



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-418

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Determinación de resiliencia post-incendio a partir de imágenes Landsat en la Sierra del Teleno (León)

CURIESES, R.<sup>1</sup>, FERNÁNDEZ-MANSO, A.<sup>1</sup>, QUINTANO, C.<sup>2,3</sup>,

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias y Ingenierías Agrarias, Escuela Técnica y Superior de Ingenierías Agrarias, Universidad de León

<sup>2</sup> Departamento de Tecnología Electrónica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid

<sup>3</sup> Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible, Universidad de Valladolid-INIA

### Resumen

La capacidad de regeneración después de un incendio forestal determina en gran medida la variabilidad espacial y temporal del paisaje vegetal de los ecosistemas mediterráneos. El objetivo del presente trabajo ha sido modelizar la evolución post-incendio de los distintos niveles de severidad y cuantificar la resiliencia medida como tiempo de recuperación de la vegetación hasta unos niveles similares a los previos al incendio. A partir de las curvas de evolución de las series temporales de imágenes Landsat (1999-2011) se ha estudiado la evolución del NDVI. Como trabajo de campo, en 101 parcelas, se determinaron 3 niveles de severidad medidos un año después del gran incendio forestal de Tabuyo del Monte (13 septiembre 1998). Un modelo de regresión potencial ( $R^2: 0,7 - 0,9$ ) ha servido para ajustar las curvas de regeneración para los distintos niveles de severidad. Para cuantificar la resiliencia se ha realizado un análisis de varianza cuyo resultado expresa que al final del periodo estudiado se alcanza un alto nivel de recuperación de los índices de vegetación no existiendo diferencias significativas entre los distintos niveles de severidades.

### Palabras clave

Landsat, severidad, resiliencia, serie temporal post-incendio, índices de vegetación

### 1. Introducción

Las comunidades de plantas mediterráneas tienen una elevada resistencia a los incendios, debido a la capacidad de algunas de sus especies para rebrotar después del fuego o bien debido al almacenamiento de semillas resistentes al fuego tanto en banco del suelo como en banco aéreo (LLORET, 2004).

La respuesta de la vegetación al fuego depende de las estrategias regenerativas de las especies que forman la comunidad, pero también está condicionada en gran medida por las características del incendio (tipo de fuego, su frecuencia e intensidad, época en que se produce, etc.) (DE LUIS et al., 2005). De entre todos estos factores, quizá sea el nivel de severidad el más importante en la regeneración y en la determinación de la resiliencia, que mide el tiempo que necesitan los ecosistemas para alcanzar las condiciones previas al fuego (composición florística, estructuras o funciones ecosistémicas) (FERNÁNDEZ-MANSO et al. 2016)

### 2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo ha sido modelizar la evolución post-incendio de los distintos niveles de severidad y determinar su influencia en la resiliencia medida como tiempo de recuperación de la vegetación en la Sierra del Teleno (León).

### 3. Metodología

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio está localizada en la Sierra del Teleno, en el noroeste de España (Figura 1). Esta es una pequeña cadena montañosa en el suroeste de la provincia de León, con una pendiente

máxima del 11 % y una altitud que va desde los 850 m a los 2.100 m. El clima es mediterráneo con una media de precipitaciones anuales entre 650 y 900 mm, y presenta dos o tres meses de sequía estival. El suelo en esta zona es muy arenoso y ácido ( $\text{pH} = 5,5$ ). La zona a estudiar está conformada en su mayoría por *Pinus pinaster* Ait., seguido de otras especies como *Pinus sylvestris* L, *Quercus Pyrenaica* Wild y *Erica* sp. (CALVO et al., 2013). El gran incendio estudiado se produjo entre los días 13 y 17 de septiembre de 1998 y afectó a un total de 3.309 ha según la estimación oficial.

