

## Cartografía de los niveles de severidad en el incendio forestal de Minas de Riotinto (Huelva) a partir de imágenes Landsat 5 TM.

Roldán-Zamarrón, A., González-Alonso, F., Merino-de-Miguel, S., García-Gigorro, S. y Cuevas, J.M.

Laboratorio de Teledetección CIFOR-INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria). Ctra. A Coruña, km 7.5. 28040 Madrid. roldan@inia.es.

### Resumen

En el presente trabajo se lleva a cabo una estimación de la superficie quemada y de los niveles de severidad causados por el incendio que se inició en Minas de Riotinto (Huelva) el 27 de julio de 2004. El objetivo es encontrar un método que permita estimar la severidad de manera rápida y eficiente a partir de imágenes de satélite. Se aplicaron distintos tratamientos basados en el análisis de mezclas espectrales sobre una imagen Landsat 5 TM post-incendio. En las fases de entrenamiento y verificación se emplearon datos tomados en campo. La comparación de los resultados obtenidos con los distintos métodos permite extraer algunas conclusiones interesantes enfocadas a la elaboración de cartografía de niveles de severidad post-incendio.

### 1. Introducción

El incendio iniciado el 27 de julio en Minas de Riotinto (Huelva) se mantuvo activo cuatro días, y fue el más grave ocurrido en España en 2004. El perímetro afectado comprende una superficie de aproximadamente 34300 ha entre las provincias de Huelva y Sevilla, según cifras de la Junta de Andalucía (El PAÍS, 12 de agosto de 2004). Las masas forestales arrasadas estaban compuestas principalmente por pino (*Pinus pinea*), alcornoque (*Quercus suber*), encina (*Quercus ilex*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*).

La severidad de un incendio puede definirse como la integración de los cambios físicos, químicos y biológicos producidos en un lugar como consecuencia del paso del fuego [1].

La teledetección ha demostrado ser una técnica especialmente adecuada para suministrar información sobre cambios ocurridos en los ecosistemas forestales [2], entre ellos los causados por incendios. Varios autores ([1], [2], [3], [4] y [5]) han obtenido buenos resultados al estimar la severidad de un incendio mediante técnicas de

teledetección. El presente trabajo se engloba dentro de esta línea de investigación.

El objetivo es comparar distintas técnicas de tratamiento de imágenes basadas en el análisis de mezclas espectrales con el fin de encontrar la más operativa para evaluar los grados de severidad causados por un incendio.

### 2. Material empleado

Para el estudio de la superficie incendiada se empleó una imagen captada el 31 de julio de 2004 por el sensor TM (Thematic Mapper) a bordo del satélite Landsat 5 de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Como cartografía de vegetación se manejó la base de datos europea de usos del suelo Corine Land Cover 2000 (CLC2000) [6].

Para el entrenamiento de los análisis aplicados a la imagen Landsat TM y para la verificación de los resultados se emplearon los datos de campo recogidos en la zona incendiada en una campaña de muestreo entre el 5 y el 8 de octubre de 2004.

El tratamiento de imágenes se llevó a cabo con ENVI 4.0 y ArcView 3.2. Para los análisis estadísticos se empleó Statgraphics Plus 4.1

### 3. Método seguido

#### 3.1. Trabajo previo a la campaña de campo

La imagen Landsat TM se corrigió geoméricamente tomando como base el CLC2000, para poder combinar ambas fuentes de información.

Sobre la imagen corregida se realizó un primer análisis de tipo Matched Filtering (MFpre-campo), para obtener una estimación de la superficie quemada y una primera cartografía de niveles de severidad en base a la cual poder planificar la campaña de campo.

El método Matched Filtering (MF) asigna a cada píxel un valor de probabilidad de pertenecer a una clase. Dicha clase se define con un conjunto de polígonos de entrenamiento ("endmember"). En

este caso los polígonos se eligieron en zonas completamente quemadas, y la probabilidad asignada a cada píxel se interpreta como su grado de severidad. La elección del método MF se basa en los buenos resultados obtenidos en trabajos anteriores para la discriminación de zonas quemadas [7].

Los polígonos de entrenamiento se delimitaron “de visu” sobre la propia imagen, buscando zonas aparentemente muy quemadas.

