

# Evaluación de la superficie afectada por el gran incendio de Cataluña Central de 1998 a partir de imágenes LISS-III y WiFS

A. Vázquez, J. M. Cuevas y F. González-Alonso

vazquez@inia.es

Laboratorio de Teledetección, Centro de Investigaciones Forestales INIA

Ctra. de A Coruña km 7, 28040 Madrid, España

## RESUMEN

En este trabajo se explora la utilidad de las imágenes LISS-III y WiFS en la evaluación de la superficie quemada en un gran incendio. La imagen LISS-III posterior al incendio se ha analizado por medio de técnicas de mezclas espectrales. Las imágenes WiFS de antes y después del fuego se han sometido también a estas técnicas y al análisis por medio de diferencias en los índices de vegetación. Los resultados obtenidos indican que en grandes incendios, en los que frecuentemente hay islas de vegetación no quemada, las valoraciones oficiales tenderían a sobrestimar la superficie realmente afectada por el fuego.

**PALABRAS CLAVE:** Análisis de mezclas espectrales, incendios forestales, LISS-III, WiFS.

## ABSTRACT

In this work we assess the utility of LISS-III and WiFS images for the area burned measurement in a large fire. The post-fire LISS-III image was analysed by means of spectral unmixing techniques. The pre and post-fire WiFS images were analysed using these same techniques and also by the vegetation index differences. Our results suggest that in large fires, with unburned islands within the fire perimeter, the official data tend to overestimate the actual area burned.

**KEY WORDS:** Spectral unmixing, forest fires, LISS-III, WiFS

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de la superficie afectada por los incendios forestales es una de las aplicaciones que tienen en la actualidad las imágenes de satélite (Minnich, 1983, González-Alonso, 1994). Los incendios forestales, debido en gran medida a las modificaciones en los usos del territorio, están adquiriendo en los países europeos de la cuenca Mediterránea unas dimensiones desconocidas en épocas recientes (Le Houerou, 1987; Vázquez y Moreno, 1998). En España el año 1998 estuvo marcado por el gran incendio registrado en Cataluña central. Los objetivos de este trabajo son: (1) Explorar la utilidad de sensores con distinta resolución espacial y espectral en la delimitación y evaluación de la superficie afectada por el fuego y (2) Comparar los resultados obtenidos con diferentes técnicas de análisis.

Las hipótesis de trabajo son: (1) La delimitación, al menos de los grandes incendios, puede llevarse a cabo de manera bastante eficiente y económica con imágenes de media resolución espacial. Esta economía de medios se acentúa si se considera que en la actualidad se emplean medios aéreos (frecuentemente mucho más costosos) para estas tareas. (2) En áreas con una gran diversidad de tipos de usos y con numerosas islas no quemadas las

técnicas de análisis de mezclas espectrales pueden ser de gran utilidad (Caetano et al., 1994).

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Zona de estudio

La zona afectada por el fuego se localiza entre las comarcas del Solsones, Bages y Segarra en Cataluña central (provincias de Lleida y Barcelona), al sur de la Sierra del Cadí. El incendio estuvo activo entre los días 18 y 21 de julio de 1998. Las velocidades de propagación máximas alcanzaron valores de 12,5 km/h. El cambio de las condiciones meteorológicas el día 21 permitió su control y extinción (González y Castellnou, 1998).

### Imágenes empleadas

Se han empleado imágenes de distinta resolución espacial y espectral correspondientes a los sensores WiFS (2 bandas y 180 m de resolución espacial) del 18 de julio de 1997 y del 6 de agosto de 1998 y LISS-III (4 bandas y 25 m de resolución espacial) del 21 de Agosto de 1998. Ambos sensores están alojados en el satélite indio IRS-1 C. Además se ha analizado el "Quick-Look" de la imagen LISS. Para todas las imágenes se ha delimitado una zona de estudio de 40 x 50 km.

