

## Uso de técnicas de teledetección para determinar la relación entre la historia de incendios y la severidad del fuego

Fernández-García, V., Beltrán-Marcos, D., Pinto-Prieto, R., Fernández-Guisuraga, J.M., Calvo, L.

Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, Campus de Vegazana s / n, 24071 León, España. vferg@unileon.es

**Resumen:** Los regímenes de incendios en la Cuenca Mediterránea se están modificando debido a cambios en el clima y en los usos del suelo. Estos cambios pueden comprometer la capacidad de la vegetación para recuperarse, por lo que su estudio es de gran interés. El objetivo de este trabajo es caracterizar los atributos del régimen de incendios (tiempo desde el último incendio, recurrencia y severidad) mediante técnicas de teledetección, así como analizar la relación entre la historia de incendios (tiempo desde el último incendio y recurrencia de incendios) y la severidad del fuego. Para ello se seleccionaron dos grandes incendios ocurridos en la Península Ibérica: el incendio de La Cabrera (9939 ha) y el incendio de Gátova (1414 ha). En cada una de las zonas se caracterizó el régimen de incendios utilizando la serie temporal de imágenes Landsat 1984-2017 (sensores TM, ETM+ y OLI). Los resultados mostraron una alta heterogeneidad espacial en relación con los tres atributos del régimen de incendios en ambas zonas de estudio. La Cabrera mostró una amplia variedad de situaciones, con periodos libres de incendios entre 0 y 33 años y recurrencias entre 1 y 7 incendios. En Gátova predominaron los periodos libres de fuego largos (> 20 años) y la baja recurrencia (1-2 incendios). La variación espacial de la severidad mostró una distribución por categorías equitativa en ambos incendios. El análisis de la relación entre los parámetros de la historia de incendios y la severidad del fuego mostró en ambas zonas de estudio que las severidades más altas se alcanzaron en las zonas que se quemaron hace 15-20 años, mientras que las zonas recientemente quemadas y las no quemadas anteriormente presentaron severidades menores. Este estudio demuestra la capacidad de las imágenes Landsat para analizar los potenciales condicionantes de la severidad del fuego en grandes incendios forestales.

**Palabras clave:** grandes incendios, intervalo libre de fuego, Landsat, recurrencia de incendios, régimen de incendios, severidad del fuego.

### *Using remote sensing methods to study the relationship between fire history and burn severity*

**Abstract:** Fire regimes in the Mediterranean Basin are changing owing to shifts in climate and land use. These changes in fire regimes might hinder the capacity of vegetation to recover after disturbances, being their study of great interest. The objective of this work is to characterize the fire regime attributes (time since the last fire, fire recurrence and burn severity) by means of remote sensing, as well as to analyse the relationship between the fire history parameters (time since the last fire and fire recurrence) and burn severity. We selected two large fires in the Iberian Peninsula: La Cabrera wildfire (9939 ha) and Gátova wildfire (1414 ha). In each study site we characterize the fire regime attributes using Landsat imagery from 1984 to 2017 (TM, ETM + and OLI sensors). Results showed a high spatial heterogeneity in both study sites in relation to the three fire regime attributes. La Cabrera showed a wide variety of situations, comprising fire-free periods between 0 and 33 years and fire recurrences between 1 and 7 fires. In Gátova, long free fire periods (>20 years) and low recurrences (1-2 fires) prevailed. Burn severity levels (low, moderate and high) were equitably represented in both fires. The analysis of the relationship between the fire history parameters and the severity of the last fire indicated that, in both study sites, the highest severities were reached in the areas that were burned 15-20 years ago, while the recently burned areas and the most mature areas had the lowest severities. This study demonstrates the ability of Landsat imagery to analyse the fire history and its relationship with burn severity.

**Keywords:** burn severity, fire recurrence, fire regime, Landsat, large wildfires, time since the last fire.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son uno de los principales elementos de perturbación de los ecosistemas, influyendo sobre la estructura y funcionamiento de los paisajes, especialmente en la Cuenca Mediterránea donde se han quemado grandes extensiones en las últimas décadas. Los nuevos regímenes de incendios, asociados a fuegos más extensos y severos, amenazan la regeneración natural y la resiliencia de los sistemas forestales en la Cuenca Mediterránea, comprometiendo su capacidad de provisión de bienes y servicios.

