

UTILIZACIÓN COMBINADA DE ESPECTROMETRÍA DE CAMPO Y FOTOGRAFÍA DIGITAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA SEVERIDAD DEL FUEGO FORESTAL

R. Montorio, F. Pérez-Cabello, J. De la Riva, A. García-Martín y V. Palacios.

*Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.
C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. montorio@unizar.es*

RESUMEN

El objeto del trabajo es detectar las regiones espectrales más sensibles a los niveles de severidad a partir de la relación entre la superficie de los materiales de combustión y los valores de reflectividad. Se estudian 34 parcelas de campo de 380 cm² inmediatamente después de incendios naturales. Se utiliza una estructura metálica para posicionar un espectroradiómetro (rango VIS–NIR) y una cámara digital. La presencia de los diferentes materiales se cartografía mediante clasificación supervisada. Los valores de reflectividad y la simulación de bandas Landsat-TM se correlacionan con los tipos de cubierta, así como con un índice de severidad, derivado de éstos: *Combustion Products Index* (CPI). Las longitudes de onda más sensibles son 450,6 nm para cenizas, 758,2 nm para carbón vegetal y 797 nm para la vegetación superviviente. Se calculan dos modelos de regresión para estimar el CPI, uno con reflectividades, otro con bandas simuladas Landsat-TM: el primero selecciona dos longitudes de onda 450,6 y 767,9 nm (r^2 0,856), el segundo las TM₁ y TM₄ (r^2 0,838). Se evidencia la posibilidad de aplicar el CPI a áreas más extensas con imágenes de resolución espacial media.

ABSTRACT

The objective of this study is to detect those spectral regions most sensitive to severity levels by investigating the relationship between postfire combustion-related surface materials and reflectance values. 34 field plots (380 cm²) were analyzed immediately after natural fires. A portable metallic structure with a fixed system to hold the digital camera and the field spectroradiometer (VIS–NIR range) was used. The proportions of the different surface materials were obtained via a supervised classification process. Reflectance values and convolved Landsat-TM bands were correlated with the individual postfire surface materials and with a fire severity index derived from its combination: *Combustion Products Index* (CPI). The most sensitive wavelengths to individual postfire materials were 450.6 (ash), 758.2 (black carbon), and 797 nm (vegetation). Two stepwise regression models were applied to estimate CPI both using the reflectance values and the convolved Landsat-TM bands. Two individual wavelengths were selected in the first model: 450.6 and 767.9 nm (r^2 0.856). TM₁ and TM₄ bands were selected by the second model (r^2 0.838), raising the possibility of applying this index to large-scale areas with medium spatial-resolution data.

Palabras clave: severidad, espectrometría, fotografía de alta resolución, productos de combustión.

INTRODUCCIÓN

La dinámica de los medios forestales está fuertemente influenciada por el fuego; ello conduce a la necesidad de analizar qué variables controlan la evolución post-fuego (Pérez y Moreno 1998). La severidad ha sido considerada como factor crítico en el análisis de los efectos posteriores al fuego por su influencia en la respuesta vegetal y en la dinámica erosiva (Miller y Yool 2002, Chuvieco *et al.* 2006).

En el ámbito de la severidad, la bibliografía internacional diferencia entre “*fire severity*”, en referencia a los efectos directos del proceso de combustión, mientras que “*burn severity*” se aplica a los efectos considerados a medio-largo plazo (Jain

2004, Key y Benson 2005). Nuestro trabajo se centra en los efectos inmediatos a la combustión, en relación con los materiales de superficie presentes en zonas quemadas, sin considerar las características ambientales previas ni la respuesta post-fuego.

Estimar la severidad es el objetivo final de muchos estudios con teledetección, pues las imágenes de satélite son eficientes en coste, proveen información continua y facilitan un adecuado seguimiento de los procesos post-fuego; el trabajo de campo es necesario para establecer la validez de las relaciones empíricas antes de ser aplicadas a escala regional, especialmente si se considera la subjetividad de determinadas estimaciones en campo (Key y Benson 2005, Chuvieco *et al.* 2006).

El uso de índices para evaluar la severidad se basa en el contraste del comportamiento espectral entre el infrarrojo próximo y el medio (Key y Benson 2005). Además, la vegetación –principal producto afectado– muestra importantes diferencias entre el infrarrojo próximo y el visible; por ello, esta última región puede ser también adecuada para su evaluación (Díaz-Delgado *et al.* 2001).

