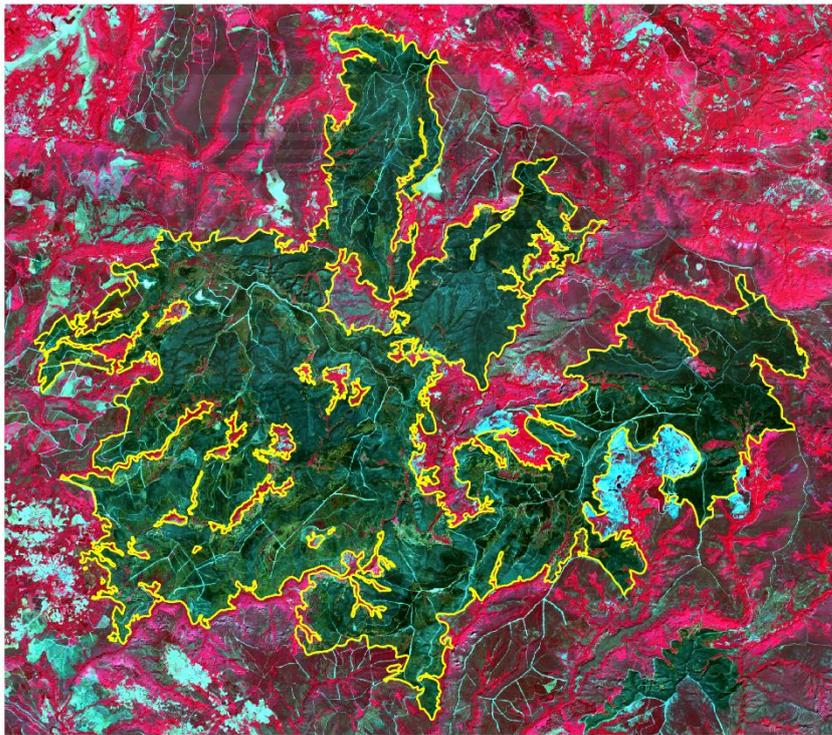


Figura 2. Imagen a Falso Color con perímetro indicando la zona que ha sufrido el incendio de A Pobra do Brollón. Elaboración propia.

El otro incendio se encuentra en la provincia de Alicante, en el municipio de Vall de Ebo. Este incendio se inició el 13 de agosto de 2022 debido a un rayo de una tormenta seca, y se vio extinto dos semanas después, el 27 de agosto de 2022. Este incendio se extendió hasta quemar una superficie de 11.934 ha y obtener un perímetro de 100 km.

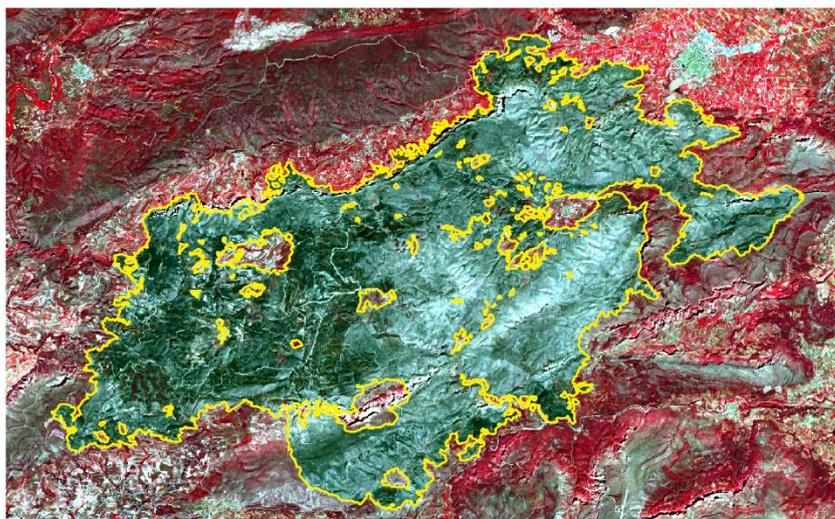


Figura 3. Imagen a Falso Color con perímetro indicando la zona que ha sufrido el incendio de Vall de Ebo. Elaboración propia.

Se han seleccionado estos incendios como áreas de estudio por pertenecer a dos tipos de climas diferentes.



Tabla 1. Características de los incendios. Elaboración propia.

Incendio	Fecha de inicio	Fecha de extinción	Duración	Causa
A Pobra do Brollón	15/07/2022	28/07/2022	13 días	Rayo
Vall de Ebo	13/08/2022	27/08/2022	14 días	Rayo

El polígono que delimitaba el perímetro del incendio de A Pobra do Brollón ha sido facilitado por la Xunta de Galicia. El perímetro del incendio de Vall de Ebo se ha obtenido a partir de la Generalitat Valenciana.

4.2. Datos de teledetección usados

Los datos usados han sido obtenidos a partir del procesamiento de 4 imágenes realizadas por la misión de observación terrestre Sentinel 2, del programa Copernicus, de la

Agencia Espacial Europea. Las características de estas imágenes se pueden observar en la tabla 2.

Tabla 2. Imágenes empleadas. Elaboración propia.

Imagen	Fecha	Momento	Área de estudio
S2A_MSIL2A_20220708T112131_N0400_R037_T29TPH_20220708T173530	08/07/2022	Pre-incendio	A Pobra do Brollón
S2A_MSIL2A_20220812T112119_N0400_R037_T29TPH_20220812T124934	12/08/2022	Post-incendio	A Pobra do Brollón
S2A_MSIL2A_20220510T104621_N0400_R051_T30SYJ_20220510T174921	10/05/2022	Pre-incendio	Vall de Ebo
S2A_MSIL2A_20220907T105041_N0400_R051_T30SYJ_20220907T165703	07/09/2022	Post-incendio	Vall de Ebo

En la tabla 2 se puede observar que todas las imágenes son S2MSIL2A, es decir, son de nivel 2, por lo que incluyen correcciones atmosféricas. Por ello, los niveles digitales de cada pixel son valores relacionados directamente con la reflectancia de la superficie en el fondo de la atmósfera. (ESA).

4.3. Índices empleados

A partir de las imágenes de la tabla 2 se han realizado unos índices espectrales basados en cambios en la reflectividad superficial asociados con la eliminación de la vegetación, la exposición del suelo, los cambios en el contenido de humedad y la aparición de nuevas cubiertas. El máximo exponente de estos cambios en la reflectividad superficial es el descenso en las regiones del visible (VIS) e infrarrojo cercano (Near Infrared Reflectance, NIR) y el incremento en la reflectividad del infrarrojo medio de onda corta (Short Wave Infrared Reflectance, SWIR) con las áreas quemadas. Al mismo tiempo se da un aumento en el NIR y un descenso en el SWIR con vegetación sana (Figura 2) (Key & Benson, 2006; White et al., 1996).

