

TELEDETECCIÓN Y SIG EN LA GESTIÓN POST-INCENDIO FORESTAL. EL CASO DE ALMANSA (ALBACETE)

José Reyes Ruiz-Gallardo, Antonio Quintanilla y Santiago Castaño

josereyes.ruiz@uclm.es

*Sección de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha
Campus Universitario, s/n. 02071 Albacete (Spain) Tel. +34 967 599200, Fax: +34 967 599233*

RESUMEN

Los incendios forestales son una de las principales causas de degradación del medio natural. La pérdida de suelo que conlleva la erosión post-incendio, puede ser motivo de que el ecosistema permanezca un excesivo número de años en las primeras etapas de sucesión ecológica. El trabajo que a continuación presentamos trata de localizar las zonas que, por sus especiales características físicas y biológicas, pudieran tener una recuperación natural más complicada. Para ello, combinaremos elementos de teledetección con otros derivados de un modelo digital del terreno (MDT), creando un mapa en donde se priorizan las áreas según la necesidad de actuaciones post-incendio forestal, orientadas a proteger el suelo, y por tanto, a minimizar los riesgos de erosión. Estas serán las áreas PAPIF: áreas con Prioridad de Actuación Post-Incendio Forestal. Como caso de estudio, se ha elegido un incendio que ocurrió en Almansa (Albacete), en agosto de 2000.

SUMMARY

Forest fires are one of the most important causes of environmental degradation. Soil loss due to post-fire erosion will keep ecosystems in the first stages of ecological succession for an excessive number of years. The following study tries to pinpoint areas where natural regeneration would be complicated by special biological and physical characteristics. In order to achieve this, remote sensing elements have been combined with maps derived from Digital Elevation Models, the result being a map which gives priority to areas with the greatest need for post-fire intervention. In turn, this map can be used to protect these soils and therefore reduce the risk of erosion. An area affected by forest fire in August of 2000 has been chosen as a case study.

PALABRAS CLAVE: Incendio forestal, priorización de actuaciones post-incendio, Landsat, NDVI, MDT, Almansa

KEY WORDS: Forest Fire, Post-fire intervention priority, Landsat, NDVI, DEM, Almansa.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la degradación de la cubierta vegetal en numerosos puntos de la Tierra, y en particular en zonas semiáridas como la cuenca mediterránea, ha alcanzado importantes niveles de gravedad. Entre las causas de esta degradación están los incendios forestales que, durante el periodo 1981-1990, han quemado una media de 6,700,000 ha de superficie forestal cada año (FAO 1992), siendo España, por sus particulares características geográficas, medioambientales y demográficas, uno de los países en donde sus efectos son más graves. Durante 1994, ardieron en España 432,997 ha en 7,567 incendios (MAPA 1995), en uno de los años más negros de la historia del fuego en este país.

Una de las más graves consecuencias del incendio, es la pérdida de suelo producida por arrastre durante el periodo de lluvias, acentuándose en determinadas zonas en las que confluyen parámetros como pendiente elevada, exposición sur, máxima pérdida de cubierta vegetal, etc. Este riesgo se acentúa en zonas de climas semiáridos como la cuenca mediterránea, en donde es frecuente la

alternancia de largos periodos de sequía con otros de intensas lluvias.

Es por ello que una de las tareas más importantes del administrador forestal es, sin duda, la de localizar estas zonas de máxima susceptibilidad a la erosión, priorizando la actuación sobre ellas, de modo que se evite, en lo posible, la pérdida de suelo y la llegada, en muchos casos, a situaciones de carácter irreversible, en las que no se podrá recuperar el ecosistema en los niveles previos al incendio.

Las aplicaciones de la Teledetección al ámbito forestal son muchas, destacando entre ellas su capacidad para cartografiar de forma precisa, homogénea y completa las superficies afectadas por incendios forestales (Husson 1983), a la vez que es capaz de ofrecer otros tipos de información detallada de toda el área. Combinando estos resultados con modelos digitales del terreno en un SIG, pueden obtenerse nuevos resultados cuyo valor es importante para entender la dinámica y desarrollo que ha tenido el incendio y planificar las posibles actuaciones encaminadas a recuperar la zona afectada.

El objetivo básico del presente trabajo es plantear una metodología que pueda llevar a localizar aquellas áreas con prioridad para una actuación post-incendio forestal (áreas PAPIF), cuya misión es actuar en contra de la pérdida de suelo y lograr que la recuperación del ecosistema sea más sencilla.