El MFpre-campo se reclasificó en tres niveles de severidad: baja (1), media (2) y alta (3). Se decidió trabajar con tres niveles puesto que resulta adecuado para el objetivo de este trabajo, como se deduce de la propia experiencia [3] y de trabajos consultados ([2] y [5]). Los niveles se definieron basándose en la imagen Landsat TM y en los resultados obtenidos por Merino-de-Miguel *et al.* [7]. Los umbrales elegidos para la reclasificación del MFpre-campo aparecen en la Tabla 1.

Tabla 1: *Umbrales de reclasificación del Matched Filtering pre-campo.*

Valor de MF <sub>pre</sub>	Severidad
$0 < MF \leq 0,5$	1
$0,5 < MF \leq 0,9$	2
$MF > 0,9$	3

Sobre el archivo resultante se aplicó un filtro de mediana de 7x7 para eliminar píxeles aislados. Esta cartografía provisional se combinó con un mapa de vegetación de cinco clases basado en el CLC2000 (coníferas, eucaliptos, resto de frondosas, mixto y no arbolado). Se obtuvo un mapa con 15 tipos de zonas en función de la severidad y del tipo de vegetación presente antes del incendio.

Para la evaluación visual de la severidad en campo se elaboró una clave fácil de interpretar y adaptada a las condiciones de los montes mediterráneos, basada en la propuesta por Ruiz Gallardo [5].

### 3.2. Campaña de campo

Las zonas a muestrear se eligieron sobre la cartografía elaborada (ver 3.1). Se definieron los itinerarios por carreteras y pistas atravesando la zona incendiada, y se eligieron los puntos de muestreo de manera que reflejasen todas las posibles combinaciones de nivel de severidad y tipo de vegetación previa al incendio. En cada punto se tomaron coordenadas GPS, fotografías, una estimación visual de la severidad según la clave establecida en gabinete (ver 3.1) y anotaciones

sobre las condiciones de la zona. Se cuenta con un total de 54 puntos (30 de severidad 3, 18 de severidad 2 y 6 de severidad 1) que se usaron para verificar los resultados. Sólo 35 de esos puntos, que se denominaron puntos  $\alpha$ , se emplearon en la fase de entrenamiento (19 de severidad 3, 13 de severidad 2 y 3 de severidad 1).

### 3.3. Trabajo posterior a la campaña de campo

Se aplicaron distintos tratamientos a la imagen Landsat TM, basados en el análisis de mezclas espectrales. Los “endmember” se definieron empleando únicamente los puntos  $\alpha$ .

#### 3.3.1. Matched Filtering (MF)

Se elaboraron dos MF basados en los puntos  $\alpha$  de severidad 3. El “endmember” se definió de dos formas:

- Considerando únicamente los píxeles que contienen los puntos de muestreo (MF\_A).
- Tomando ventanas de 5x5 alrededor de los píxeles que contienen los puntos de muestreo (MF\_B).

Sobre los MF\_A y B se hizo una clasificación no supervisada (Isodata) de tres clases, y se aplicaron filtros de mediana de 3x3, 5x5 y 7x7. Se obtuvieron 8 clasificaciones. Se hizo una segunda estimación de superficie quemada a partir del MF\_A, siguiendo el proceso explicado en 3.1.

Sobre el MFpre-campo se hizo también una clasificación no supervisada y se aplicaron filtros de 3x3, 5x5 y 7x7. Se obtuvieron 4 clasificaciones.

#### 3.3.2. Análisis Lineal de Mezclas Espectrales (ALME)

Este método de análisis asume que la respuesta espectral de cada píxel es combinación lineal de las respuestas de cada uno de sus componentes. En este caso se consideraron como componentes los tres niveles de severidad, y se definieron los “endmembers” (uno asociado a cada clase de severidad) en base a los píxeles que contienen los 35 puntos  $\alpha$  tomados en campo. El resultado es una banda para cada uno de los “endmember”, que asigna a cada píxel la probabilidad de pertenecer a la clase de severidad correspondiente a dicho “endmember”.

Sobre el archivo resultado del ALME se hizo una clasificación no supervisada de tres clases y se aplicaron filtros de mediana de 3x3, 5x5 y 7x7. Se obtuvieron 4 clasificaciones.