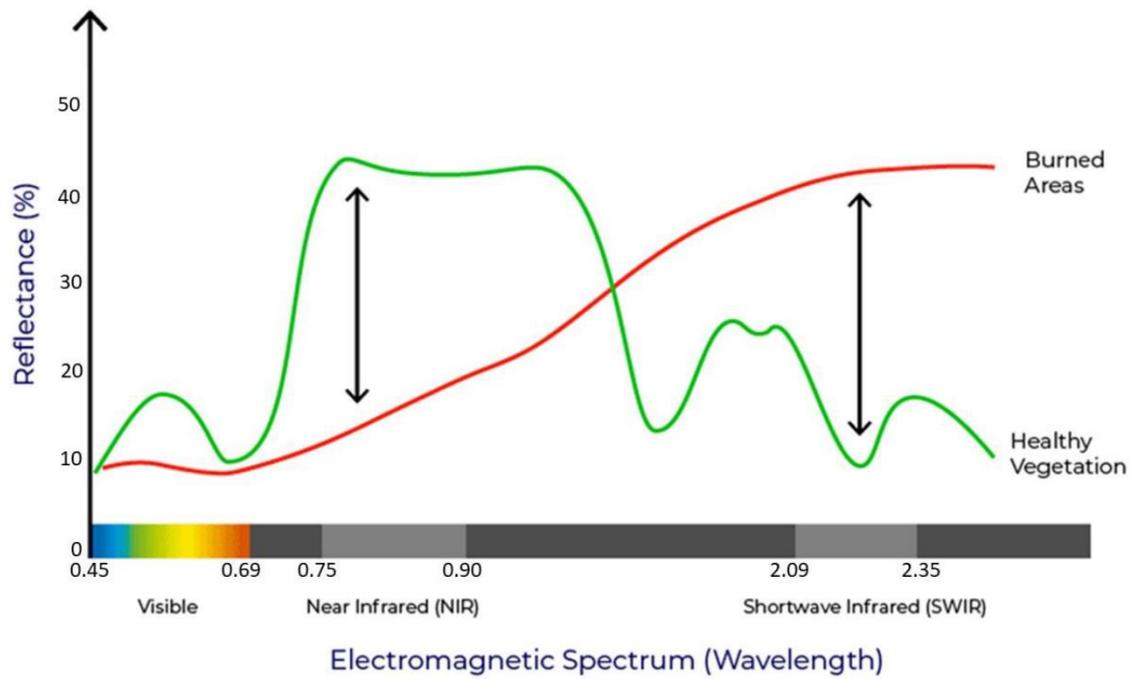


Figura 4. Comparación de la respuesta espectral de vegetación sana y con áreas quemadas. Servicio Forestal del USDA.

Los índices espectrales que se han elaborado han sido el NDVI, NBR, dNBR y RdNBR, y se han elaborado con el fin de poder obtener información que nos resulte útil para nuestro estudio. Uno de estos índices (NDVI) sirve para medir la cantidad de vegetación mientras que otros (dNBR y RdNBR) sirven para medir la severidad de un incendio. Una vez que tenemos la información que nos proporcionan los índices, la usamos para analizar la relación que hay entre la cantidad de vegetación pre-incendio y la severidad del incendio.

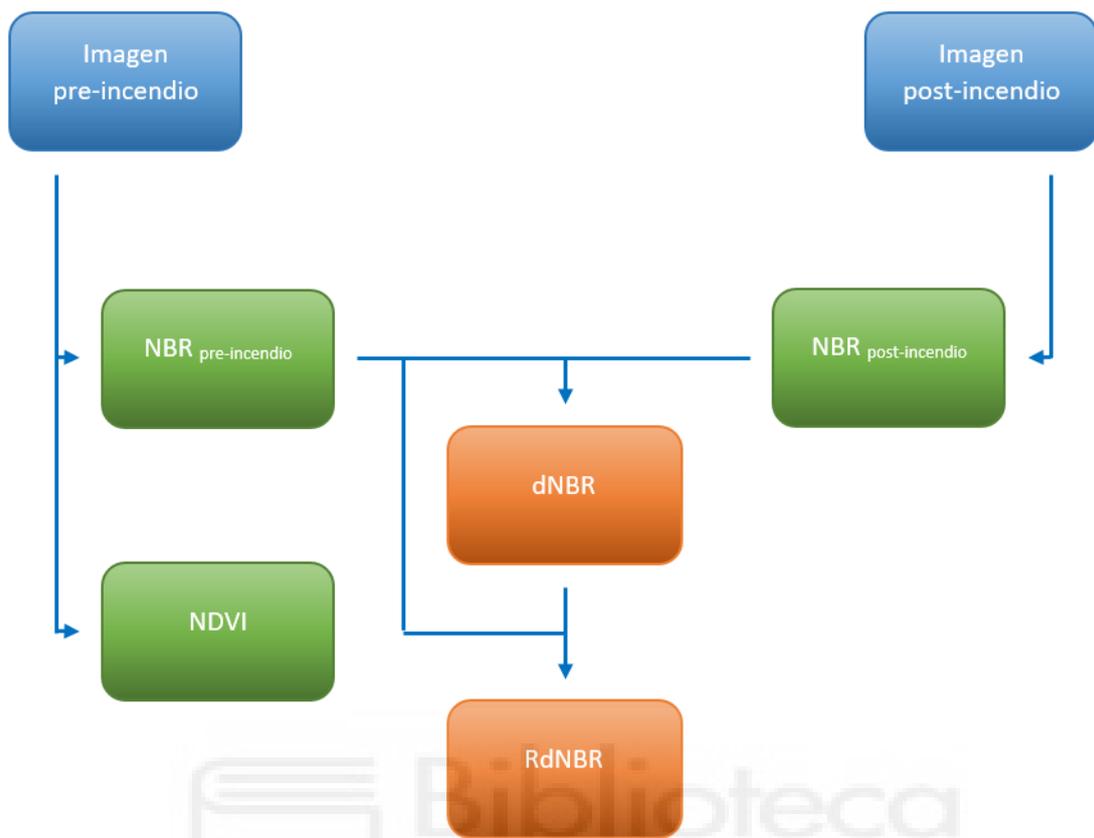


Figura 5. Esquema de los índices obtenidos de cada imagen. Los índices verdes miden la cantidad de vegetación y los índices rojos la severidad del incendio. Elaboración propia.

Tabla 3. Bandas de Sentinel 2. En verde están las bandas empleadas para elaborar los distintos índices empleados. Elaboración propia.

SENTINEL 2		
Bandas	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
Banda 1 - Aerosol	0,43 - 0,45	60
Banda 2 - Blue	0,45 - 0,52	10
Banda 3 -Green	0,54 -0,57	10
Banda 4 - Red	0,65 - 0,68	10
Banda 5 - Red edge 1	0,69 - 0,71	20
Banda 6 - Red edge 2	0,73 - 0,74	20
Banda 7 - Red edge 3	0,77 - 0,79	20
Banda 8 - Near Infrared (NIR) 1	0,78 - 0,90	10
Banda 8A - Near Infrared (NIR) 2	0,85 - 0,87	20
Banda 9 - Water vapour	0,93 - 0,95	60
Banda 10 - Cirrus	1,36 - 1,39	60
Banda 11 - SWIR 1	1,56 - 1,65	20
Banda 12 -SWIR 2	2,16 - 2,28	20

El NDVI se ha obtenido para medir la vegetación puesto que es el índice espectral más usado con este fin. Este índice se calcula a partir de la banda 8 (NIR) y la banda 4 (Red) en Sentinel 2, donde NIR es la luz reflejada en el rango infrarrojo del espectro y Red la luz reflejada del rango rojo del espectro. Para el NDVI se ha seguido la expresión (Rouse *et al.*, 1973):

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)$$

También hemos necesitado el NBR (Normalized Burn Ratio), que muestra las diferencias de reflectancia en la vegetación usando la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared Reflectance) y la reflectancia del infrarrojo de onda corta (SWIR; Short Wave Infrared Reflectance). A mayor cantidad de vegetación sana, mayor reflectividad de NIR y menor de SWIR, y viceversa con la vegetación quemada, como se puede observar en la Figura 4. Las bandas utilizadas en Sentinel 2 para el NBR son la banda 8 (NIR) y la banda 12 (SWIR), según la expresión: $NBR = (B8 - B12) / (B8 + B12)$. Se realiza un NBR pre-incendio y otro NBR post-incendio y los usamos para obtener el dNBR. El dNBR sirve para medir la severidad de un incendio a través de la diferencia entre el NBR pre-incendio y NBR post-incendio, de forma que los valores más altos indican una mayor severidad del incendio. El dNBR se expresa como (Key & Benson, 2006):

$$dNBR = (NBR_{pre-incendio} - NBR_{post-incendio})$$

Sin embargo, en lugares en donde la distribución de la vegetación no es homogénea, el uso directo del dNBR puede llevar a problemas.

