de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.) 2015
Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación: 691-697
Universidad de Zaragoza-AGE. ISBN: 978-84-92522-95-8

Aproximación, a partir de un modelo de vulnerabilidad, a técnicas de rehabilitación en zonas afectadas por incendios forestales

J. León Miranda[1], M.T. Echeverría Arnedo[1].

Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza (Zaragoza). fcojleon@unizar.es1; mtecheve@unizar.es2 J. Pérez Fernández[1]

[1] Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C. Pedro Cerbuna 12, 50.009 Zaragoza.

fjavierlmiranda@gmail.com, mtechever@unizar.es

RESUMEN: Este trabajo desarrolla un modelo de análisis cartográfico para evaluar áreas afectadas por incendios forestales, concretamente ubicados en el sector central de la Depresión del Ebro, en los Montes del Castellar. El modelo pretende evaluar la vulnerabilidad edáfica del suelo a partir del análisis de las estructuras edáficas y las formaciones vegetales afectadas en el área incendiada. Para ello se emplean imágenes de satélite Landsat TM, se desarrolla un modelo digital de elevaciones (DEM) y características topológicas, edáficas y vegetales, en el contexto de un sistema de información geográfica (SIG). El objetivo final es crear una serie de cartografías rápidas y funcionales que permitan a los gestores localizar las zonas de mayor vulnerabilidad, donde aplicar técnicas de rehabilitación y, a su vez, realizar un seguimiento cronológico de las mismas.

Palabras-clave: incendios forestales, índice de severidad del fuego en el suelo, modelo de vulnerabilidad edáfica, NBR, rehabilitación forestal.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales han aumentado en frecuencia y extensión en la cuenca europea del Mediterráneo desde 1960 (Shakesby, 2011), apoyado por el calentamiento generalizado y la sequía, e impulsado principalmente por los cambios socio-económicos, como el éxodo rural, abandono de tierras y reforestación con especies inflamables. Los incendios son a menudo considerados como el principal agente de la erosión y degradación del suelo, e incluso se ha sugerido que son el mayor agente responsable del cambio geomorfológico en ciertos entornos (DeBano et al., 2005).

Los incendios forestales pueden tener un impacto significativo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y la erosión. Dependiendo de la severidad del fuego (Keeley, 2009) hay una serie de características físicas, químicas, mineralógicas, que pueden ser influenciadas por el fuego (González-Pérez et al., 2004; Shakesby y Doerr, 2006; León et al., 2014; Aznar et al., 2014).

El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo cartográfico local con respecto a la extensión de la alteración generada por el incendio de 2009 en el entorno de Remolinos-Tauste, sobre la estructura edáfica y las formaciones vegetales afectadas. Con este propósito se emplearon, datos de satélite, un modelo de elevación digital (DEM) y otra información que se consideró imprescindible, en el contexto de un sistema de información geográfica específica (SIG) -pendiente, exposición, morfología de la laderas, ... -, que pudieran facilitar la integración de todas estas variables dentro del sistema, de manera que sirvieran de ayuda a los gestores para evaluar aquellas técnicas de rehabilitación empleadas en el área incendiada para paliar los efectos provocados por la pérdida de suelo.