Para ello nos basaremos en tres parámetros: **severidad de fuego** o, cantidad de vegetación viva que queda tras el paso de las llamas sobre el suelo. Se trata de un parámetro relativo a la vegetación previa al incendio. Se relaciona con la capacidad de proteger el suelo frente a la erosión (Wischmeier and Smith 1958, MOPT 1992), y con la posterior capacidad para regeneración natural (Hall *et alii*. 1980; Ryan and Noste 1983, Turner *et alii*. 1999). **Pendiente**, cuya relación con la erosión es directa (Wischmeier and Smith 1958, MOPT 1992). **Orientación**, con una relación indirecta con la erosión, ya que facilita o dificulta la regeneración natural, debido a efectos microclimáticos (Herranz *et alii*. 1991a, De las Heras *et alii*. 1995).

ÁREA DE ESTUDIO

La zona quemada (Figura 1) se encuentra situada en el Término Municipal de Almansa, en el sector más oriental de la provincia de Albacete. Se trata de un bosque moderadamente denso de *Pinus halepensis*. Entre la vegetación arbustiva, cabe destacar: *Quercus coccifera*, *Juniperus oxicedrus*, *Ulex parviflorus*, *Erica multiflora*, *Retama sphaerocarpa*, etc. El clima es Mediterráneo continental templado.

METODOLOGÍA

El método que hemos utilizado, presenta dos líneas de actuación:

Teledetección: nos permite localizar y cuantificar la superficie afectada por el incendio, así como clasificar la zona según el grado de incidencia (severidad) con que el fuego ha afectado a cada unidad de superficie. En nuestro trabajo, hemos utilizado imágenes procedentes de Landsat 5 (TM) y 7 (ETM+), con fecha 15/08/98 y 9/9/00 respectivamente, ambas 199-33. Previo a los procesos de análisis e interpretación, las imágenes fueron tratadas digitalmente: se realizó una corrección geométrica y se georreferenciaron. Se realizó una corrección topográfica, aplicando el método de Minnaert (Ekstrand, 1996). Por último y dado que el proceso entraña la comparación entre escenas de diferente fecha, aplicamos una normalización radiométrica basada en la normalización respecto a una escena de referencia (Hill and Sturm 1992).

A partir de las reflectividades aparentes corregidas topográficamente y normalizadas

radiométricamente se ha calculado el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) de acuerdo con la ecuación 1:

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_R}{R_{NIR} + R_R} \quad (\text{Ec.1})$$

donde R_{NIR} es la reflectividad del infrarrojo cercano y R_R la del rojo.

Para determinar y cuantificar la superficie afectada, así como para caracterizar la severidad con que el fuego ha afectado a la cubierta forestal dentro de la zona quemada, se ha utilizado un método basado en la diferencia normalizada de NDVI de tal forma que refleje no sólo la diferencia sino el valor relativo del cambio, calculado según la ecuación 2, en donde: **D** es el valor de la diferencia normalizada, **NDVI_{ANTER}**: el índice de vegetación de la fecha previa al fuego, **NDVI_{POST.}**: el posterior.

$$D = \frac{NDVI_{ANTER} - NDVI_{POST.}}{NDVI_{ANTER} + NDVI_{POST.}} \quad (\text{Ec. 2})$$

De los valores obtenidos, los **positivos de magnitud alta**, corresponden a zonas que se han visto sometidas a un cambio brusco, como es el incendio. Para su cuantificación se ha utilizado, de forma combinada, el valor **D** e información de campo que nos ha permitido definir el valor umbral diferenciador entre píxeles quemados y no quemados, delimitando y cuantificando así, la zona afectada.

Por último, para calcular la severidad con que el fuego ha afectado a la vegetación, pueden emplearse distintos métodos (White *et alii*. 1996; Patterson and Yool, 1998). Nosotros, nos hemos basado en la asociación de los mayores y menores valores **D**, a zonas más y menos duramente afectadas por el fuego (Figura 2). Sus valores han sido comprobados mediante el análisis de parcelas test. Las clases aparecen en la tabla 1, en donde adaptando de Ryan and Noste 1983, han sido ajustadas a los valores encontrados en los ecosistemas como el del caso de estudio.

Sistemas de Información Geográfica: A partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona, se obtienen los correspondientes mapas de alturas, pendiente y orientaciones (Figura 3). Los dos últimos, han sido agrupados en clases para mayor operatividad.

El mapa de pendientes ha sido dividido en tres clases (siguiendo a Bibby & Macney 1969):

- Clase 1: Alta: áreas con pendientes superiores a 15° (27%), en donde la escorrentía es fuerte y el proceso de erosión, puede ser muy serio.
- Clase 2: Media: áreas con pendiente comprendida entre los 7-15° (13-27%) con escorrentía rápida y procesos de erosión cuya gravedad dependerá del tipo de suelo y la litología.

- Clase 3: Baja: áreas con pendiente suave, comprendida entre los 0-7° (0-13%), y en donde la escorrentía es lenta y la erosión hídrica depende de la susceptibilidad del suelo.