Si se observa la Figura 6, los casos A y B ilustran dos píxeles que se han visto afectados por una severidad alta. Sin embargo, al ser dos píxeles que partían de cantidades de vegetación muy distintas, el valor del dNBR en cada caso es muy distinto, y un simple análisis de su valor nos estaría sugiriendo que la severidad en B (dNBR=750) ha sido mucho mayor que en A (dNBR=25). De hecho, si simplemente comparamos los valores del dNBR en los casos A y C podríamos incluso concluir erróneamente con que la severidad en C (dNBR= 400) ha sido mayor que en A (dNBR=375), cuando en realidad la severidad de C ha sido más baja. Por esto, el dNBR sólo se puede interpretar correctamente como una medida directa de severidad en aquellos casos (píxeles) en donde se parta de valores iniciales similares; éste es el caso de la comparación entre B y C, en donde los valores diferentes de dNBR sí son informativos de una diferente severidad. Por todo esto, en aquellos incendios que afecten zonas con una distribución heterogénea de la vegetación, será más conveniente usar una medida relativa del dNBR. En este caso sería el RdNBR. La formulación matemática habitual de un índice de cambio relativo, como el RdNBR, es dividir el valor del cambio por el valor del índice anterior a la perturbación (Key y Benson, 2005). Para ello se utiliza el RdNBR, que sigue la expresión:

$$\text{RdNBR} = \text{dNBR} / (|\text{NBRpre-incendio}|^{0.5})$$

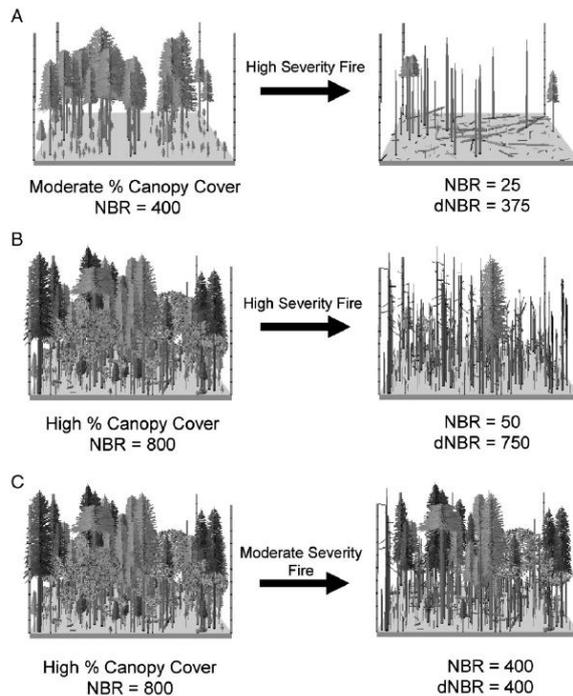


Figura 6. Problemática del dNBR al comparar píxeles con diferente cantidad de vegetación. Miller et al, 2007.

Tabla 4. Índices empleados. Elaboración propia.

Notación	Índice	Fórmula (Sentinel 2)	Referencia
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada	$(B8 - B4) / (B8 + B4)$	Rouse <i>et al.</i> , 1973
NBR	Índice Normalizado de Área Quemada	$(B8 - B12) / (B8 + B12)$	López y Caelles, 1991
dNBR	Diferencia Índice Normalizado de Área Quemada	$NBR_{pre-incendio} - NBR_{post-incendio}$	Key y Benson, 2006
RdNBR	Diferencia Relativa Índice Normalizado de Área Quemada	$dNBR / (NBR_{pre-incendio} ^{0.5})$	Miller y Thode, 2007

4.4. Método de procesamiento

El procesamiento de estas imágenes, descargadas desde el Copernicus Open Access Hub, se ha llevado a cabo a través de dos sistemas de información geográfica, en este caso fue QGIS (Quantum Geographic Information System) y SAGA (Sistema para Análisis Geocientíficos Automatizados). En QGIS se han recortado las imágenes a las zonas de estudio en base al perímetro del incendio correspondiente y se han dejado solo las bandas de la imagen que se iban a necesitar para obtener los índices que hemos seleccionado para nuestro estudio. Además, se han remuestreado todos los tamaños de píxeles de todas las bandas a 10x10 metros. Tras esto, se han elaborado los distintos índices que se requieren. También se ha aplicado la máscara "scl_vegetation" (Scene Classification map; mapa de píxeles que indica, en este caso, donde hay

píxeles con vegetación) a todas las bandas, la cual permite mantener solamente los píxeles de las bandas que han sido clasificados como de vegetación, al mismo tiempo que, descarta los píxeles sin esa clasificación de vegetación. También se han descartado todos los píxeles de vegetación con un valor inferior a 0.05 del NBR pre-incendio, ya que, aunque estén en el interior del perímetro y sean clasificados como píxeles de vegetación, seguramente sean cubiertas artificiales que podrían alterar los resultados.

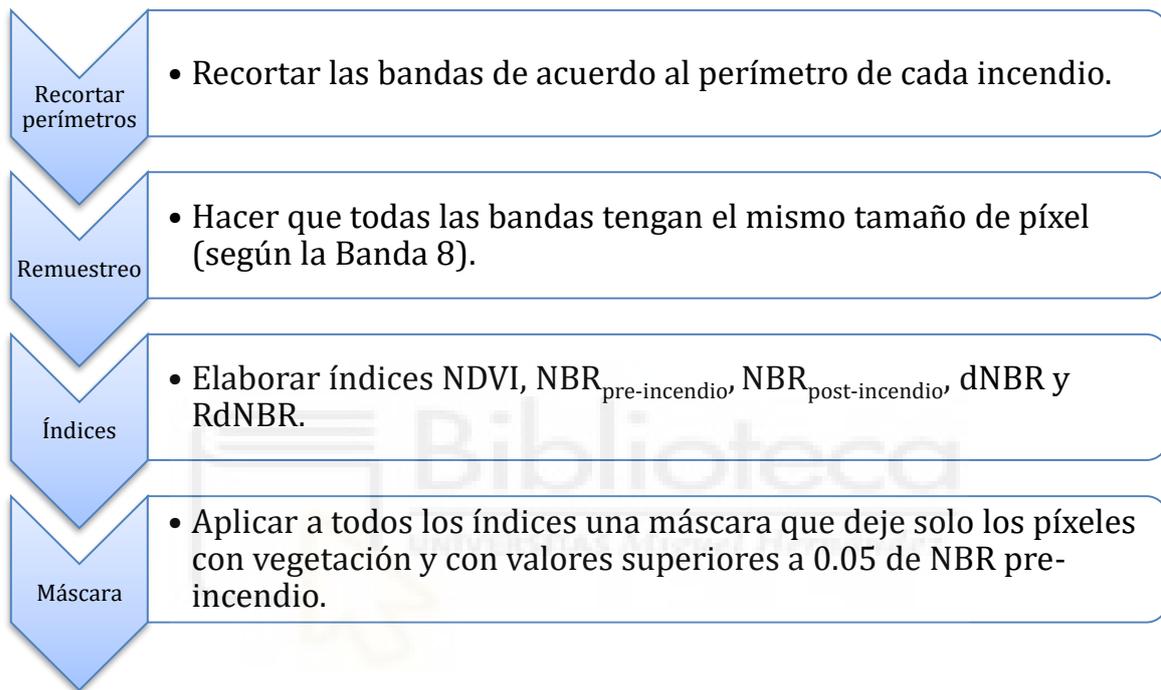


Figura 7. Representación gráfica de los pasos a seguir para el procesamiento de las imágenes empleadas. Elaboración propia.

Una vez obtenidos los índices se ha usado el programa SAGA para la elaboración de los gráficos de dispersión.