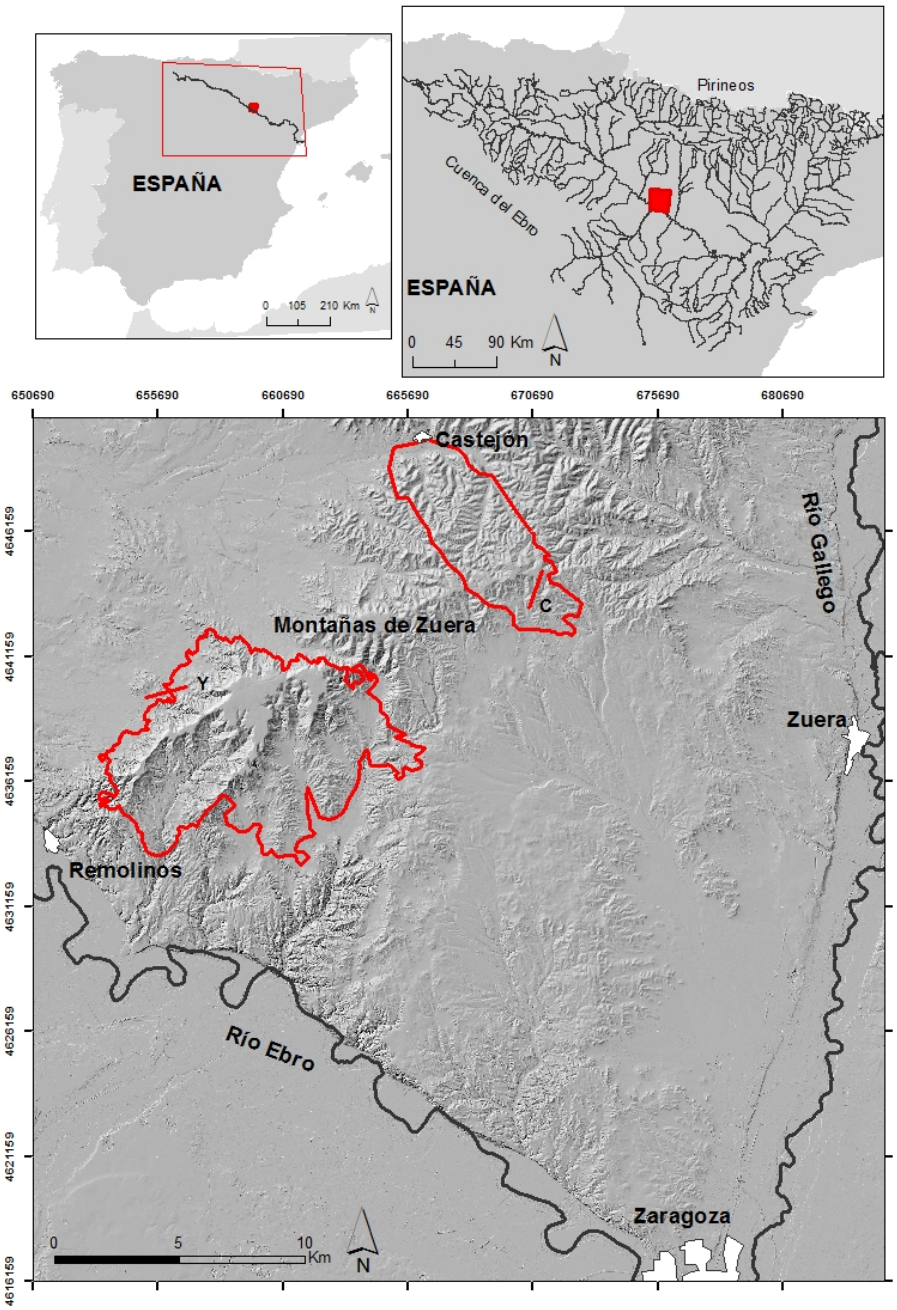

Figura 1. Áreas de estudio: Incendio de Remolinos-Tauste de 2009 (G) e incendio de Castejón-Zuera de 2008 (L). Elaboración propia.

2. AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra situada en el sector central de la Depresión del Ebro, al norte de la ciudad de Zaragoza (Figura1). Dentro de la citada área se han seleccionado dos zonas correspondientes a dos incendios forestales. La primera corresponde al área de Castejón-Zuera (UTM 30T, X671106, Y4644584), área en la que se quemaron 2.800 hectáreas en el año 2008 de pinar y matorral y la segunda se ubica en los términos de Remolinos-Tauste (UTM 30T, X656794, Y4639884), dónde en 2009 se quemaron 6.800 hectáreas de matorral (Figura 2).

La vegetación en el área del incendio de Castejón-Zuera, se caracteriza por una mezcla entre bosque (*Pinus halepensis* Mill y *Quercus coccifera* L.) y matorral (*Brachypodium phoenicoides* L., *Brachypodium retusum* Pers., *Juniperus oxycedrus* L., *Lonicera etrusca* G., *Genista scorpius* L., *Helianthemun marifolium* Mill, *Osyris alba* L., *Pistacea lentiscus* L., *Rhamnus lyciodes* L. *subsp. lyciodes*, *Rosmarinus officinalis* L), mientras que en Remolinos-Tauste, predominan las formaciones de matorral (*Genista scorpius* L., *Retama*