### Correcciones geométricas

Las tres imágenes se han corregido utilizando puntos de control y ecuaciones polinomiales de primer orden. La LISS frente a mapas 1:50.000 y la WiFS frente a mapas 1:250.000, en ambos casos del Instituto Geográfico del Ejército (IGE). La imagen WiFS de 1997 se ha rectificado a la WiFS del 98 una vez corregida. El método de remuestreo ha sido la convolución cúbica. El tamaño de píxel se ha establecido en 25 m. El Quick-look se ha corregido frente a una ortoimagen a escala 1:250.000 (ICC, 1987).

### Métodos de análisis

Se han empleado tres aproximaciones diferentes para la identificación, y evaluación, de la zona afectada por el fuego: (1) Delimitación visual del límite exterior del área quemada. Esta delimitación se ha realizado para las imágenes correspondientes a los sensores WiFS, LISS-Hill y el Quick-look. (2) Análisis de mezclas espectrales, "spectral unmixing", sobre la imagen LISS-III y sobre las dos imágenes WiFS (de antes y después del fuego). Se ha empleado la técnica del "Matched Filtering". Esta técnica realiza un "unmixing" parcial, cuantificando las abundancias de los "endmembers" (EM) definidos de manera que no es preciso conocerlos todos (como sería necesario en el caso de las técnicas clásicas de análisis de mezclas espectrales). Además, la identificación de todos los EM de la imagen se ve limitada por el número de bandas disponibles (González-Alonso, 1997). Como paso previo en la selección de los EM se ha empleado la utilidad "píxel Purity Index" de manera que se seleccionaron los píxeles espectralmente más puros (ENVI, 1997) y, por tanto, más representativos de los EM seleccionados. (3) La última aproximación ha sido la comparación de las imágenes WiFS de antes y después del incendio por medio de un índice de vegetación (NDVI). Para hacerlas comparables radiométricamente se ha normalizado la imagen de 1997 a la de 1998 (Durrieu y Deshayes, 1994). Para ello se han calculado, para cada banda, las relaciones lineales entre los valores medios extraídos de diversas zonas no quemadas (consideradas como superficies invariantes) en los dos años. Las ecuaciones de regresión presentaron coeficientes de determinación muy elevados ( $r^2=0.99$  y  $r^2=0.98$  para las bandas 1 y 2 respectivamente). Los parámetros a y b obtenidos para cada banda se emplearon en la normalización de la imagen de 1997. Estas nuevas bandas se emplearon para calcular el NDVI.

## RESULTADOS

### Límites exteriores

Los resultados de la delimitación visual del límite exterior de la zona quemada son bastante simila-

res: 26.716 ha sobre la imagen WiFS, 26.371 ha sobre la LISS-III y 26.040 ha a partir del Quick-look (Tabla 1). Estos resultados son también bastante concordantes con los ofrecidos por otras fuentes de información (Tabla 1). Sin embargo dentro de este perímetro exterior aparecen numerosas islas no afectadas por el fuego. Además, la diversidad de usos de la zona quemada y la presencia de numerosas áreas de cultivos agrícolas dificulta aún más la valoración precisa de la superficie realmente afectada por el fuego. Para ello se ha recurrido a las demás técnicas empleadas.

### Análisis de Mezclas Espectrales

El "EM Quemado" obtenido de la imagen LISS-III se muestra en la Figura 1. Ésta imagen representa el grado relativo de ajuste al espectro de referencia y, de manera aproximada, la abundancia a nivel de sub-píxel del "EM Quemado" por medio de 21 clases. Valores más elevados representan un mejor ajuste. Considerando como umbral de la zona quemada a partir de la clase 9, la superficie afectada dentro del límite exterior establecido (suma de las clases 9 a 17) sería de 16.782 ha (Tabla 1 y Figura 1A).

El "EM Quemado" obtenido de la combinación de las dos imágenes WiFS muestra también una concordancia muy aceptable con el perímetro establecido para el incendio (Figura 1B). Estableciendo, al igual que en el caso anterior, un valor umbral en el "EM Quemado", la superficie afectada por el fuego dentro del límite exterior del incendio se cifraría 22.561 ha.