5. Resultados y discusión

Para tener una mejor comprensión de los resultados se ha empezado por analizar los histogramas de los principales índices empleados (NDVI, dNBR y RdNBR) en cada incendio.

Para entender mejor si las zonas afectadas por los incendios tienen la vegetación distribuida de forma homogénea o heterogénea se han realizado unos histogramas del índice NDVI pre-incendio.

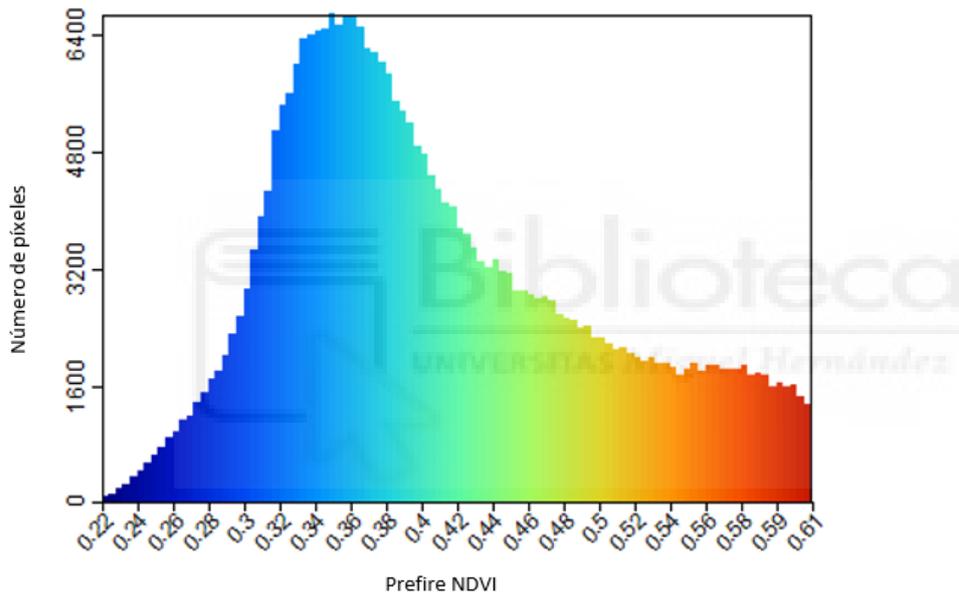


Figura 8. Histograma del Prefire NDVI de A Pobra do Brollón.

En el histograma del NDVI de A Pobra do Brollón (Figura 8) la cantidad de vegetación se distribuye con cierto grado de heterogeneidad. Aunque la mayoría de píxeles de vegetación poseen valores de 0.30 - 0.40 de NDVI, también hay muchos píxeles con valores superiores a 0.40.

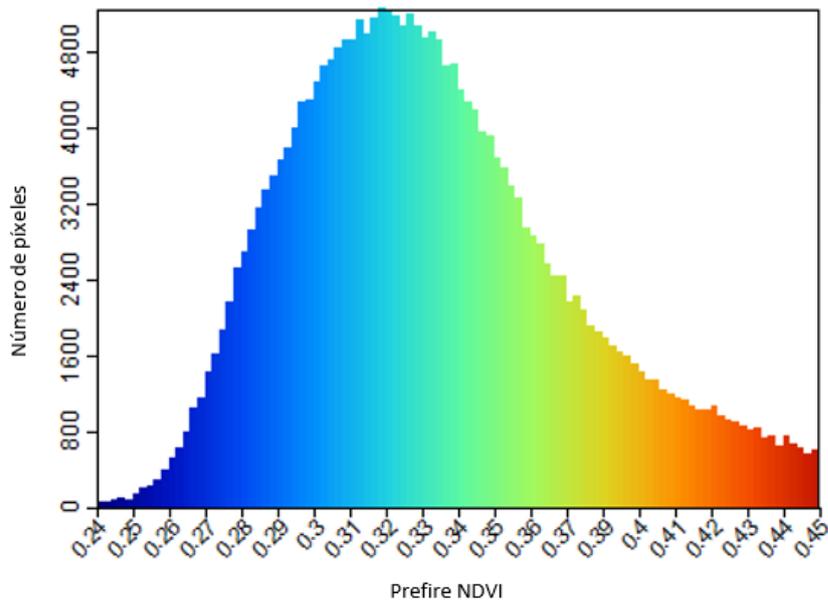


Figura 9. Histograma del Prefire NDVI de Vall de Ebo.

En Vall de Ebo (Figura 9), el histograma del NDVI también indica una distribución heterogénea de la cantidad de vegetación, en este caso con muchos valores entre los 0.28 y 0.34 aproximadamente.

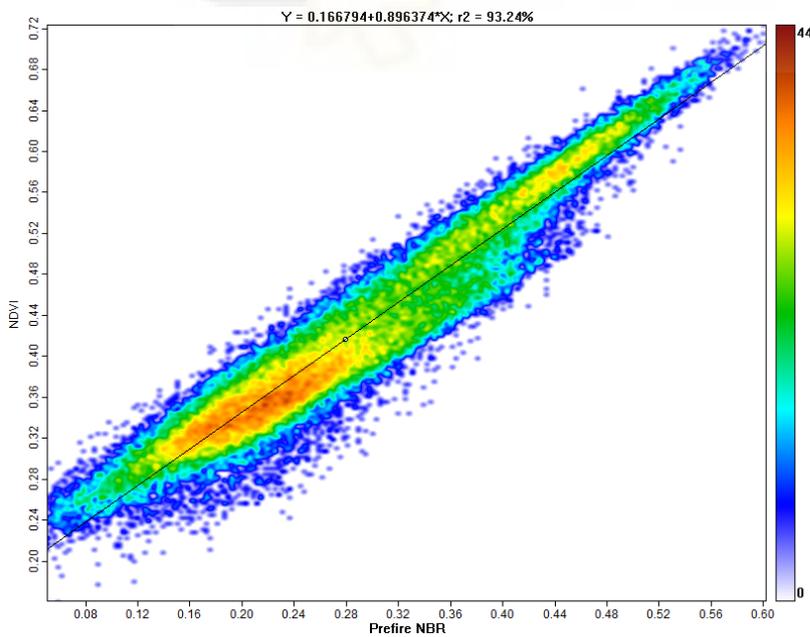


Figura 10. Gráfico de dispersión de Prefire NBR - NDVI en A Pobra do Brollón.

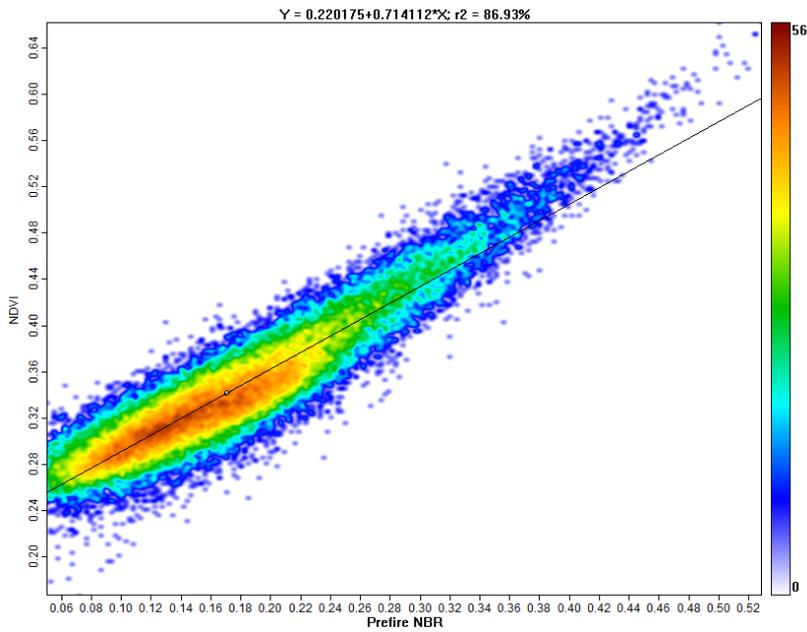


Figura 11. Gráfico de dispersión de Prefire NBR - NDVI en Vall de Ebo. Elaboración propia.