sphaerocarpa L., *Rosmarinus officinalis* L., *Gypsophila struthium* Willk *subsp. Hispanica, Ononis tridentata* L., y *Quercus coccifera* L.) y *Pinus halepensis* Mill. El clima es Mediterráneo continental, con una precipitación media anual de 450 mm y una oscilación de temperaturas medias de las máximas y mínimas entre -7.1 ºC y 36.5 ºC. La evapotranspiración media anual es aproximadamente de 1406 mm (usando FAO56 método de Penman Monteith) y se ve incrementada por los fuertes vientos, implicando que el déficit hídrico de la zona sea uno de los más altos de Europa (Herrero and Synder, 1997). Las unidades geomorfológicas de este área (topografía entre 200 y 748 m) son plataformas carbonatadas, laderas y colinas degradadas de yesos y valles de fondo plano, rellenos de limos y clastos de yeso y caliza. Los suelos son predominantemente calizos en el área de Castejón-Zuera, *Rendzic Phaeozem* con un textura franco arcillosa sobre horizontes Ah. Mientras que los suelos del área de Remolinos-Tauste son yipsicos, *Haplic Gypsisols* (IUSS, 2007), con textura franca y sobre horizontes Ah (Badía et al., 2013).

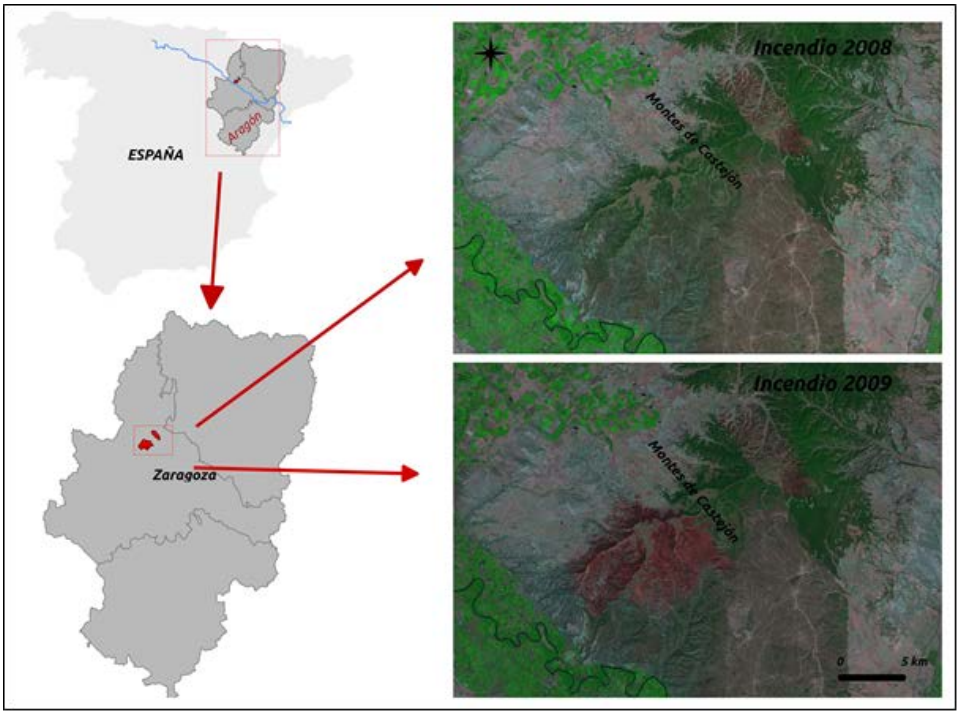

Figura 2. Imagen de satélite Landsat TM (composición en falso color 743) de los incendios forestales. Elaboración propia.

3. METODOLOGIA

La metodología empleada consistió en aplicar una serie de modelos –índice de severidad del fuego en el suelo (Soil Burnt Severity Index) y el modelo de vulnerabilidad edáfica-, para evaluar aquellas zonas, dentro del área incendiada, sobre las que se habían aplicado diferentes técnicas de rehabilitación.

Figura 3. Fajinas y barreras para el control de la erosión en Remolinos-Tauste.

Las técnicas que se emplearon en este incendio consistieron en la construcción de fajinas o barreras contra la erosión del suelo, transversales a la pendiente de las laderas y en aquellas incisiones, surcos o *rills*, que se habían detectado (Figura 3).