### Comparación entre imágenes WiFS

El umbral para considerar que una zona se vio afectada por el fuego se ha establecido de manera visual a partir del perímetro del incendio (delimitado sobre la imagen LISS) y se ha fijado en 1,15 (la imagen de 1997 presentaba valores del NDVI 1,15 veces más elevados que los de 1998) y se muestra en la Figura 1 C. Con este criterio, dentro de las 26.371 ha de perímetro exterior, se encontrarían 4.837 ha que no se han visto afectadas por el fuego, es decir, que no han variado de manera drástica su respuesta espectral (Tabla 1 y Figura 1C).

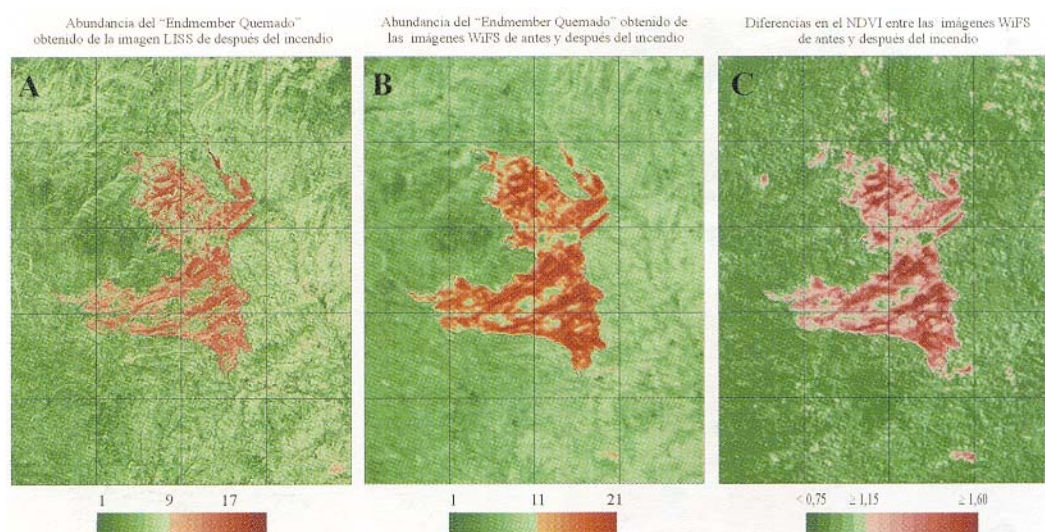
## DISCUSION

Una valoración detallada de los ajustes entre las diferentes técnicas empleadas implicaría disponer de datos precisos de la superficie afectada por el fuego, bien por muestreos de campo o por la existencia de una cartografía detallada. Sin embargo, en términos relativos si es posible establecer una comparación entre las distintas fuentes de información empleadas. Es de destacar la similitud en cuanto a los valores del límite exterior obtenidos a partir de las distintas imágenes y entre éstas y las

Procedencia de los datos	Procedimiento empleado	Límite exterior (ha)	Islas no quemadas <sup>(1)</sup> (ha)	Superficie afectada (ha)
Institut Cartographic de Catalunya				24.214
González y Castellnou (1998)				27.000
DGCN (1999)				27.273
Imagen LISS	Delimitación visual	26.371		
Imagen WiFS 98	Delimitación visual	26.716		
Quick Look (LISS)	Delimitación visual	26.040		
Imagen LISS 98	Mezclas Espectrales <sup>(2)</sup>	26.371	9.589	16.782
Imágenes WiFS 1997 y 98	Mezclas Espectrales <sup>(3)</sup>	26.371	3.810	22.561
Imágenes WiFS 1997 y 98	Diferencias NDVI <sup>(4)</sup>	26.371	4.837	21.534

<sup>(1)</sup> Dentro del límite establecido en la imagen LISS; <sup>(2)</sup> Clases 9 a 17; <sup>(3)</sup> Clases 11 a 21; <sup>(4)</sup> Ratio 97/98  $\geq 1,15$ .

**Tabla 1.** Superficies afectadas por el incendio de Cataluña central a partir de diferentes fuentes de información y distintos procedimientos de análisis. Ver la Figura 1.