Los gráficos de dispersión de las figuras 10 y 11 muestran ambos unas correlaciones muy altas entre los índices de vegetación Prefire NBR y NDVI. Las correlaciones entre estos índices son del 93.24% en A Pobra do Brollón (Figura 12) y del 86.93% en Vall de Ebo (Figura 13).

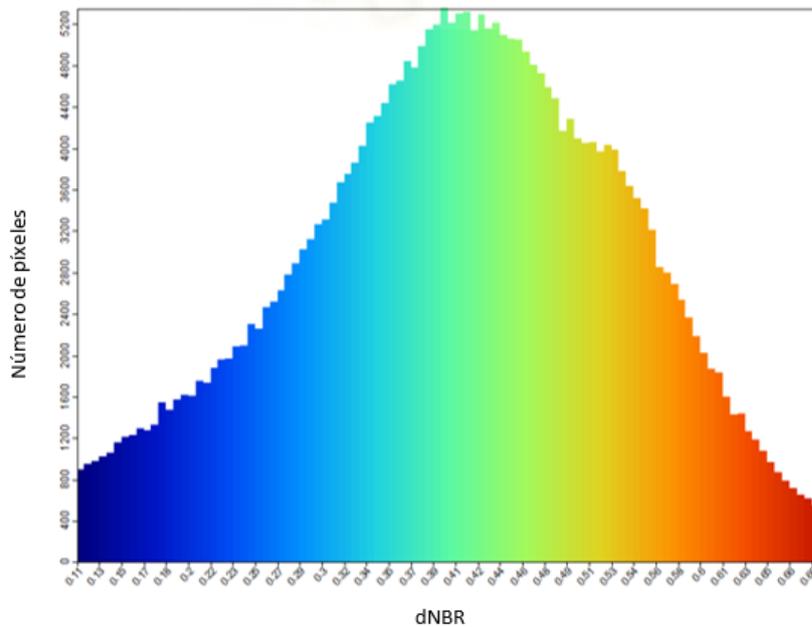


Figura 12. Histograma del dNBR de A Pobra do Brollón.

Si estudiamos los histogramas de los índices de severidad vemos que el histograma dNBR de A Pobra do Brollón (Figura 12) muestra que la severidad, según este índice de severidad, se encuentra principalmente entre los valores 0.34 – 0.50. Por lo que, en términos generales, se podría decir que se muestra una severidad media.

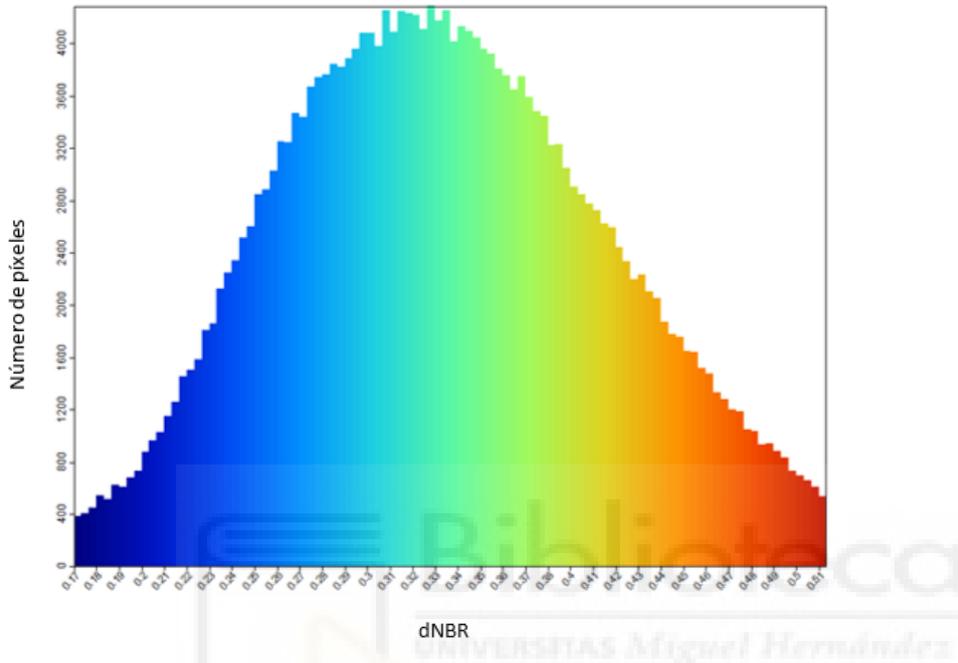


Figura 13. Histograma del dNBR de Vall de Ebo.

En el histograma del índice dNBR de Vall de Ebo (Figura 13) se muestra una concentración de los píxeles en torno a los valores 0.25 – 0.40, dando lugar a que la mayoría de píxeles de este índice tengan una severidad media.

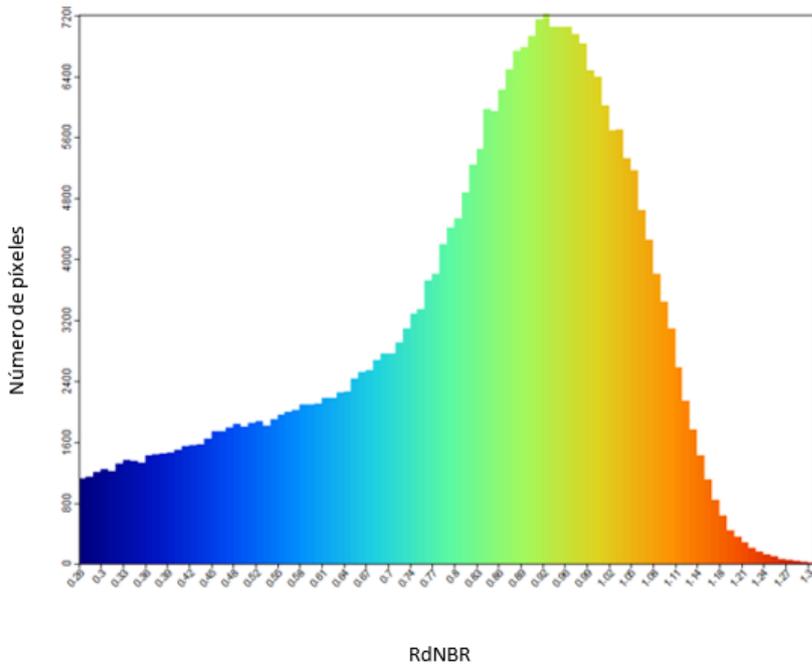


Figura 14. Histograma del RdNBR de A Pobra do Brollón.

Sin embargo, el histograma de RdNBR de A Pobra do Brollón (Figura 14), muestra que la mayoría de píxeles da unos valores de severidad de entre 0.80 – 1.10, dándose en la mayoría de píxeles una severidad entre media y alta.