### 3.3.3. Verificación de las clasificaciones

Para verificar las 17 clasificaciones realizadas (ver 3.1, 3.3.1 y 3.3.2) se emplearon los 54 puntos de campo. Se elaboraron tablas de contingencia entre los datos obtenidos en campo y los procedentes del tratamiento de imágenes. En el análisis estadístico se comprobó la no independencia entre ambas series de datos mediante la prueba Chi-cuadrado, y se obtuvieron la fiabilidad global, el índice Kappa y el coeficiente de correlación de rangos de Kendall ( $\tau_c$ ) como medidas del grado de asociación. El índice Kappa varía entre 0 y 1, siendo 1 la perfecta asociación.  $\tau_c$  varía entre 1 (perfecta asociación positiva) y -1 (perfecta asociación negativa). Con ambos índices, la independencia se da para el valor 0.

## 4. Resultados

### 4.1. Estimación de la superficie quemada

La superficie quemada obtenida a partir del MFpre-campo (ver 3.1) resultó ser de 34473,33 ha.

Al repetir el proceso teniendo en cuenta los datos de campo (ver 3.3.1) se obtuvo una segunda estimación de superficie quemada de 32057,56 ha. Esta cifra se considera más ajustada, al estar basada en información recogida sobre el terreno.

### 4.2. Estimación del nivel de severidad

Con respecto a la estimación de niveles de severidad causados por el incendio, las cuatro clasificaciones para las que se han obtenido los mejores resultados se exponen a continuación.

- MF1: MF cuyo “endmember” procede únicamente de los puntos  $\alpha$  de severidad 3. Sobre el MF se aplicó una clasificación no supervisada de 3 clases y un filtro de mediana de 7x7 (ver 3.3.1).
- MF2: sobre el MFpre-campo se establecieron umbrales para diferenciar las tres clases de severidad. Sobre el archivo resultante se aplicó un filtro de mediana de 7x7 (ver 3.1).
- MF3: Igual que MF1 pero aplicando un filtro de 5x5 (ver 3.3.1).
- MF4: sobre el MFpre-campo se aplicó una clasificación no supervisada de 3 clases y un filtro de mediana de 7x7 (ver 3.3.1).

En la Tabla 2 aparecen los valores de fiabilidad global y coeficientes Kappa y  $\tau_c$  de Kendall para las

clasificaciones citadas.  $\tau_c$  es significativo en todos los casos para un nivel de confianza del 95%, y para MF1, MF2 y MF4 al 99%.

Tabla 2: Verificación de las clasificaciones con los 54 puntos tomados en campo.

	Fiabilidad global %	Índice Kappa	Índice $\tau_c$
MF1	59,26	0,38	0,40
MF2	57,41	0,31	0,38
MF3	57,41	0,29	0,31
MF4	55,56	0,31	0,37

El mejor resultado se obtiene para MF1, con una fiabilidad global del 59,26%, lo cual se considera aceptable ([2] y [8]), especialmente teniendo en cuenta la escasa densidad del muestreo. El aspecto del MF1 puede verse en la Figura 1.

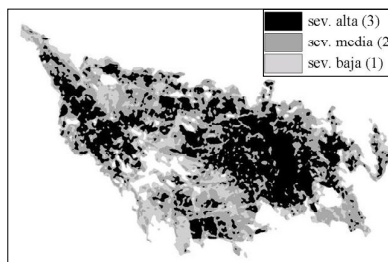


Figura 1: Aspecto de la zona incendiada con tres niveles de severidad.

La distribución de superficie quemada según el nivel de severidad asignado por MF1 aparece en la Tabla 3.

Tabla 3: Porcentaje de superficie quemada según el nivel de severidad.

Severidad	% de superficie
1	20,7
2	40,7
3	38,6

Es necesario destacar la virulencia del incendio, que pudo ser comprobada en campo. Casi un 40% de la superficie corresponde a un nivel alto de severidad, lo que se traduce en vegetación arrasada y suelo prácticamente desnudo en zonas muy extensas. Entre los niveles de severidad medio y alto suman el 80 % de la superficie. No cabe duda

de que este incendio ha sido devastador para la vegetación y para la economía local, por lo que urge tomar medidas para la recuperación de los recursos forestales perdidos.