En lo que respecta a la orientación, han sido consideradas dos clases, con clara influencia en los procesos de cobertura de suelo y sucesión ecológica en ecosistemas mediterráneos (Herranz *et al* 1991, De las Heras *et alii*. 1995):

- Clase 1: Umbría: Norte, nor-este y nor-oeste
- Clase 2: Solana: Sur, sur-oeste y sur-este.

SEVERIDAD DE FUEGO	DESCRIPCIÓN
NO QUEMADO	No aparecen efectos del fuego sobre la vegetación
LIGERA	Menos del 50% de la vegetación (estrato arbóreo + arbustivo + herbáceo), afectado por el fuego. Siempre, menos del 30% de la cobertura arbórea (árboles dominantes y codominantes) completamente quemados. En estas áreas, pueden encontrarse algunos árboles, simplemente quemados en la base, o incluso intactos. Los estratos arbustivo y herbáceo suelen ser los más afectados por el fuego (puede llegar al 100%).
MODERADA	Como media, menos del 90% de la vegetación (estrato arbóreo + arbustivo + herbáceo), afectada por el fuego. Siempre menos del 75% del estrato arbóreo completamente destruido. La mayoría de los árboles pequeños han muerto, pero algunos de ellos pueden retener hojas y sobrevivir. La mayor parte o el total del estrato arbustivo puede haber sido eliminado.
ALTA (SEVERA)	Más del 90% de la vegetación ha sido afectada y muerta. No obstante, pueden aparecer brotes de cepa o raíz.

Tabla 1: Clases de severidad de fuego observadas en el campo, y utilizadas en este estudio (modificado de Ryan and Noste 1983)

Severidad ⇒ Pendiente ↓	ALTA	MEDIA	LIGERA
0-7°	3	1	1
7-15°	3	2	2
>15°	4	3	3

Tabla 2: Matriz de combinación de la severidad del fuego con la pendiente

Cruzando en el SIG estos mapas con los resultados de superficie quemada, obtenemos los valores de pendiente y orientación para cada píxel afectado.

Combinando en matrices de doble entrada los datos topográficos con el mapa de severidad, obtendremos un nuevo mapa zonificado según su erosionabilidad, indicándonos, en donde habrá que

actuar con más rapidez para evitar mayores pérdidas de suelo (Figura 4). Las matrices se indican en las tablas 2 y 3. Estos factores, deben ser modificados, en función del medio afectado (régimen de precipitaciones, masa vegetal afectada, influencia de la topografía, etc.).

	RESULTADO TABLA 2			
ORIENTACIÓN	1	2	3	4
Umbría	1	1	2	2
Solana	1	2	3	4

Tabla 3: Matriz de doble entrada que combina la orientación del área quemada con el resultado de la combinación de la pendiente con la severidad del fuego (tabla 2)

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez elaborados los procesos hasta el momento explicados y, analizados los datos, hemos obtenido los siguientes resultados:

Superficie afectada por el fuego: La superficie afectada por el fuego ha sido de 1.839 ha, muy similar a la ofrecida por los datos oficiales, que asciende a 1568 ha.

Severidad de fuego: Una vez analizados los datos, hemos obtenido que la superficie queda distribuida de la siguiente forma:

- Severidad alta: 1231 ha
- Severidad media: 403 ha
- Severidad baja: 205 ha

A la vista de estas cifras, comprobamos que el incendio ha sido muy severo, ya que casi el 70% de la superficie está totalmente quemada, mientras que tan solo un 11% ha sido afectada de forma ligera.

Observando ahora el mapa de distribución de estas superficies (Figura 2), apreciaremos que la mayoría de las áreas con severidad ligera quedan concentradas en los bordes del incendio y en la orilla de caminos y campos de cultivo, en donde la actuación por parte del personal de extinción es más eficaz y asequible.

Por todo ello, estas técnicas se confirman como una buena herramienta para la delimitación, cálculo y análisis de superficies afectadas por los incendios forestales, extrayendo pequeñas superficies no quemadas en el interior del perímetro del incendio, mostrando la virulencia con la que la vegetación ha sido afectada, etc.

Pendientes: Del cruce de la superficie afectada por el fuego con el mapa de pendientes, extraemos que la zona quemada se agrupa de la siguiente forma:

- Pendiente baja (0-7°): 565 ha
- Pendiente media (7-15°): 642 ha
- Pendiente alta (>15°): 632 ha

Observando estos valores, parece no haber una relación clara entre el desarrollo del fuego y la pendiente, al menos, para los intervalos en los que la hemos diferenciado.