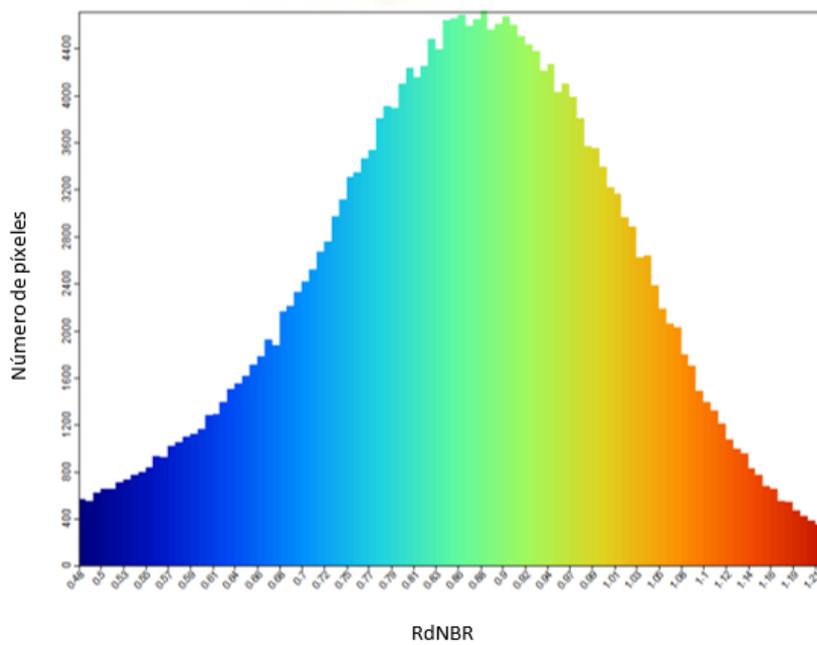


Figura 15. Histograma del RdNBR de Vall de Ebo.

Al realizarse el histograma con el índice de severidad RdNBR de Vall de Ebo se muestra que la mayoría de píxeles se han localizado en torno a los valores 0.77 y 1.00, de esta forma se podría decir que el índice de severidad RdNBR indica que se ha dado una severidad media.

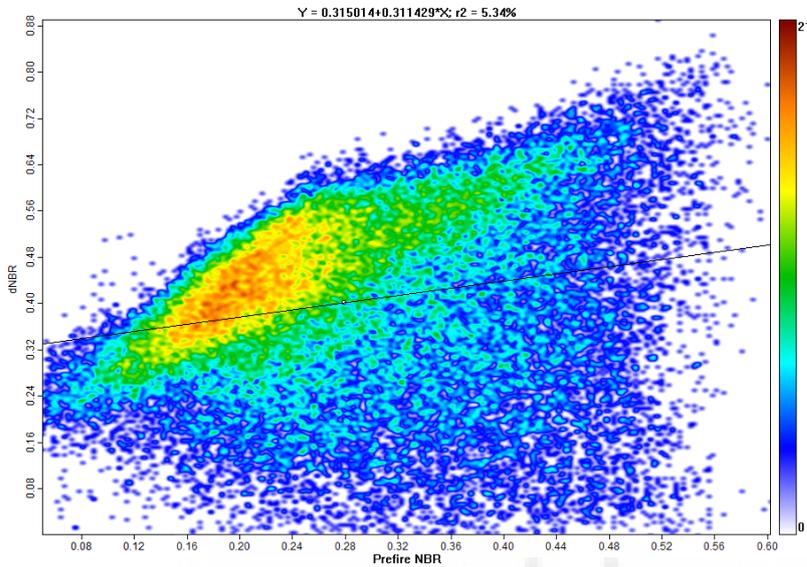


Figura 16. Gráfico de dispersión de Prefire NBR - dNBR en A Pobra do Brollón.

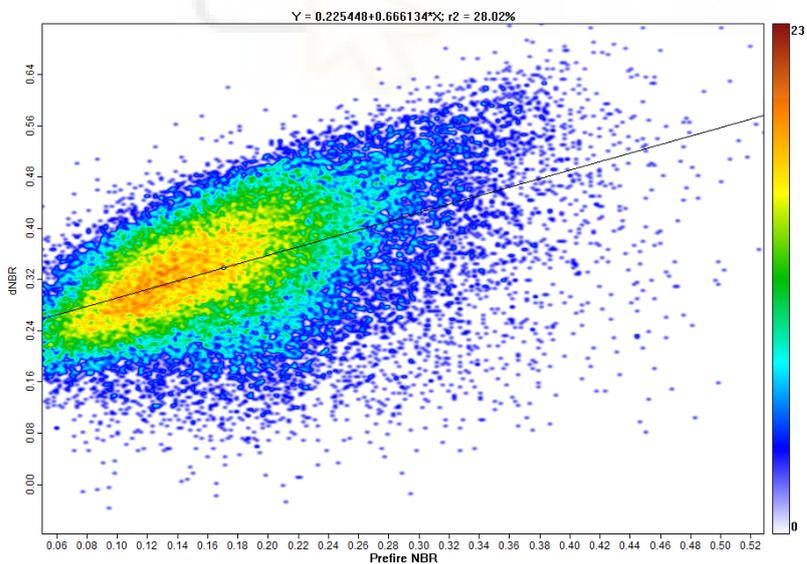


Figura 17. Gráfico de dispersión de Prefire NBR - dNBR en Vall de Ebo.

En la figura 6 se mostraba que aquellos píxeles con poca cantidad de vegetación, y por tanto con valores bajos de NBR pre-incendio, aunque éstos se quemasen completamente, nunca

podían llegar a resultar en valores altos de dNBR, ya que dNBR simplemente captura la variación. De hecho, en las figuras 16 y 17 podemos ver que no tenemos valores altos de dNBR para valores bajos de NBR pre-incendio. Como consecuencia, aparentemente podríamos concluir que para valores de NBR pre-incendio bajos (píxeles con poca vegetación) no hay alta severidad, e incluso ver que sí se da cierta correlación entre cantidad de vegetación y severidad (medida por dNBR), sobre todo en Vall de Ebo. Pero eso podría ser sólo debido a la imposibilidad de tener valores de dNBR altos cuando NBR pre-incendio es bajo.

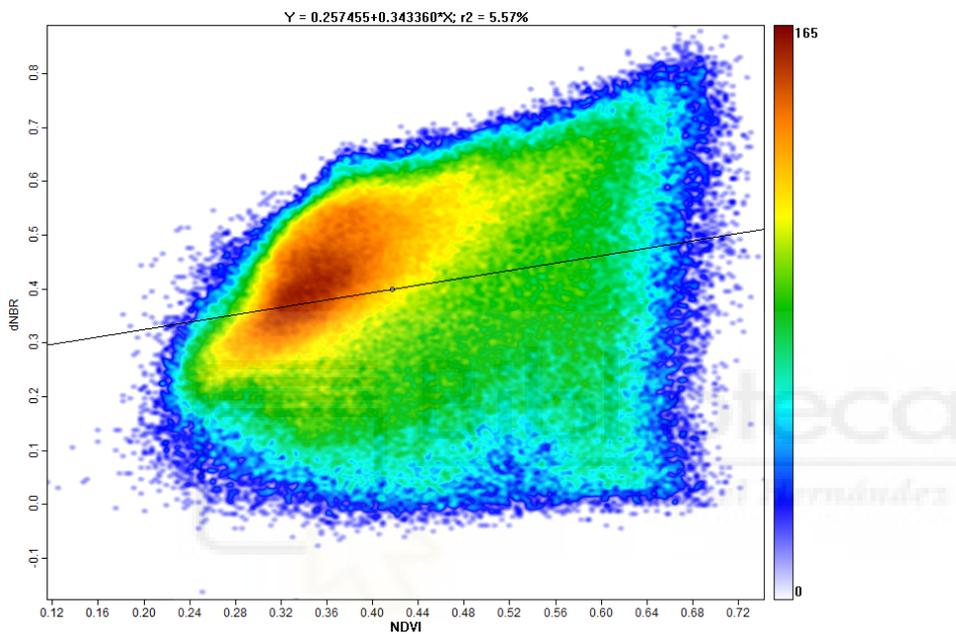


Figura 18. Gráfico de dispersión de Prefire NDVI - dNBR en A Pobra do Brollón.