Este trabajo tiene como objetivo investigar la relación entre la superficie de los materiales de combustión y los registros de reflectividad para identificar las regiones espectrales más sensibles en relación con los niveles de severidad.

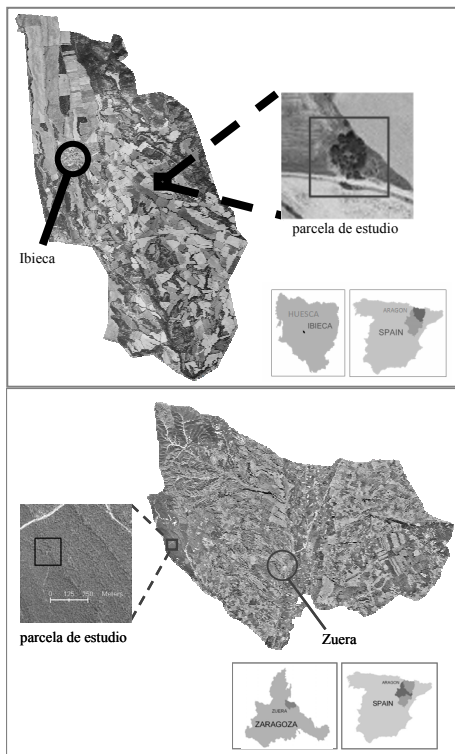


Figura 1.- Áreas de estudio: Ibieca y Zuera.

ÁREAS DE ESTUDIO

La investigación se desarrolló en dos incendios del verano de 2006: uno –14 de junio– en el municipio de Ibieca (Huesca), que quemó 300 Ha de cultivo y 200 Ha de carrasca y matorral; otro –25 de julio– en el municipio de Zuera (Zaragoza), que afectó a 40 Ha de pinar. El área concreta de estudio

en Ibieca es un rodal de carrasca y matorral, en Zuera en un sector de *Pinus halepensis* (Figura 1).

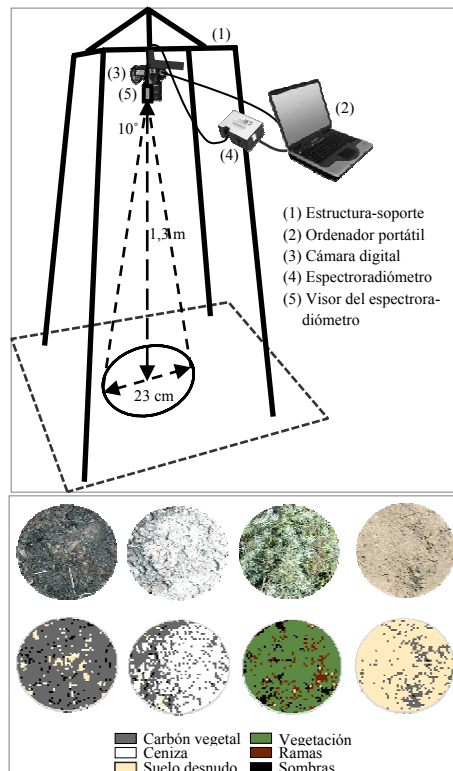


Figura 2.- Diseño experimental (arriba) y cartografía derivada de las observaciones (abajo).

METODOLOGÍA

Para la obtención de los datos de campo se utilizó una estructura metálica de 0,7x0,7x1,5 m que sustenta la cámara y el visor del espectroradiómetro, asegurando que ambos registraran la misma superficie (Figura 2, sup.). La estructura se desplazó a diferentes parcelas con objeto de registrar las diversas realidades presentes en áreas quemadas: carbón, ceniza, vegetación quemada, suelo desnudo. A partir de situaciones de suelo desnudo, se registraron parcelas con porcentaje creciente de carbón vegetal, hasta alcanzar éste el 100% de la superficie. Idéntico proceso se siguió con los demás productos hasta obtener 34 muestras representativas de las posibles situaciones tras un incendio. De esta forma se analizó la sensibilidad de las diferentes longitudes de onda para los materiales post-fuego.