Las estrategias de gestión para la conservación de los sistemas forestales ante perturbaciones como grandes incendios (>500 ha), requieren de un conocimiento profundo de los factores responsables de la severidad del fuego. En este marco, la identificación de variables que condicionan la severidad de los grandes incendios supone un paso clave en el diseño de estrategias de gestión pre-incendio orientadas a la reducción del riesgo de los incendios, fundamentalmente en sistemas propensos al fuego. Sin embargo, la comprensión de los factores ambientales que controlan la severidad del fuego aún es limitada, probablemente debido a interacciones con otras variables como

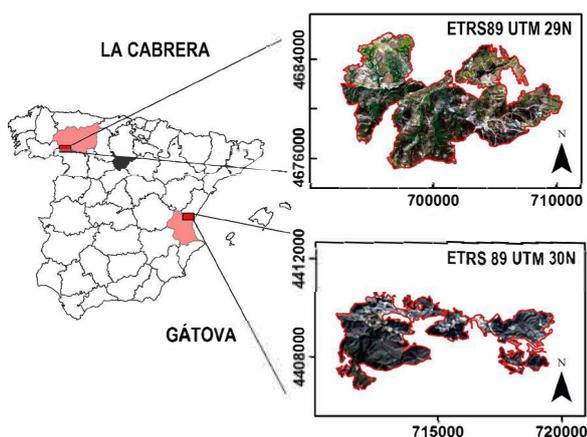
climáticas, topográficas, de usos del suelo y del régimen de incendios (intervalo libre de fuego y recurrencia). El uso de la teledetección a través de los productos derivados de las imágenes de satélite para el estudio del régimen de incendios y de la severidad de grandes incendios forestales ha resultado ser una herramienta muy eficaz (Fernández-García et al., 2018).

El objetivo general de este trabajo es analizar cómo el tiempo desde el último incendio y la recurrencia se relacionan con la severidad en grandes incendios forestales. De forma específica se pretende: (i) caracterizar el régimen de incendios mediante técnicas de teledetección (tiempo desde el último incendio, recurrencia de incendios y severidad del último incendio), y (ii) determinar la relación del tiempo desde el último incendio y la recurrencia de incendios con la severidad del fuego.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Zona de estudio

El estudio se desarrolló dentro del perímetro de dos grandes incendios ocurridos en el año 2017 en la Península Ibérica (Figura 1): el incendio de La Cabrera y el incendio de Gátova.



**Figura 1.** Localización geográfica y perímetro de los incendios de La Cabrera y Gátova.

La zona afectada por el incendio de La Cabrera se localiza en la parte suroccidental de la provincia de León (España). Fue iniciado el 21 de agosto del año 2017, y alcanzó una extensión de 9939 ha. Esta zona destaca por ser una zona montañosa con una altitud desde 838 a 1960 msnm. El clima es predominantemente Mediterráneo, con una precipitación anual entre 650 y 900 mm y un periodo de sequía estival de 2 meses. La vegetación dominante en esta zona de estudio está compuesta principalmente por robledales de *Quercus pyrenaica* y matorrales de *Erica australis* y *Genista hystrix*.

La zona afectada por el incendio de Gátova (Valencia) se localiza en la parte nororiental de la provincia de Valencia. Este incendio se inició el 28 de junio del año 2017 y alcanzó una extensión de 1414 ha. La altitud de la zona está comprendida entre 290 y 815 msnm. El clima es típicamente mediterráneo, con una temperatura media anual de 17°C, una precipitación media entre 350 mm y 600 mm, y una acusada sequía estival. La zona está dominada por pinares de *Pinus halepensis* y zonas de cultivo.

### 2.2. Régimen de incendios

Para determinar los parámetros del régimen de incendios en cada zona de estudio se elaboró una base de datos compuesta por imágenes Landsat (Landsat 4-5, sensor TM; Landsat 7, sensor ETM+; y Landsat 8, sensor OLI) para el periodo 1984-2017 (33 años). Se empleó una media de 7 imágenes multispectrales por año, 6 para verano (mayo-noviembre) y 1 para invierno (noviembre-mayo) obtenidas del servidor Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Los perímetros de incendios para el periodo 1984-2017 se cartografiaron a una escala de 1:20 000 siguiendo la metodología empleada por Fernández-García et al. (2015). Los incendios se identificaron mediante el análisis visual de los compuestos en falso color (RGB 541 para TM y ETM+ y 762 para OLI) elaborados con cada imagen Landsat, comparando imágenes consecutivas. Para diferenciar las zonas incendiadas de forma correcta, se compararon también imágenes del año anterior y posterior a la fecha del incendio.