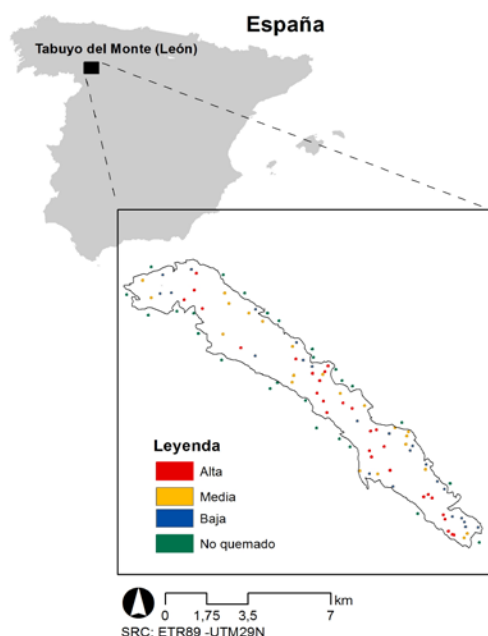


Figura1. Mapa de localización, perímetro oficial y niveles de severidad.

### 3.2. Fuentes de información

Como se puede observar en la Figura 2 la principal fuente de información del estudio ha sido la serie histórica de imágenes Landsat (1999-2011) de la Sierra del Teleno (11 Landsat 7 y 2 Landsat 5) descargadas del servidor USGS-GLOBIS. La fecha central de las imágenes fue el día juliano 178 (principios de agosto) y el acimut solar medio de la serie fue  $111^\circ$ .

Como trabajo de campo se midió el grado de afectación de la vegetación un año después del incendio (septiembre 1999), una muestra de 101 parcelas de 100 m de diámetro (0,78 ha). Utilizando una ortofotografía RGB (0,7 cm pixel) inmediatamente posterior al incendio (octubre 1998) se determinaron zonas homogéneas en función del grado de afectación de la vegetación y se clasificaron en tres niveles de severidad: alta, media, baja y no quemado (FERNÁNDEZ-MANSO et al. 2009). Sobre estas zonas homogéneas se seleccionaron aleatoriamente las parcelas de estudio.

### 3.3. Metodología

En Figura 2 se representa el diagrama de flujo de la metodología seguida. Una vez seleccionadas la serie histórica de imágenes se procedió a su pre-procesado. Se realizó una corrección radiométrica y una corrección atmosférica aplicando el módulo FLAASH de ENVI 5.1. Como resultado final se obtuvo la reflectividad de superficie para las bandas 1-5 y 7 de los sensores TM y ETM+ de Landsat. A partir de las imágenes corregidas se calculó el índice NDVI y posteriormente se extrajo el valor de este índice para las 101 parcelas en las 13 imágenes de la serie. A partir de esta información y para cada año de la serie, se calculó el valor medio del NDVI para los distintos niveles de severidad definidos.

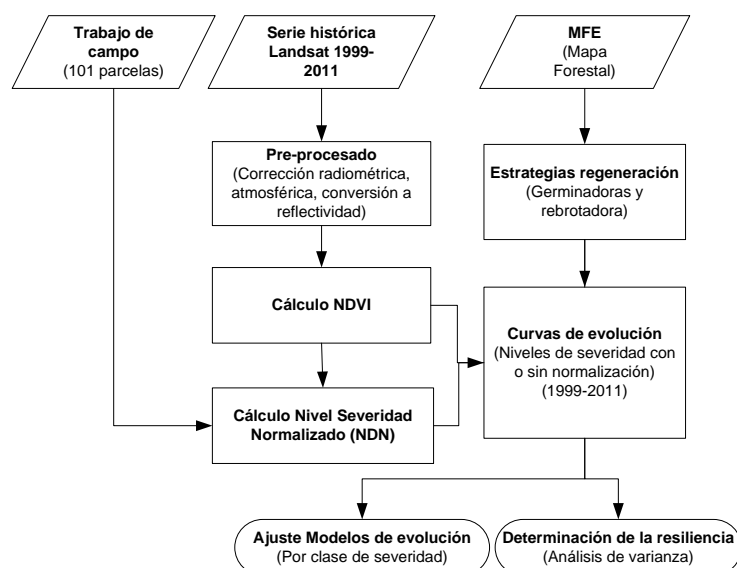


Figura 2. . Diagrama de flujo de la metodología

Puesto que no todas las imágenes tenían las mismas condiciones fenológicas, se procedió a normalizar las clases de severidad sobre el “no quemado”. Esta transformación permitió conocer mejor el momento en el que los distintos niveles de severidad toman el valor 0, es decir, se ha llegado a una situación estructural del ecosistema igual a las condiciones previas a la perturbación producida por el incendio. La expresión del Nivel de Severidad Normalizado (NSN) basado en el NDVI es la siguiente:

$$NSN_i = \frac{\overline{NDVI}_{j_i} - \overline{NDVI}_{NQ_i}}{\overline{NDVI}_{j_i} + \overline{NDVI}_{NQ_i}}$$

donde: i: orden de la serie temporal, representando el número de años transcurridos después del incendio; j: nivel de severidad (bajo, moderado, alto); NQ: clase no quemado;  $\overline{NDVI}_{j_i}$  valor NDVI medio en las parcelas con nivel de severidad “j”;  $\overline{NDVI}_{NQ_i}$  valor NDVI medio en las parcelas ‘no quemado’.