La cámara se suspendía verticalmente en la estructura-soporte, controlando el sistema desde un ordenador portátil, para la captura de fotografías del visible y del infrarrojo, en este último caso añadiendo un filtro al visor de la cámara digital. Tras la captura de las fotografías se registraba la reflectividad con un espectroradiómetro de campo Ocean Optics USB2000 (ancho de banda de 400-900 nm, 0,3 nm de resolución). Un extremo de la fibra óptica era suspendido de la estructura a la misma altura que la cámara digital (1,3 m). El campo de visión instantáneo –IFOV– era de 10°, evitando la proyección de sombras de la estructura. Tales IFOV y altura generaban una superficie de captura de 23 cm de diámetro (Figura 2, inf.).

La cartografía de los productos se obtuvo de las fotografías visibles e infrarrojas, dispuestas conjuntamente en un fichero multi-banda para cada parcela. Se analizó la superficie registrada con el espectrómetro, aplicando una clasificación supervisada, mediante el método de máxima probabilidad, y cartografiando así los productos de combustión: cenizas, en las que el combustible había sufrido una combustión total, indicadora de la máxima intensidad del fuego; carbón vegetal, con permanencia de combustible no calcinado; restos vegetales en parte calcinados que sobrevivieron; vegetación no quemada (Figura 2, inf.).

Los productos de combustión fueron integrados en un índice –que se ha denominado *Combustion Products Index* (CPI)– que considera los efectos del fuego a corto plazo y que se formula como una relación lineal entre los tres productos de

combustión: ceniza, carbón vegetal y restos vegetales. Los dos primeros son indicadores de altos niveles de combustión, por lo que intervienen con signo positivo; en cambio, la presencia de restos vegetales denota niveles inferiores de combustión, introduciéndose en la fórmula con signo negativo:

$$CPI = (10A + BC) - (BV + 4V)$$

donde A significa cenizas (*ash*); BC, carbón vegetal (*black carbon*); BV, vegetación quemada (*burned vegetation*); V, vegetación no quemada. Los coeficientes de A y V reflejan los mayores niveles de combustión de las cenizas respecto del carbón vegetal y los menores de la vegetación superviviente frente a la quemada. Su magnitud se basa en los cambios de reflectividad observados en las parcelas muestreadas.

RESULTADOS

Mediante análisis de correlación entre el grado de cobertura de los productos o de CPI calculado y los valores de reflectividad se evaluó la sensibilidad de las longitudes de onda. Cenizas y CPI muestran el mismo comportamiento: los coeficientes de correlación disminuyen con el incremento de la longitud de onda (valores positivos en todo el rango). Este decrecimiento es moderado hasta la región del “límite del rojo” (*red edge*), a partir del cual se observa una brusca caída e incluso un cambio en la significación de la correlación, manifestándose falta de significación en el infrarrojo próximo. En la longitud de onda de 450,6 nm se alcanza, en ambos casos, el coeficiente mayor (R 0,877 para cenizas y 0,809 para CPI) (Figura 3).

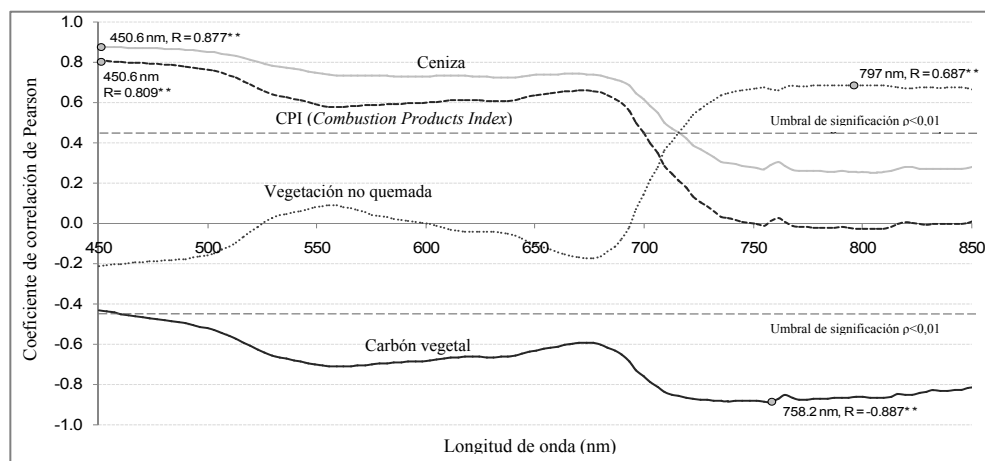


Figura 3.- Análisis de correlación entre valores de reflectividad y superficie de los productos de combustión.