Además se realizó *in situ*, con la madera quemada, una corta manual, un astillado de un calibre muy grande (decimétrico) y su posterior deposición con maquinaria. Este astillado supone una cubierta muy heterogénea y supeditada a la disponibilidad de astilla, por ello, aquellas zonas más elevadas, donde había pequeñas agrupaciones de pinar son las elegidas para realizar este tratamiento (Figura 4).

Para la evaluación de las zonas afectadas por incendios forestales y localizar aquellas zonas donde la pérdida de suelo puede ser mayor, existe un índice empleado por el servicio forestal de E.E.U.U. (USDA), denominado *Soil Burnt Severity Index*, que analiza la severidad del fuego a partir de imágenes Landsat TM, de 30 m de resolución espacial, que proceden del USGS (United States Geological Survey). A partir de la información multiespectral que generan la mayor parte de los sensores, pueden obtenerse distintas composiciones de color. Las bandas empleadas para la mejor identificación de las diferentes cubiertas ha sido la 743. De esta forma las zonas con mayor vigor vegetal tendrán tonos verdes, las zonas desnudas unas tonalidades blanquecinas, los cultivos de secano tendrán unos tonos rosáceos, y la zona del incendio tiene unos colores más fucsias (Figura 2).

Figura 4. Astillado y deposición, y fajinas en contra pendiente.

A partir de dos imágenes de satélite –anterior al incendio y posterior al mismo-, se aplica el índice NBR (*Normalized Burned Ratio*). Este índice espectral especialmente adaptado a la señal del carbón, lo que permite una menor confusión con superficies de comportamiento similar, facilitando su discriminación y reduciendo los errores de comisión (Key y Benson, 2006).

$$\mathrm{NBR}=\frac{\rho\mathrm{NIR}-\rho\mathrm{SWIR}}{\rho\mathrm{NIR}+\rho\mathrm{SWIR}} \tag{1}$$

Para conseguir una mayor discretización de esta variable se ha aplicado a su vez el índice ΔNBR, que emplea el siguiente algoritmo:

$$\Delta\mathrm{NBR}=\mathrm{NBR}_{PRE}-\mathrm{NBR}_{POST} \tag{2}$$

Así se expresan los resultados de aplicar el NBR a la imagen anterior y a la posterior al incendio. El *USDA Forest Services* recoge este índice en la publicación llamada FIREMON o *Fire Effects Monitoring and Inventory System* (Lutes et al., 2006), que incorpora nuevos y útiles métodos de campo a los que se incorpora el uso de imagines de satélite, para evaluar el efecto del fuego en importantes componentes de los ecosistemas. FIREMON realiza una clasificación de los datos obtenidos con el índice ΔNBR, en su modelo denominado *Soil Burn Severity* (Figura 5 y Tabla 1). De esta forma el gestor puede rápida y fácilmente evaluar donde se debe intervenir para prevenir perdidas de suelo y conocer la proporción de superficie afectada por cada tipología de severidad (Figura 5).

Tabla 1. Clasificación según FIREMON del Soil Burn Severity Index.

Nivel de severidad	*Categoría del ΔNBR*
No quemado	-100 a +99
Severidad Baja	+100 a +269
Severidad Media	+270 a +439
Severidad Alta	+440 a +659
Severidad muy alta	+660 a +130

De esta forma se puede realizar una evaluación de las técnicas empleadas para la restauración, mediante el modelo de vulnerabilidad edáfica, y evaluarse en el tiempo mediante un seguimiento a medio-largo plazo de los tratamientos utilizados. Este conjunto de procesos requiere un tratamiento de upscaling.