Posteriormente, se realizó un estudio estadístico de la curva de evolución de NSN en el periodo 1999-2011, probándose los modelos de regresión lineal ( $y=a+bx$ ), exponencial ( $y=ae^{bx}$ ) y potencial ( $y=a \times b$ ). Para determinar la resiliencia, se realizó un análisis de varianza temporalizado con la intención de comprobar en qué año posterior al incendio no existían diferencias significativas entre los distintos niveles de severidad y las zonas no quemadas; es decir, la vegetación había alcanzado las condiciones iniciales.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Modelización de la evolución de los distintos niveles de severidad

En la Figura 3 se representa la evolución del NDVI para los distintos niveles de severidad en el periodo 1999-2011. Como se puede observar, existen dos grandes fases de recuperación: 1999-2004 y 2005-2011. En la primera fase (hasta el año 6) existe una recuperación muy acelerada de las clases de severidad alta y media, en la segunda fase (entre los años 7 y 13) se produce un lento pero continuo acercamiento de los distintos niveles de severidad a las condiciones del no quemado.

En 1999 el valor del NDVI de la zona no quemada es 0,71, habiendo caído en el nivel de severidad alto hasta 0,21. En el año 2004, el NDVI de la severidad alta ha alcanzado ya 0,55. DE LUIS et al.

(2005) para el mismo incendio indican que los valores de cobertura total son bajos durante el primer año pero se observa un aumento rápido. Se alcanza el 60 % a los dos años, aumentado hasta el año 9 después del incendio. Dentro de las especies que se localizan inmediatamente después de producirse el incendio, aparecen tanto las germinadoras (*P. pinaster*, *H. lasianthum subsp. alyssoides*) como las típicamente rebrotadoras (*C. tridentatum*, *E. australis*). La especie leñosa dominante *Pinus pinaster*, se recupera fácilmente después del fuego tanto a partir del banco aéreo, por poseer piñas serotinas, como edáfico (DE LUIS et al., 2005).

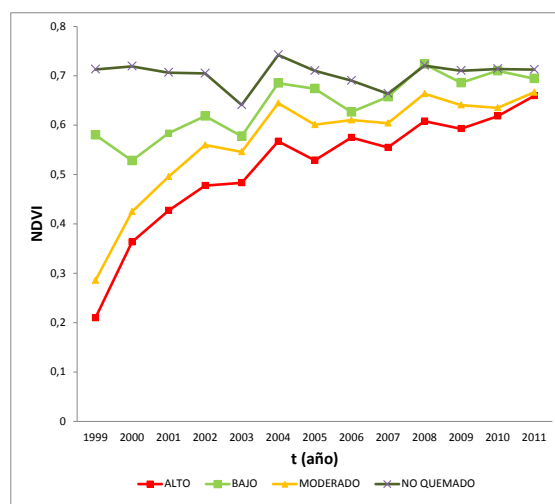


Figura 3. . Evolución del NDVI para los distintos niveles de severidad

La tabla 1 recoge los resultados de aplicar un modelo potencial ( $y=a \times b$ ) a la serie temporal del NSN para modelizar su evolución. Con este modelo se obtuvieron los mejores resultados con un R2 que oscila entre 0,74 y 0,94, lo que indica gran capacidad de predecir la regeneración durante los años posteriores al incendio forestal conociendo previamente el nivel de severidad.