Por superposición de los perímetros de los incendios se obtuvo la recurrencia de incendios (1984-2017) y el tiempo desde el último incendio (gran incendio de 2017). Para realizar la caracterización espacial de las zonas de estudio se definieron 5 categorías para el tiempo desde el último incendio (0-5, 6-10, 11-15, 16-20, y más de 20 años) y 4 para la recurrencia (quemado 1, 2, 3, y 4 o más veces).

Para cada zona se elaboró el mapa de severidad del último incendio, utilizando las imágenes Landsat 8 OLI inmediatamente posteriores e inmediatamente previas al incendio de 2017. Para cada una de las imágenes de satélite se realizó una calibración radiométrica, obteniendo los valores en radiancia. Posteriormente, se realizó una corrección atmosférica aplicando el módulo FLAASH y se obtuvo la reflectividad en superficie para las bandas 5 (NIR) y 7 (SWIR), que son las dos bandas espectrales que tienen la respuesta más acusada al cambio producido por el fuego. Una vez obtenida la reflectividad en valores de 0 a 100 se calculó el índice NBR (*Normalized Burn Ratio*) post-incendio y pre-incendio (Ecuación 1), y el índice dNBR (*differenced Normalized Burn Ratio*) (Ecuación 2).

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR}) \quad (1)$$

$$\text{dNBR} = \text{NBR}_{\text{pre-incendio}} - \text{NBR}_{\text{post-incendio}} \quad (2)$$

Se caracterizó espacialmente la severidad, diferenciando zonas de severidad baja, moderada y alta. Los umbrales se establecieron en base a la validación realizada en La Cabrera con 73 parcelas de campo donde se calculó índice CBI (*Composite Burn Index*) (Key y Benson, 2006).

En cada incendio se establecieron aleatoriamente puntos separados un mínimo de 120 m. El número de puntos se fijó en el 1% de la superficie del incendio en hectáreas. Para cada punto se extrajo el valor continuo de tiempo desde el último incendio, recurrencia, y severidad.

### 2.3. Análisis de datos

En cada zona de estudio se calculó la superficie ocupada por categoría de tiempo desde el último incendio, recurrencia y severidad.

Utilizando todos los datos obtenidos en los puntos de muestreo, se comparó el ajuste de regresiones con predictores lineales y cuadráticos (predictores: recurrencia y tiempo desde el último incendio; variable respuesta: dNBR). El modelo más adecuado de acuerdo con el criterio de información Akaike (AIC) se utilizó para evaluar la relación del tiempo desde el último incendio y de la recurrencia (variables dependientes y continuas) con la severidad (variable independiente y continua).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de los atributos del régimen de incendios (Tabla 1, Figura 2) mostró una alta heterogeneidad espacial para las tres variables estudiadas (tiempo desde el último incendio, recurrencia y severidad) en ambas zonas de estudio.

**Tabla 1.** Porcentaje de superficie correspondiente a cada categoría de tiempo desde el último incendio, recurrencia y severidad en las dos zonas de estudio.

	La Cabrera	Gátova
<b>Tiempo desde último incendio</b>	<b>Superficie (%)</b>	<b>Superficie (%)</b>
0-5 años	3,15	0,60
6-10 años	9,72	15,34
11-15 años	10,28	0,00
16-20 años	26,08	0,18
> de 20 años	50,77	83,88
<b>Recurrencia</b>		
Quemado 1 vez	22,31	24,97
Quemado 2 veces	31,41	73,83
Quemado 3 veces	25,29	1,16
Quemado 4 veces o más	20,99	0,04
<b>Severidad</b>		
Baja	30,21	34,39
Media	34,32	39,01
Alta	35,47	26,60

En la zona La Cabrera la mitad de la superficie quemada en el incendio del año 2017 ya había sido quemada en los últimos 20 años, mientras que en Gátova predominan

las zonas que no sufrieron otros incendios durante los últimos 20 años.

Analizando la recurrencia de incendios (Tabla 1, Figura 2) se observa que en La Cabrera el porcentaje de área para cada una de las categorías es similar (en torno al 25%), mientras que en Gátova la mayor parte de la zona de estudio (74%) se ha quemado dos veces.