## 5. Conclusiones

Las principales conclusiones que pueden extraerse del trabajo presentado son las siguientes:

- El método MF ha proporcionado resultados aceptables para la estimación tanto de superficie quemada como de niveles de severidad, incluso sin contar con datos de campo. Sin embargo, los resultados mejoran cuando se usa información de campo para definir el “endmember”.
- Los MF cuyo “endmember” está formado por píxeles individuales (basados en datos de campo) dan mejores resultados que aquéllos cuyo “endmember” procede de ventanas tomadas alrededor de dichos píxeles. Esto corrobora la importancia de la “pureza espectral” para definir zonas de entrenamiento.
- La clasificación no supervisada aplicada sobre los MF es un método automático para definir clases que ha producido resultados aceptables. Este método evita la subjetividad asociada al establecimiento de umbrales “de visu”, y facilita la comparación de resultados.
- Los resultados obtenidos con el método MF son mejores que los obtenidos con ALME, incluso para el MF previo a la salida de campo. Esto puede facilitar el trabajo, ya que el MF es más sencillo de obtener y manejar que el ALME.
- La aplicación de filtros de mediana mejora los resultados, lo cual es positivo ya que es necesario eliminar el exceso de puntos aislados para obtener cartografía aplicable a la gestión.

La metodología desarrollada ofrece resultados prometedores para obtener cartografía de severidad de calidad aceptable y con poco trabajo de campo, operativa para una evaluación rápida de la situación tras el paso del fuego. El método es aplicable a cualquier incendio, sólo es necesaria una imagen posterior al paso del fuego sobre la que se realiza un procesamiento sencillo, y proporciona una herramienta muy útil para la toma de decisiones por parte de los gestores forestales. Se considera necesario profundizar en el método para lograr mejores resultados y contrastar las conclusiones obtenidas.

## 6. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del Convenio CC02-0015 suscrito entre el Ministerio de Medio Ambiente y el INIA. Los autores agradecen al Grupo de Incendios Forestales del CIFOR-INIA y a Francisco Rodríguez Silva su asesoramiento y colaboración en la preparación de la campaña de campo, y a Rafael Navarro Cerrillo la bibliografía suministrada.

## 7. Referencias

- [1] Chafer, C.J., Noonan, M. and Macnaught, E., “The post-fire measurement of fire severity and intensity in the Christmas 2001 Sydney wildfires”, *Int. Journal Wildland Fire*, 13, 227-240, 2004.
- [2] Navarro Cerrillo, R.M., Navarro Mezquita, C., Salas Cabrera, F.J., González Dugo, M.P., Fernández, P.L. y Rodríguez-Silva, F., “Evaluación de grados de afectación producidos por un incendio. Aplicación de imágenes Landsat-TM a su caracterización y seguimiento”, *Mapping* 44, 37-47, 1998.
- [3] González-Alonso, F., Merino-de-Miguel, S., Roldán-Zamarrón, A., García-Gigorro, S. y Cuevas, J.M., “MERIS Full Resolution data for mapping level-of-damage caused by forest fires. The Valencia de Alcántara event in August 2003”. (En revisión).
- [4] González-Alonso, F., Merino-de-Miguel, S., García-Gigorro, S., Roldán-Zamarrón, A., Cuevas, J.M. y Arino, O., “Mapping forest-fire damage with Envisat”, *ESA bulletin*, 120, 22-26, 2004.
- [5] Ruiz Gallardo J.R., “Teledetección y SIG en la asistencia de la actuación forestal post-incendio” (Tesis Doctoral), Universidad de Castilla-La Mancha, 107-110, 2004.
- [6] Agencia Europea de Medioambiente-Instituto Geográfico Nacional, Corine Land Cover 2000 (<http://www.mfom.es/ign/>).
- [7] Merino-de-Miguel, S., González-Alonso, F., García-Gigorro, S., Roldán-Zamarrón, A., y Cuevas J.M., “Is it possible to timely and accurately estimate wildfire burnt areas using remote sensing techniques?”, *24<sup>th</sup> EARSeL Symposium*, mayo 2004, Dubrovnik, Croacia.
- [8] Castillo, J., Martínez-Casasnovas, J.A., “Análisis de la recuperación de la cubierta vegetal en los municipios de Pinós y Torá tras el incendio de 1998 mediante el tratamiento multitemporal de imágenes de satélite Landsat ETM+”, *INVETEL 2004*, marzo 2004, Lleida, España.