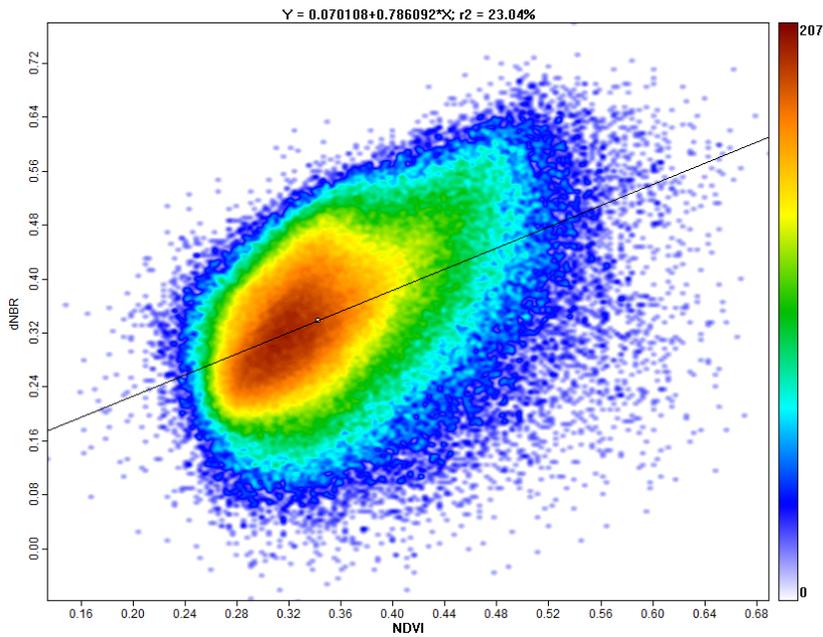


Figura 19. Gráfico de dispersión de Prefire NDVI - dNBR en Vall de Ebo.

En las figuras 18 y 19 se pueden observar unos resultados muy similares a las figuras 16 y 17, en los que valores bajos del índice de vegetación NDVI nunca tendrán unos niveles de severidad tan altos, y como antes, incluso podrían sugerir que sí existe una correlación positiva entre severidad y cantidad de vegetación.

Debido a las limitaciones del dNBR como medida de la severidad cuando la zona quemada es heterogénea, parece claro que se debe usar preferentemente el RdNBR como índice de severidad en esas condiciones.

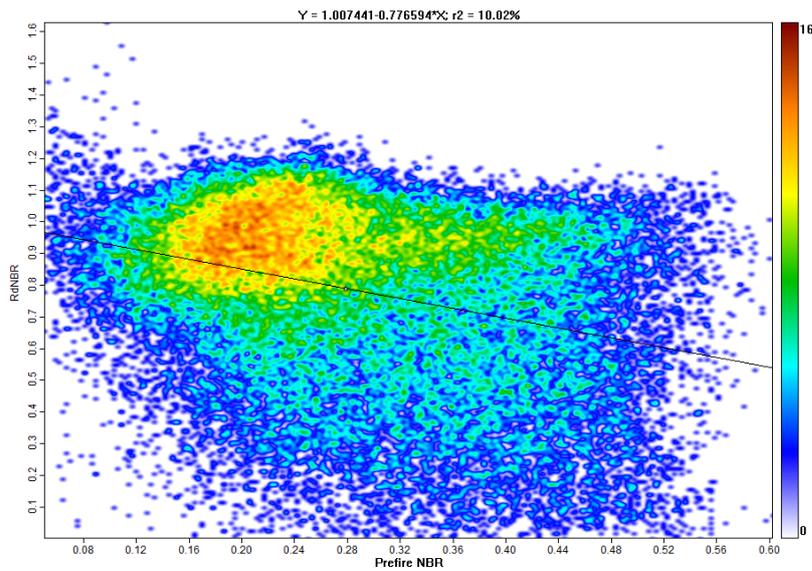


Figura 20. Gráfico de dispersión de Prefire NBR - RdNBR en A Pobra do Brollón.

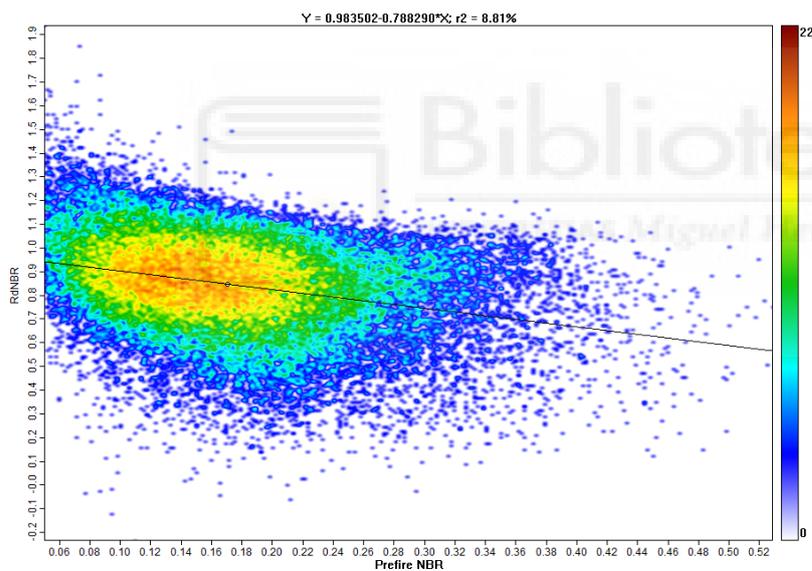


Figura 21. Gráfico de dispersión de Prefire NBR - RdNBR en Vall de Ebo.

Como se observa en las figuras 20 y 21, se pueden encontrar severidades altas en pixeles con valores de NBR pre-incendio tanto altos como bajos. Esto indica que al relativizar el dNBR, ya no hay pixeles que tengan su severidad limitada al valor del NBR pre-incendio, lo que permite visualizar un gráfico de dispersión que correlacione NBR pre-incendio y RdNBR. Es importante destacar que los resultados son muy similares a los obtenidos por Miller y Thode (2007), que son los autores que propusieron usar el dNBR expresado de manera relativa como RdNBR. En su

estudio vieron que RdNBR ofrecía valores de severidad más cercanos a la realidad, verificado con mediciones de severidad en campo (índice CBI; Miller y Thode, 2007).

Las correlaciones que hay entre estos dos índices (RdNBR y NBR-preincendio) en estos dos incendios son bajas, siendo de 10.02% en A Pobra do Brollón y 8.81% en Vall de Ebo.

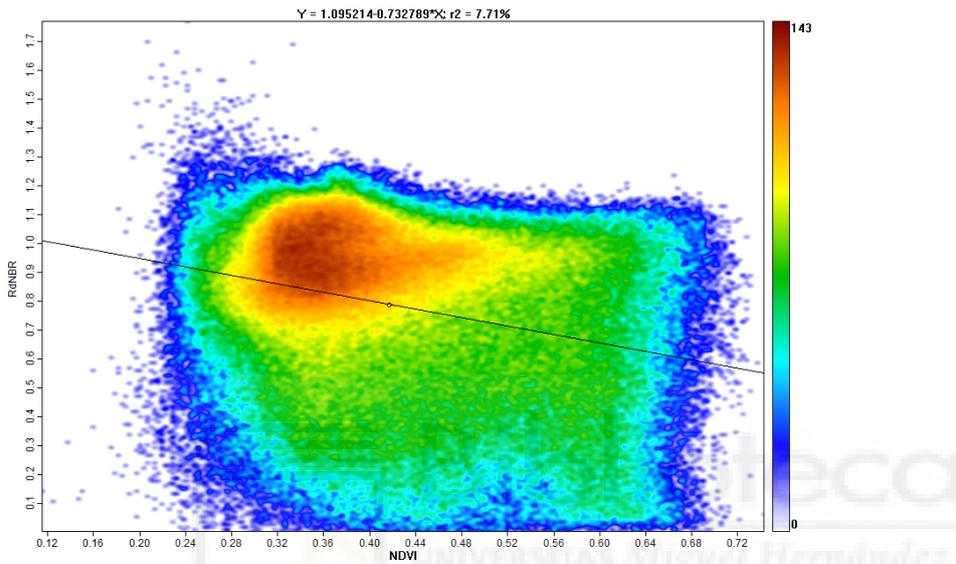


Figura 22. Gráfico de dispersión de Prefire NDVI - RdNBR en A Pobra do Brollón.