El carbón muestra una tendencia inversa: los coeficientes de correlación se incrementan al tiempo que lo hace la longitud de onda, con valores siempre negativos. El punto de inflexión se produce también en el *red edge*, mostrando los coeficientes más altos en el infrarrojo próximo, con un máximo en 758,2 nm (R -0,887). La inflexión no genera cambio en la significación, que, en este producto, es de $p < 0,01$ en todo el rango (Figura 3).

Los coeficientes de correlación de los restos vegetales reproducen la signatura espectral de la vegetación con valores negativos en las regiones del azul y el rojo y positivos –aunque bajos– en el verde y altamente positivos en el infrarrojo próximo; esta última es la única región con valores significativos, estando la mayor sensibilidad en 797 nm (R 0,687).

Tabla 1. Modelos de regresión para estimar el CPI.

Información	Modelo	R ² ajustado
Valores de reflectividad	$-130,800 + (92,461 * \lambda_{450,6}) + (-19,800 * \lambda_{767,9})$	0,856
Simulación Landsat TM	$-188,702 + (91,263 * TM_1) + (-20,264 * TM_4)$	0,838

Mediante un modelo de regresión por pasos se estimó CPI con los valores de reflectividad y de la simulación de las bandas TM. El modelo obtenido en el primer caso estimó CPI con un R² ajustado de 0,856, siendo las longitudes de onda incluidas 450,6 y 767,9 nm, sensibles respectivamente al porcentaje de cenizas y de carbón vegetal (Tabla 1). El modelo ajustado para la simulación de bandas Landsat TM estimó CPI con un R² ajustado de 0,838, incluyéndose TM₄ y TM₁ (Tabla 1).

CONCLUSIONES

Las longitudes de onda del visible son sensibles a los cambios tanto de las cenizas como del CPI, especialmente en la longitud de onda de 450,6 nm. Por el contrario, la región del infrarrojo próximo es sensible a los cambios en el carbón vegetal y la vegetación no quemada, mostrando una relación inversa y directa, respectivamente. La región del *red edge* manifiesta la inflexión en todas las tendencias de correlación: decremento de la sensibilidad de la longitud de onda para cenizas y CPI e incremento para el carbón vegetal y la vegetación no quemada. Los modelos de regresión por pasos predicen el CPI –80%– tanto con los valores de reflectividad originales como con la simulación de bandas Landsat TM. Ello sugiere la posibilidad de estimar el CPI tanto mediante

sensores de alta como de baja resolución espectral. En todo caso, es preciso aplicar una afinada corrección radiométrica, especialmente cuando se utiliza la banda TM₁, fuertemente afectada por los efectos atmosféricos, como en este caso.

Se muestra la validez de la metodología aplicada para la mejor comprensión de la severidad y su relación con los valores de reflectividad. De cara a futuras investigaciones deben hacerse algunas consideraciones: los resultados deben validarse aplicando los modelos a otras zonas; debe estudiarse la mejora que puede aportar el infrarrojo medio; en los procesos de degradación de escala –*up-scaling*– debe incorporarse la heterogeneidad espacial.

BIBLIOGRAFÍA

- Chuvieco, E., Riaño, D., Danson, F.M. and Martín, P. 2006. Use of a radiative transfer model to simulate the postfire spectral response to burn severity. *Journal of Geophysical Research* 111: G04S09.
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F. and Pons, X. 2003. Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery. *International Journal of Remote Sensing* 24 (8): 1751-1763.
- Jain, T.B. and Graham, R.T. 2004. Is forest structure related to fire severity? Yes, no, and maybe: Methods and insights in quantifying the answer. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P* 34: 217-234.
- Key, C.H. and Benson, N. 2005. Landscape Assessment: Ground Measure of severity, the Composite Burn Index; and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In Lutes, D.C. et al. (Eds.) *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164* pp. LA1-LA51, Rocky Mtn. Res. Stn., For. Serv., U.S. Dep. Of Agric., Ogden, Utah.
- Miller, J.D. and Yool, S.R. 2002. Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM+ data. *Remote Sensing of Environment*, 82: 481-496.
- Montorio, R.; Pérez-Cabello, F.; García-Martín, A. and de la Riva, J. 2008. Combined methodology based on field spectrometry and digital photography for estimating fire severity. *IEEE JSTARS*, 1(4): 266-274.
- Pérez, B. and Moreno, J.M. 1998. Methods for quantifying fire severity in shrubland-fires, *Plant Ecology*, 139: 91-101.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el MICINN (CGL2008-01083/CLI, CGL2008-02301).