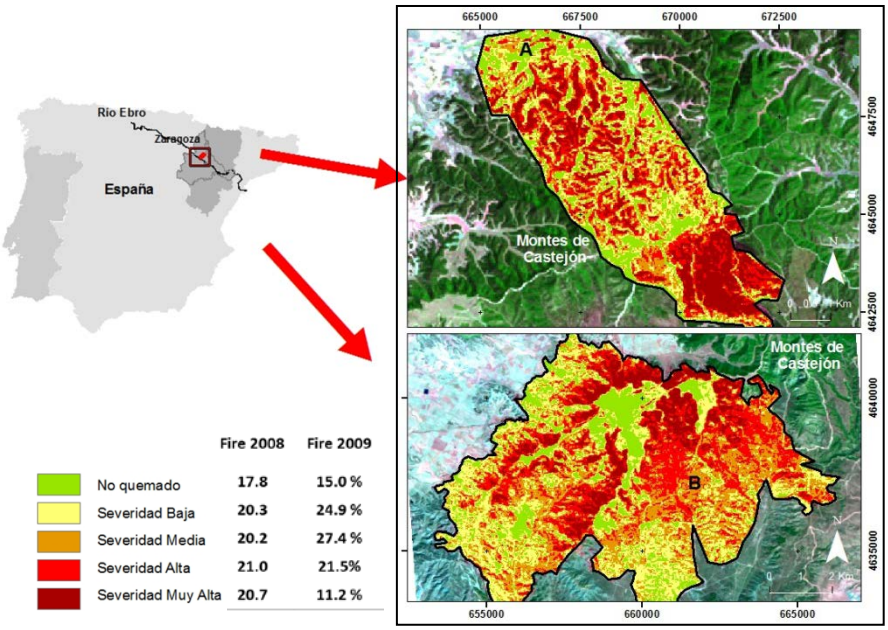

Figura 5. Soil Burnt Severity Index. A) Incendio de Castejón (2008) y B) Incendio de Remolinos (2009).

4. RESULTADOS

El modelo de vulnerabilidad edáfica (Figura 6), comienza con el análisis de la respuesta bio-edáfica y hidrogeomorfológica a un cierto nivel de detalle y analiza los diferentes escenarios afectadas por el fuego a medio plazo, con el propósito de extraer una serie de diagnósticos que validen los resultados de un modelo de correlación obtenidos en paralelo.

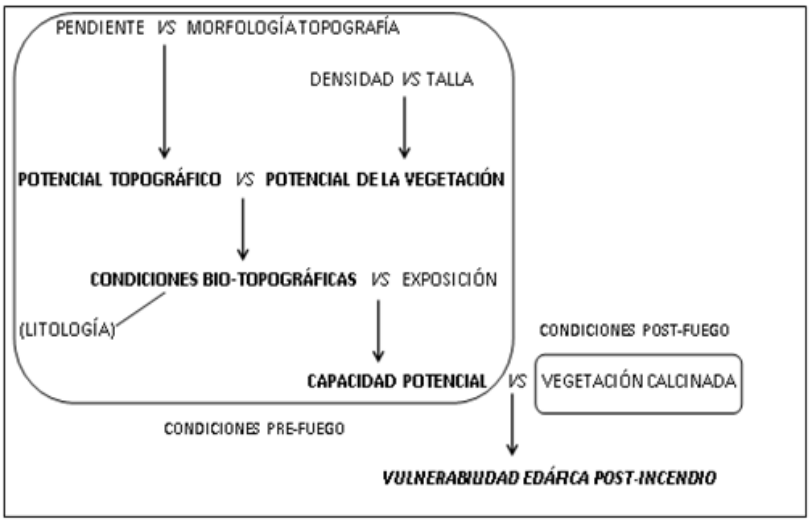

Figura 6. Modelo de vulnerabilidad edáfica post-incendio.

El estudio se completa con la construcción de un seguimiento temporal de las medidas correctoras y de restauración, aplicadas en el área quemada (Figura 7).