Si comparamos la cantidad de vegetación medida a través del índice NDVI con la severidad medida a través del RdNBR en A Pobra do Brollón (Figura 22), obtendremos que los datos aparecen distribuidos por toda la gráfica, de forma parecida a como ocurre con la figura 20. Esto indica una baja correlación entre la cantidad de vegetación y la severidad, lo cual se ve respaldado por el r^2 , que es de un 7.71%. De hecho, la correlación percibida es negativa, indicando que cuanto mayor es la cantidad de vegetación, menor es la severidad que sufre.

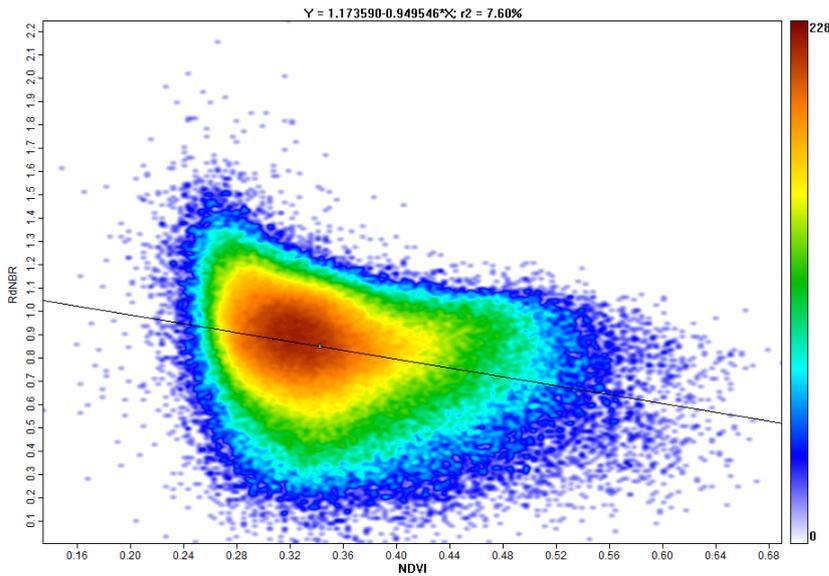


Figura 23. Gráfico de dispersión entre Prefire NDVI - RdNBR en Vall de Ebo.

Si hacemos la misma comparación entre el NDVI y el RdNBR en Vall de Ebo (Figura 23), podemos apreciar que los píxeles con valores bajos de NDVI han sido los que más han sufrido una alta severidad, y conforme aumentaba la cantidad de vegetación, la severidad ha descendido suavemente hasta situarse en una severidad media como mucho. Con todo esto podemos ver que la correlación entre ambos índices es muy baja, teniendo un r^2 de 7.60%, y como aspecto más relevante la tendencia negativa, indicando que cuanto mayor es la cantidad de vegetación, menor es la severidad.

El hecho de que se observe una menor severidad cuando la cantidad de vegetación es elevada podría deberse a varias causas. Una de ellas podría ser el tipo de vegetación implicada, y por tanto con diferente combustibilidad; otra causa podría ser la mayor humedad que suele darse en zonas con abundante cantidad de vegetación, lo que podría influir en que el fuego tenga una menor intensidad (al tener que evaporar el agua antes de arder) y menor severidad.

Estos resultados sólo integran datos de dos incendios. Si lo observado aquí fuese más general, cosa que desconocemos, la relación entre los GIF y la cantidad de vegetación podría estar mediada por la conectividad o continuidad de los combustibles, y en menor grado por la severidad.

Puesto que no se ha podido realizar trabajo de campo, al ser inabordable para un TFG, la interpretación de algunos resultados podría ser un tanto diferente, ya que la forma en la que se relativiza el dNBR para expresarlo como RdNBR es una fórmula que fue desarrollada con datos

de 14 incendios localizados en Sierra Nevada (California, USA), y que podría no tener una validez global (Miller y Thode, 2007) para otras zonas con vegetación diferente.



6. Conclusión

Tras realizar los gráficos de dispersión realizados con el índice de vegetación NDVI y el índice de severidad RdNBR se ha observado que la correlación entre ambos índices es muy baja y, además, es negativa. También se ha comprobado a través de los gráficos que el índice de severidad dNBR no es tan adecuado como el RdNBR para los entornos en donde se han desarrollado los incendios estudiados. Para finalizar, añadir que este trabajo se hizo con el fin de ayudar a realizar una correcta gestión del combustible que supone la vegetación para los incendios, pero como las relaciones establecidas entre la cantidad de vegetación y la severidad han sido muy bajas, se concluye que la cantidad de vegetación por sí sola no tiene una influencia en la severidad de un incendio, por lo que estaría bien realizar de nuevo este estudio teniendo en cuenta otros parámetros.



7. Bibliografía

S. H. Doerr, R. A. Shakesby, W. H. Blake, C. J. Chafer, G. S. Humphreys, P.J. Wallbrink, 2006. Effects of differing wildfire severities on soil wettability and implications for hydrological response. *Journal of Hydrology*, 319: 295-311.

J. A. Moody, R. A. Shakesby, P. R. Robichaud, S. H. Cannon, D. A. Martin. 2013. Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes. *Earth-Science Reviews*, 122: 10-37.

C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, L. J. Gangi, D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti. 2006. Landscape Assessment (LA). In: Lutes, D. C., et al. (eds.) FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

J. D. White, K. C. Ryan, C. C. Key, S. W. Running. 1996. Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery. *International Journal of Wildland Fire*, 6: 125-136.

Plan Nacional de Teledetección (PNT), IGN. <https://pnt.ign.es/satelites-sentinel>

Instituto Geográfico Nacional (IGN).

<https://www.ign.es/web/ign/portal/copernicus/presentacion>

OBS-Teledeteccion.pdf. ign.es. <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>

THE EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). Sentinel-2 MSI User Guide - Product Types.

<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>

C. H. Key, N. C. Benson, S. Sutherland, L. J. Gangi, D. C. Lutes, R. E. Keane, J. F. Caratti. 2005. Landscape assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In D. C. Lutes (Ed.), FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. General Technical Report, RMRS-GTR-164-CD:LA1-LA51. (pp.) Ogden, UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

J. G. Pausas, N. F. García, M. Casal. 2018. Incendios forestales, encrucijada natural y social. *Academia de Ciencias Sociales y del Medio Ambiente de Andalucía*. pp. 9-14.

X. Úbeda, J. Farguell, M. Francos, J. M. Solera. 2023. Los grandes incendios forestales y sus consecuencias en el suelo. <https://postfire-care.es/wp-content/uploads/2023/09/Ubeda-et-al.-2023.pdf>

Servicio Forestal de USDA. <https://www.fs.usda.gov/>

J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, D.W. Deering. 1973. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. 3rdERST Symposium, NASA, 1, 309-317.

J. D. Miller, A. E. Thode. 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109 (2007), 66–80.

Lentile, L. B.; Holden, Z. A.; Smith, A. M. S.; Falkowski, M. J.; Hudak, A. T.; Morgan, P.; Lewis, S. A.; Gessler, P. E.; Benson, N. C. 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal of Wildland Fire*. 15: 319–345.

Morgan, P.; Hardy, C. C.; Swetnam, T; Rollins, M. G.; Long, L. G. 2001. Mapping fire regimes across time and space: understanding coarse and fine-scale patterns. *International Journal of Servicio Forestal de Los Estados Unidos Gen. Tec. Rep. 243. 2022 51 Wildland Fire*. 10: 329–342.