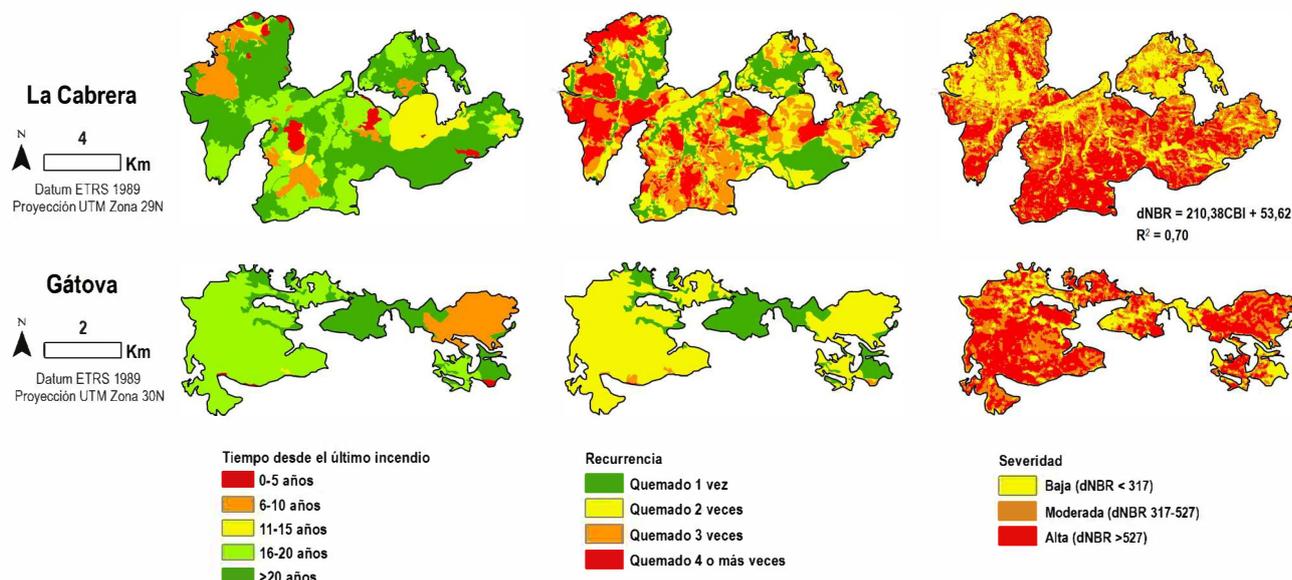
La severidad del incendio (Figura 2, Tabla 1) mostró una distribución de superficie por categorías equitativa en ambos incendios (en torno al 33%).

La relación de las variables recurrencia y tiempo desde el último incendio con la variable severidad fue significativa ( $P < 0,001$ ) y cuadrática en todos los casos (Figura 3).

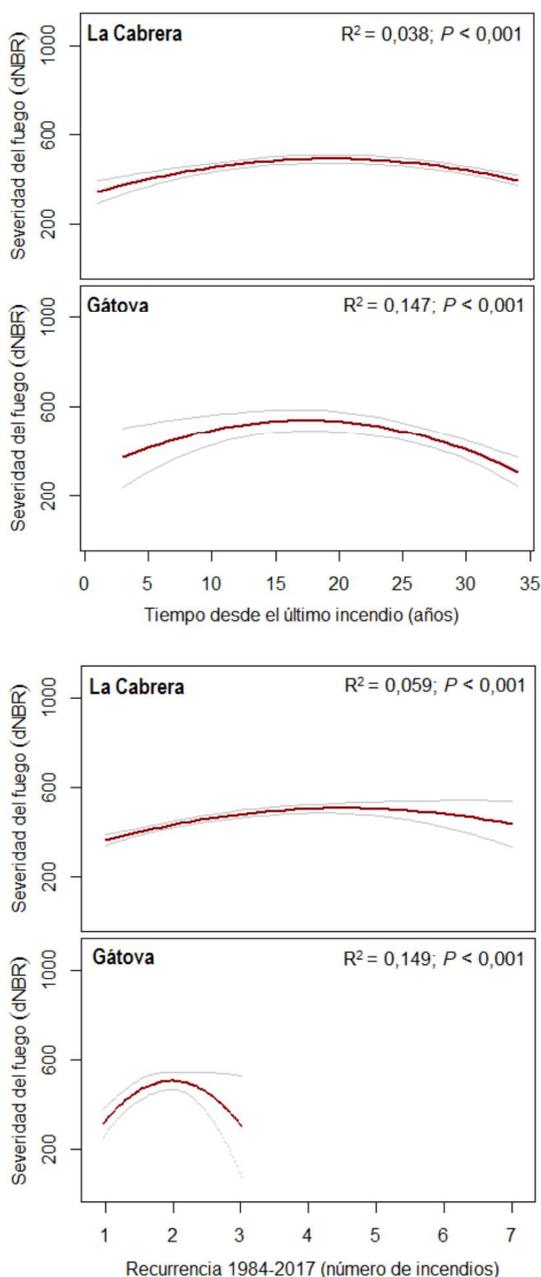
En general, las severidades más altas se alcanzaron en las zonas quemadas por última vez entre 15 y 20 años antes del incendio (Figura 3), mientras que periodos libres de fuego inferiores o superiores resultaron en una severidad menor.