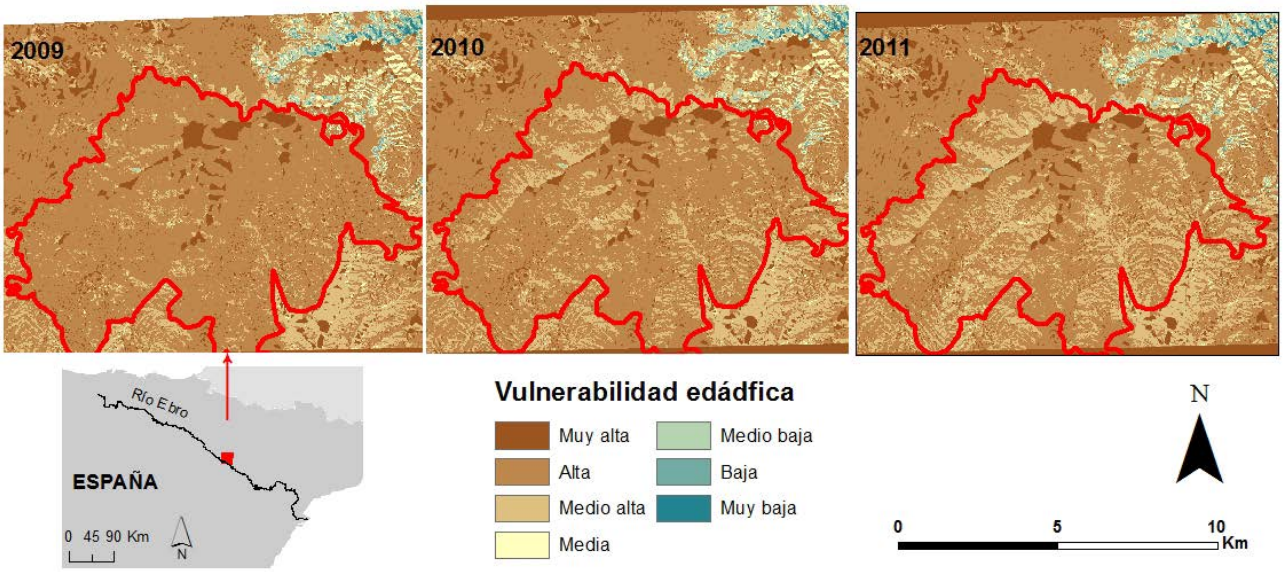

Figura 7. Modelo de vulnerabilidad edáfica post-incendio (2009-2011) en Remolinos.

5. CONCLUSIONES

Hay que concluir que el *Soil Burnt Severity Index* es un método ampliamente aplicado por los gestores estadounidenses a la hora de realizar cualquier tipo de intervención –barreras de control de la erosión- o restauración forestal –semillado o repoblaciones-. Además este índice se puede complementar a partir de los resultados obtenidos con el modelo de vulnerabilidad edáfica (León et al., 2013), ya que permite, a su vez, el seguimiento temporal de los tratamientos aplicados. Es destacable que la metodología expuesta supone una herramienta rápida y útil a los gestores del territorio en los escenarios afectados por fuegos forestales.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Ministerio de Ciencia e Innovación BES-2008-003056, el proyecto CETSUS (CGL2007-66644-C04-04 / HIDCLI) y el grupo de Investigación sobre Geomorfología y Cambio Climático (DGA, 2011). A su vez, agradecer al CENAD de San Gregorio, perteneciente al Ejército Español por su apoyó en este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aznar, J.M., González-Pérez, J.A., Badía, D., Martí, C. (2014): At what depth are the properties of a gypseous forest topsoil affected by burning? Land Degrad. Dev. DOI: 10.1002/ldr.2258.

Badía, D., Martí, C., Aznar, J.M., León, J. (2013): Influence of slope and parent rock on soil genesis and classification in semiarid mountainous environments. Geoderma 193–194, 13-21.

DeBano, L.F., Neary, D.G., Ffolliott, P.F. (2005): Soil physical properties. Wildland fire in ecosystems. In: Neary, D.G., Ryan, K.C., & DeBano, L.F. (eds.): Wildland Fire in Ecosystems: 29-52. Effects of Fire on Soil and Water. General Technical Report RMRS-GTR-42, Vol. 4. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

González-Pérez, J.A., González-Vila, F.J., Almendros, G., Knicker, H., 2004. The effect of fire on soil organic matter -a review. Environment International 30, 855–870.

Keeley, J.E. (2009): Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. Int. J. Wildland Fire 18, 116-126.

León, J., Echeverría, M.T., Martín, D., Badía, D. (2013): Herramientas para la evaluación de zonas afectadas por incendios forestales. FLAMMA, 4 (3), 132-138, ISSN 2171 - 665X

León, J., Seeger, M., Badía, D., Peters, P. Echeverría, M.T. (2014): Thermal shock and splash effects on burned gypseous soils from the Ebro Basin (NE Spain). SED, 5, 131-140.

Lutes, D.C., Keane, R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Sutherland, S., Gangi, L.J. (2006): FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system.

Shakesby, R. (2011): Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future research directions. Earth-Sci. Rev. 105, 71-100.

Shakesby, R.A., Doerr, S.H. (2006): Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. Earth-Science Reviews, 74, 268-307.