Orientaciones: Del cruce de la superficie afectada por el fuego, con el mapa de orientaciones, extraemos que las superficies agrupadas por estratos son las siguientes:

- Umbria: 796 ha
- Solana: 1.043 ha

En este caso, parece que hay una tendencia a haberse quemado una mayor proporción de las zonas en solana. Ello puede ser debido a gran número de causas, entre ellas, al microclima que se genera en verano en las solanas, que hacen que la vegetación tenga un mayor estrés hídrico y por tanto, una mayor facilidad para arder.

El tratamiento de los MDT de las zonas afectadas, nos puede mostrar tendencias del fuego con respecto a los parámetros topográficos, así como ayudarnos en la planificación posterior de las actuaciones forestales, a la hora de distribuir el tipo de maquinaria destinada a cada zona, las especies vegetales con las que repoblar, etc.

Áreas con prioridad de actuación post-incendio forestal (áreas PAPIF): Combinando los mapas de severidad de fuego con los de pendientes y orientaciones según ha quedado expuesto en la metodología, los resultados obtenidos son los siguientes:

- Prioridad extrema: 243 ha
- Prioridad alta: 537 ha
- Prioridad media 871 ha
- Prioridad baja 188 ha

De estos datos, extraemos que en una primera fase, convendría repoblar casi el 60% de la superficie quemada (áreas con prioridad alta y extrema). En esta misma fase o bien en una segunda, tendríamos que repoblar un 47% de la superficie quemada (áreas con prioridad media). Por último, las áreas de prioridad baja (10% de la superficie restante), dadas sus condiciones naturales, tiene capacidad suficiente para la autorregeneración y por tanto, en principio no es necesario actuar sobre ellas.

Como conclusión, podemos indicar que la metodología expuesta, puede ser una herramienta de gran ayuda para los gestores forestales, ya que puede orientar la temporización de los trabajos post-incendio, así como hacer una más eficiente distribución de los recursos de los que disponga. No obstante, será necesario abundar en este tipo de estudios, de modo que se afine el método y se ajuste a las características de los distintos ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

Bibby, J. S. and Mackney, D. (1969). *Land use capability classification*. The Soil Survey Technical Monograph 1:6-7.

De las Heras, J., Guerra, J. and Herranz, J. M. 1995. Bryophyte succession after fire in Mediterranean Ecosystems. Differences between N and S exposures 3-5 years after fire. *Acta Oecologica* 16(2):159-169.

Ekstrand, S. 1996. Landsat TM-Based Forest Damage Assessment: Correction for Topographic Effects. *Photog. Eng. & Rem. Sens* 62: 151-161.

FAO 1992. *Global wildland fire statistics, 1981-1990*. MISC/92/4. Forestry Department. Roma.

Hall, D.K., Ormsby, J.P., Johnson, L. and Brown, J. (1980). Landsat digital analysis of the initial recovery of burned tundra at Kokolik River, Alaska. *Remote Sensing of Environment* 10:263-272.

Herranz, J. M., de las Heras Ibañez, J. and Martínez Sánchez, J. J. 1991. *Efecto de la orientación sobre la recuperación de la vegetación natural tras el fuego en el Valle del Río Tus (Yeste, Albacete)*. *Ecología* 5:111-124.

Hill and Sturm, 1992. *Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data use in agriculture land-cover classification and vegetation monitoring*. *Int. J. Rem. Sens.*

Husson, A. 1983. Télédétection des incendies de forêt en Corse entre 1973 et 1980. *Mediterranée Teledetection III* 54: 53-59.

MAPA, 1995. *Los incendios forestales en España durante 1994*. Servicio de publicaciones del MAPA. Madrid.

MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transporte) 1992. *Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico. Contenido y Metodología*. Monografías de la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y del Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid.

Patterson, M. W. and Yool, S. R. 1998. Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison of Linear Transformation Techniques. *Remote Sensing of Environment* 65:132-142.

Ryan, K.C and Noste N.V. 1983. *Evaluating prescribed fires*. In: J.E. Lotan, B.M. Kilgore, W.C. Fisher and R.W. Mutch, Tec. Coord. Proc. Symposium and Workshop on Wilderness Fire. USDA Forest Service General Tec. Rep. INT-182. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah. Pages 230-238.

Turner, MG, Romme, WH. And Gardner, RH., 1999. Prefire heterogeneity, Fire Severity and Early Postfire Plant Reestablishment in Subalpine Forest of Yellowstone National Park, Wyoming. *International Journal of Wildland Fire* 9(1):21-36

White, J. D., Ryan, K. C., Key, C. C. and Running, S. W. 1996. Remote Sensing of Forest Fire Severity and Vegetation Recovery. *Int. J. Wildland Fire* 6(3): 125-136.

Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1958. Rainfall energy and its relation to soil loss. *Transactions of the American Geophysical Union*, 39, pp. 285-291.

AGRADECIMIENTOS: Al Ayuntamiento de Almansa, y en especial a Miguel Cuenca, Concejal de Medio Ambiente.