En relación con la recurrencia de incendios se observa que las zonas afectadas por un único incendio presentaron una severidad baja tanto en La Cabrera como en Gátova (Figura 3). Sin embargo, en La Cabrera la severidad aumentó con el número de incendios hasta recurrencias relativamente altas (4-5 incendios), mientras que en Gátova las zonas afectadas por 3 incendios (la recurrencia más alta muestreada en esta zona) mostraron de nuevo una baja severidad.

Estos resultados podrían ser consecuencia de la relación de los distintos tipos de ecosistemas, y su grado de madurez estructural con sus respectivos regímenes de incendios. Así, en La Cabrera dominan robledales, brezales y aulagares, que podrían relacionarse con diferentes frecuencias y severidades de incendio. De igual manera, en Valencia las zonas quemadas una vez están dominadas por cultivos, mientras que las zonas quemadas dos veces son predominantemente pinares, donde se puede alcanzar mayores severidades. En las zonas afectadas por tres incendios predominan roquedos con vegetación dispersa donde la severidad no puede ser elevada. Es necesario



**Figura 2.** Mapas de tiempo desde el último incendio, recurrencia y severidad de las dos zonas de estudio.



**Figura 3.** Severidad media e intervalos de confianza ( $\pm 95\%$ ) predichos en función del tiempo desde el último incendio y de la recurrencia de incendios en las dos zonas de estudio.

realizar futuros estudios en los que se profundice en el análisis de la influencia de la historia de incendios en la severidad teniendo en cuenta el tipo de ecosistema.

#### 4. CONCLUSIONES

Este trabajo demuestra la utilidad de las imágenes de satélite para estudiar los atributos del régimen de incendios. La utilización de series temporales de imágenes Landsat permite caracterizar espacialmente el tiempo desde el último incendio, la recurrencia de incendios y la severidad en grandes extensiones.

Esta metodología representa la herramienta fundamental en el estudio de los condicionantes de la severidad del incendio. En este estudio llevado a cabo en las zonas de La Cabrera y Gátova se pone de manifiesto que el tiempo

desde el último incendio y la recurrencia de incendios están relacionados con la severidad del incendio, si bien, sería necesario explorar la importancia de otras variables topográficas, meteorológicas y bióticas que podrían estar condicionando esta relación.

#### 5. FINANCIACIÓN

Este estudio ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional mediante el proyecto FIRESEVES (AGL2017-86075-C2-1-R), y por la Junta de Castilla y León a través del proyecto SEFIRECYL (LE001P17). Víctor Fernández-García y José Manuel Fernández Guisuraga disfrutaban de contratos predoctorales del Ministerio de Educación (FPU14/00636 y FPU16/03070 respectivamente). David Beltrán-Marcos y Rayo Pinto-Prieto disfrutaban de contratos de personal técnico de apoyo a la investigación dentro del Sistema Nacional de Garantía Juvenil y cofinanciados por el Fondo Social Europeo y la Iniciativa de Empleo Juvenil de la Junta de Castilla y León.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Fernández-García, V., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Marcos, E., Calvo, L. 2015. Elaboración de mapas de recurrencia de incendios forestales en la Sierra del Teleno utilizando imágenes Landsat (1978-2014). XVI Congreso de la AET. Sevilla, Spain.
- Fernández-García, V., Santamarta, M., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Marcos, E., Calvo, E. 2018. Burn severity metrics in fire-prone pine ecosystems along a climatic gradient using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment* 206, 205–217.
- Key, C.H., Benson, N.C. 2006. Landscape Assessment (LA) sampling and analysis methods. USDA Forest Service General Techn. Rep RMRS-GTR-16