**Figura 1.** (A) Valores obtenidos para el "Endmember Quemado" a partir del procedimiento de "Matched Filtering" aplicado a la imagen LISS del 21 de agosto de 1998 (un mes después del incendio). Los rangos originales se han reclasificado en 21 clases; (B) Valores obtenidos para el "Endmember Quemado" a partir del procedimiento de "Matched Filtering" aplicado a combinación de las imágenes WiFS de antes (18 de julio de 1997 y después (6 de agosto de 1998) del incendio. Los rangos originales se han reclasificado en 21 clases y (C) Ratio en el NDVI entre el año 1997 (normalizado el 98) y el año 1998 a partir de las imágenes WiFS. En las tres figuras el tamaño de pixel es de 25 metros. La rejilla negra representa las cuadrículas de 1 O x 1 O km basadas en el sistema de proyección UTM para la zona 31 (360000 E y 4660000 N en la esquina superior izquierda). El límite del incendio está basado en la delimitación visual realizada sobre la imagen LISS. Para las tres imágenes los colores rojizos representarían las superficies afectadas por el fuego que se cuantifican en la Tabla 1.

otras fuentes documentales empleadas. En cualquier caso, la superficie obtenida a partir del perímetro delimitado en la imagen LISS-III (26.371 ha) es muy similar a los datos de la DGCN (1999) y de González y Castellnou (1998) 10 que sugiere que estos datos están referidos al límite exterior del incendio y no a la superficie afectada realmente.

Los resultados obtenidos del análisis de mezclas espectrales de la imagen LISS-III están limitados a las áreas que se han quemado intensamente, o bien en las que la vegetación antes del fuego fuese densa, dado que el "EM Quemado" fue seleccionado de esta manera. Así, la estimación de superficie quemada (16.782 ha) concuerda en gran medida con los datos de superficie forestal quemada obtenidos de otras fuentes de información: 16.700 ha (González y Castellnou, 1998) y 17.979 ha (DGCN, 1999). En cuanto al análisis conjunto de las dos imágenes WiFS, y para las dos técnicas empleadas, habría que destacar que son más con-

cordantes con los datos ofrecidos por el ICC que los datos de la DGCN, y los que presentan una estimación más ajustada de la superficie afectada realmente por el fuego, en gran medida debido a la importancia de las islas no quemadas dentro del límite exterior del incendio. Estos resultados avalan el potencial de las imágenes WiFS, entre otras aplicaciones, en la evaluación de las superficies afectadas por los incendios forestales.

## BIBLIOGRAFIA

- DGCN. 1999. Los incendios forestales en 1998. Avance Informativo. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F. 1997. Utilización de imágenes AVIRIS en la cartografía del combustible en el chaparral de California. *Ecología*. 11: 31-36.
- GONZÁLEZ-ALONSO, F. 1994. Identificación rápida de superficies afectadas por grandes incendios forestales en España a partir de imágenes del satélite NOAA-AVHRR. *Montes*. 35: 24-26.

- GONZÁLEZ, J.M. y CASTELLNOU, M. 1998. Fuego en la Cataluña Central. *Montes*. 53: 17-20.
- CAETANO, M., MERTES, L.A.K. y PEREIRA, J.M.C. 1994. Using spectral mixing for fire severity mapping. Proceedings de la *2nd Int. Conj: on Forest Fire Research*. Coimbra, Nov. 1994.
- ICC. 1987. Mapa de Catalunya d'imatge satel·lit Landsat-5 TM 1:250.000. Institut Cartogràfic de Catalunya.
- DURRIEU y DESHAYES. 1994. Méthode de comparaison d'images satellitaires pour la détection des changements en milieu forestier. Application aux monts de Lacaune (Tam, France). *Ann. Sci. For.* 51: 147-161.
- ENVI, 1997. ENVI v. 3 User's Guide, Better Solutions Consulting, Lafayette, CO, USA, 614 páginas.
- MINNICH, R.A. 1983. Fire mosaics in southern California and northern Baja California. *Science*. 219: 1287-1294.
- LE HOUEROU, H.N. 1987. Vegetation wildfires in the mediterranean basin: evolution and trends. *Ecologia Mediterranea*. 13(4): 13-23.
- VÁZQUEZ, A. y MORENO, J.M. 1998. Patterns of lightning-, and people-caused fires in peninsular Spain. *Int. J. Wildland Fire*. 8(2): 103-115.