Tabla 1. Modelos de regresión de la evolución del NSN

Nivel de severidad	Coeficientes $y=a \times b$		R2
	a	b	
Alto	0,597	-0,769	0,95
Moderado	0,437	-0,796	0,96
Bajo	0,212	-0,776	0,74

#### 4.2. Determinación de la resiliencia

En la Figura 4 se puede observar la evolución del NSN para los distintos niveles de severidad. Estas curvas nos permiten conocer cómo evolucionan los distintos grados de afectación hacia el valor 0 que indicaría las condiciones previas al incendio, es decir, nos permitiría conocer la resiliencia. En este momento las características estructurales de la zona serían semejantes a las que presentaba antes del incendio. En nuestro estudio, se puede comprobar como en el año 9 tras el incendio, las zonas de baja severidad alcanzarían el valor inicial y que entorno al año 13 todos los niveles de severidad habrían alcanzado las condiciones pre-incendio. Por tanto, dado que entre el año 9 y 13 la comunidad ha recuperado la situación original, se podría señalar que la resiliencia después de quema es muy elevada, y clasificar el ecosistema como de alta resiliencia a los incendios.

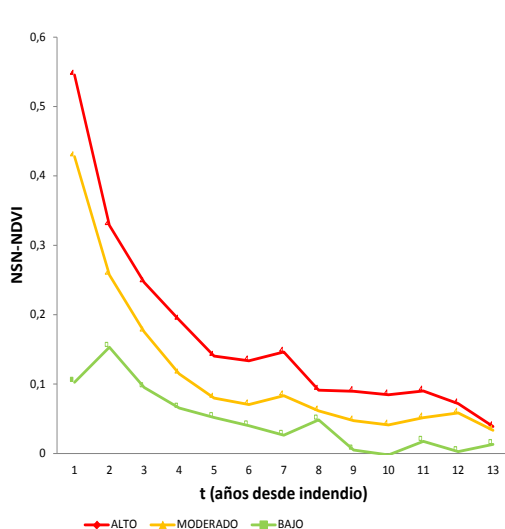


Figura 4. . Evolución del NSN para los distintos niveles de severidad

En la Figura 5 se puede observar las imágenes de la evolución del NDVI para los años 1999 (1 de Julio), 2006 (21 de Agosto) y 2011 (14 de Octubre). Esta aproximación visual corrobora los resultados descritos anteriormente. En la imagen de 2011 ya no se puede percibir visualmente la zona afectada en 1998.

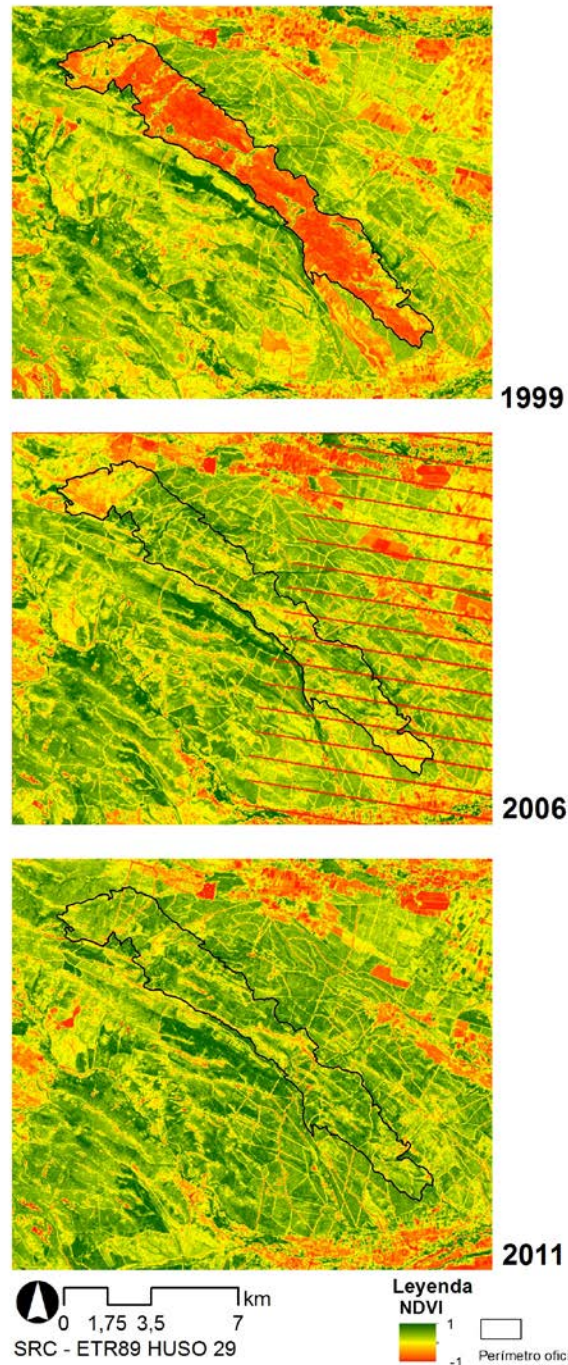


Figura 5. Imágenes de la evolución del NDVI para los años 1999, 2006 y 2011.

En rebrotadoras como *Erica australis* la recuperación se produce a los 8 años y en germinadoras, como *Calluna vulgaris* esta recuperación ocurre 15 años después de del incendio (CALVO et al, 2013). En el caso del *Pinus pinaster*, la resiliencia teórica estaría entre 20-40 años. En la zona de estudio la autosucesión de esta especie arbórea acortaría a 13-15 años la recuperación de la cobertura total. De este modo, el *Pinus pinaster* de la Sierra del Teleno estaría entre las especies más resilientes al fuego de nuestro país.

Para terminar, en la Tabla 2 se recogen los resultados del análisis de varianza de los niveles de severidad en el periodo 1999-2011. En 1999 existían diferencias significativas entre las medias del NDVI de todas las severidades (se diferencian 4 grupos), en 2011 todas las severidades han llegado a recuperarse (sólo se diferencia 1 grupo). Esta prueba nos permite ratificar de nuevo como la capacidad de regeneración de estos pinares, sometidos frecuentemente a incendios, es muy elevada.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza del NDVI para los niveles de severidad en el periodo 1999-2011

Nivel de severidad	Nº años después del incendio (año)							
	1 (1999)		3 (2001)		8 (2006)		13 (2011)	
	NDVI Medio	h	NDVI Medio	h	NDVI Medio	h	NDVI Medio	h
Alta	0,2097	a	0,4271	a	0,5749	a	0,6593	a
Moderada	0,2857	b	0,4957	a	0,6105	a	0,6666	a
Baja	0,5802	c	0,5838	b	0,6267	a	0,6942	a
No quemada	0,7002	d	0,7064	c	0,6903	b	0,7125	a
Nº grupos	4		3		2		1	
P-value	0,0000		0,0000		0,0006		0,0088	

## 5. Conclusiones

El estudio ha permitido demostrar la influencia de la severidad en la regeneración y cómo el nivel de daño determina el ritmo de recuperación que hemos descrito en 2 fases diferenciadas. El estudio ha modelizado la regeneración para las distintas severidades y ha determinado su resiliencia respectiva. Este trabajo confirma la alta resiliencia de los pinares del Teleno al fuego incluso en situaciones de alta severidad.

## 6. Agradecimientos

El trabajo se enmarca dentro de los proyectos: GESFIRE (AGL2013-48189-C2-1-R) financiado por el ministerio español de Economía y Competitividad y el Fondo de desarrollo Regional Europeo, y FIRECYL (LE033U14), financiado por el gobierno de la comunidad autónoma de Castilla y León.

## 7. Bibliografía

CALVO, L., TORRES, O., VALBUENA, L. & LUIS-CALABUIG, E., 2013. Short communication. Recruitment and early growth of *Pinus pinaster* seedlings over five years after a wildfire in NW Spain. *Forest Systems*. V. 22.

DE LUIS, E. CALVO, L. VALBUENA, L. SANTALLA, S. MARCOS, E. TÁRREGA, R. 2005. Regeneración de la comunidad vegetal en pinares de *Pinus pinaster* en la sierra del Teleno (León). Seminario de restauración de áreas afectadas por grandes incendios. JCyL.

FERNÁNDEZ-MANSO, O., QUINTANO, C., FERNÁNDEZ-MANSO, A. 2009. Combining spectral mixture analysis and object-based classification for fire severity mapping. *Forest Systems* v. 18.

FERNANDEZ-MANSO, A., QUINTANO, C., ROBERTS, D.A., 2016. Burn severity influence on post-fire vegetation cover resilience from Landsat MESMA fraction images time series in Mediterranean forest ecosystems. *Remote Sens. Environ.* 184, 112–123.



LLORET, F. 2004. Régimen de incendios y regeneración En: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente.