

# ANÁLISIS DE DIFERENTES MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE UNA IMAGEN DE SATÉLITE PARA CARACTERIZAR LA SUPERFICIE AFECTADA POR EL INCENDIO DEL SOLSONÈS DE 1998

G. MASIP y J. A. MARTÍNEZ CASASNOVAS (\*)

gmasip@alumnes.udl.es, j.martinez@macs.udl.es

(\*)Universitat de Lleida, Dept. Medi Ambient i Ciències del Sòl.  
Av. Rovira Roure 177. 25198 Lleida

**RESUMEN:** En el presente estudio se aplican y se evalúan diferentes técnicas de extracción de información a partir de una imagen de satélite del Landsat 7 ETM+ para caracterizar la superficie afectada por el incendio del Solsonès de 1998. Los métodos ensayados son la clasificación digital, tanto supervisada como no supervisada, y la clasificación mediante índices de vegetación; Ndvi, Ndvi5 (substitución de la banda 3 por la banda 5), Ndvi7 (substitución de la banda 3 por la banda 7) y el índice Savi. Se pretende identificar y cuantificar la superficie afectada por el incendio, estimar los diferentes grados de afección de la cubierta vegetal y evaluar la validez y fiabilidad de cada uno de los métodos ensayados. Además de la imagen de satélite, se dispone de fotografías aéreas muy detalladas y de un extenso trabajo de campo.

**ABSTRACT:** In the present study, different extraction information techniques from a remote sensing image are assessed. A Landsat 7 ETM+ image is used to characterise the area affected by the fire occurred in the Solsonès in 1998. The applied methods are supervised and unsupervised classifications, and classifications by means of vegetation indexes: NDVI, NDVI5 (band 5 instead of band 3), NDVI7 (band 7 instead of band 3), and the SAVI index. It is intended to identify and quantify the surface affected by the fire, to estimate the degree of affection of the vegetation cover and to evaluate the validity and accuracy of the applied methods. In addition to the satellite image, also very detailed aerial photographs and a very intensive field work was available for this research.

**Palabras clave:** teledetección, incendio forestal, clasificación supervisada, clasificación no supervisada, índices de vegetación

## INTRODUCCIÓN

El área de estudio comprende toda la superficie afectada por el incendio de 1998 que ocupa parte de las comarcas de l'Anoia y el Bages (Barcelona) y de la Segarra y el Solsonès (Lleida), localizándose el 70 % de la superficie afectada en esta última comarca. El paisaje vegetal está constituido por un mosaico de bosques y cultivos extensivos de secano. La formación forestal mayoritaria antes del incendio eran los bosques de *Pinus nigra* con 12.969 ha (el 82,9 % de la superficie forestal afectada), seguida de los bosques de *Pinus halepensis* (2.334 ha, el 14,9 % del total), robladales de *Quercus cerroides* (42 ha, el 0,3 %) y matorrales (305 ha, el 1,9 %).

## METODOLOGÍA

Se trabajó con una imagen del satélite Landsat 7 ETM+ (de resolución espacial de 30 x 30 m) captada el 16 de septiembre de 1998. Previamente a las operaciones de pretratamiento de la imagen se procedió a aislar la zona que cubría el área afectada y un contorno relativamente amplio de la misma, la subescena final contenía unas 113.000 ha. Para la realización de la corrección geométrica se seleccionaron 78 puntos de control. Como función de transformación se eligió un polinomio de primer grado. El error cuadrático medio del ajuste polinómico no superó los 17 metros. El remuestreo de los números digitales a su nueva posición corregida se realizó a partir del método del vecino más cercano.

Se trabajó también con fotografías aéreas (adquiridas sin objetivo de restitución fotogramétrica), capta-

das a mediados de marzo de 1999 con una cámara convencional. La escala aproximada de las fotografías era 1:3.250 y la superficie, localizada en la zona de Pinós, cubría alrededor de 3.750 ha.

Los datos de referencia, relativos a la superficie total afectada, así como, a la superficie clasificada en grados de afección, que se utilizaron para la verificación de los resultados obtenidos en las diversas aproximaciones digitales, se extrajeron del estudio *Cartografia i avaluació del risc d'erosió i degradació de sòls. Pla de la coberta vegetal. Programa I* (Casas et al., 1999). Elaborado a inicios de 1999 por un equipo de la Universidad de Lleida. En la Figura 1 puede observarse el mapa de grados de afección obtenido a partir del trabajo de campo de referencia.

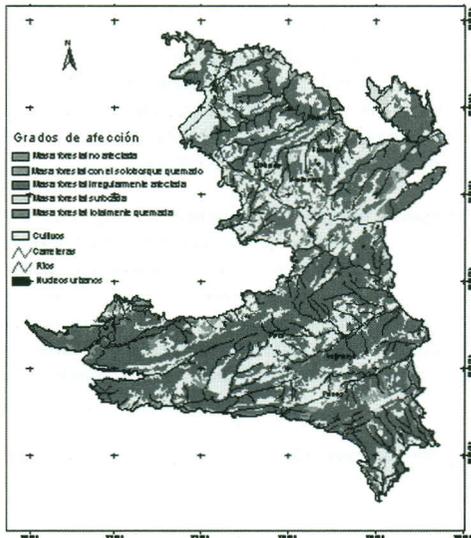


Figura 1. Mapa de grados de afección de la cubierta vegetal obtenido a partir del trabajo de campo de referencia.

Por medio de la interpretación visual, se delimitó el área afectada por el incendio de 1998, digitalizando en pantalla sobre una composición en falso color RGB 543, que resalta los tonos marrones correspondientes al área afectada y los tonos verdes de la vegetación sana. A partir de esta región delimitada se cuantificó la superficie afectada y se aplicó como máscara en las posteriores clasificaciones.

Se realizaron dos clasificaciones supervisadas. En la clasificación supervisada I, la selección de las áreas de entrenamiento se realizó a partir del mapa obtenido a partir del trabajo de campo de referencia, es decir se

digitalizaban las áreas en pantalla y directamente sobre las diferentes unidades delimitadas en el mapa. En la clasificación supervisada II, los campos de entrenamiento se definieron en base a las fotografías aéreas, por comparación y localización con la imagen de satélite. Las clases delimitadas a partir del método supervisado pueden consultarse en la Tabla 1. Para evaluar la viabilidad de las áreas de entrenamiento muestreadas para representar las diferentes categorías, se utilizó un método numérico, la divergencia transformada, y uno de gráfico, el diagrama de las firmas espectrales.

Clases de la clasificación I	Clases de la clasificación II
Masa forestal no afectada	Masa forestal densa no afectada Masa forestal poco densa no afectada
Masa forestal con el sotobosque quemado	Masa forestal densa irregularmente afectada
Masa forestal irregularmente afectada	Masa forestal poco densa irregularmente afectada
Masa forestal sufcocada	Masa forestal densa totalmente quemada
Masa forestal totalmente quemada	Masa forestal poco densa totalmente quemada Suelo desnudo forestal quemado
Cultivos-suelo desnudo agrícola	Suelo desnudo agrícola
	Cultivos
Nubes	Nubes
Sombras	Sombras

Tabla 1. Clases discriminadas a partir del método supervisado

Una vez comprobada la calidad de las áreas, se procedió a la fase de asignación, la cual se realizó a partir del clasificador de máxima verosimilitud. Finalmente se obtuvieron los mapa del grado de afección de la cubierta vegetal. Posteriormente se procedió a la agrupación de las clases iniciales para formar una leyenda final común a las dos clasificaciones para, poder de esta manera, contrastar los resultados y superponer los mapas finales. Las clases finales se pueden consultar en la Tabla 2. El mapa final obtenido a partir de la clasificación supervisada II puede observarse en la Figura 2.

### Leyenda final

Masa forestal no afectada  
Masa forestal irregularmente afectada  
Masa forestal totalmente quemada  
Cultivos – Suelo desnudo agrícola  
Nubes  
Sombras

Tabla 2. Leyenda final del método supervisado

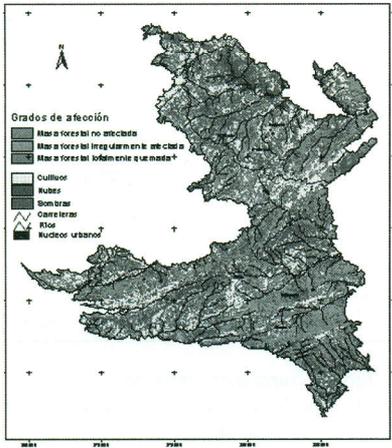


Figura 2. Mapa de grados de afectación obtenido a partir de la clasificación supervisada II, leyenda final

Se realizó también una clasificación a partir del método no supervisado. Se ensayaron diversas aproximaciones: 6, 11, 15, 20, 25, 30 y 35 clusters. La clasificación no supervisada se realizó a partir del módulo *Isoclust* del programa Idrisi 32 (Eastman, 1999). El algoritmo utilizado para asignar los píxeles a las diferentes agrupaciones espectrales fue el de máxima verosimilitud.

Finalmente se realizaron clasificaciones de la cubierta vegetal en función del grado de afectación que presentaba a partir de índices de vegetación. Se ensayó con el índice *Ndvi* (*normalized difference vegetation index*), con dos versiones del mismo utilizadas anteriormente en algunos estudios de cartografía de incendios; la versión *Ndvi 5* (construida a partir de la sustitución de la banda 3 por la banda 5) (Chuvieco, 1999) y la versión *Ndvi 7* (construida también a partir de la sustitución de la banda 3 por la banda 7) (López y Caselles, 1991; Koutsias y Karteris, 1998). Por último se ensayó también con el índice *Savi* (*soil adjusted vegetation index*). La fórmula de este último índice se construye también a

partir del índice de vegetación de diferencia normalizada al cual se le añade un parámetro relacionado con la reflectividad del suelo. El valor de este parámetro adoptado en el presente estudio fue de 0,5 (Huete, 1998). Las clases discriminadas a partir de los índices de vegetación se pueden consultar en la tabla 3. Para realizar estas clasificaciones se aislaron de la imagen la zona cubierta por nubes y sombras, ya que los cocientes entre bandas tienden a minimizar el efecto de estas categorías (Chuvieco, 1996) y por lo tanto, surgían problemas de solapamiento con el resto de las clases informacionales.

### Clases discriminadas

Masa forestal no afectada  
Masa forestal irregularmente afectada  
Masa forestal totalmente quemada  
Suelo desnudo agrícola  
Cultivos

Tabla 3. Clases discriminadas a partir de los índices de vegetación

### Evaluación de las clasificaciones

La estimación de la exactitud de los dos mapas obtenidos a partir de la clasificación supervisada I se realizó por confrontación con la cartografía derivada del trabajo de campo de referencia. La forma de evaluarlo fue mediante un conjunto de píxeles de control (363) distribuidos estratificadamente a lo largo de la zona afectada por el incendio.

Los mapas obtenidos basándose en la leyenda diseñada a partir de las fotografías aéreas, clasificación supervisada II, se evaluaron también a partir de píxeles de control. Se trataba de dos grupos de píxeles de control bien diferenciados; un primer grupo de píxeles de control dirigidos, es decir, se establecieron sobre la superficie representada fotográficamente y sobre aquellas áreas no utilizadas en la fase de entrenamiento. La interpretación se realizó manual e individualmente por interpretación visual de las fotografías aéreas.

El segundo grupo de píxeles de control se distribuyó sistemáticamente a lo largo de todo el área afectada por el incendio. La identificación también se realizó manual e individualmente por comparación de la respuesta espectral presentada por los píxeles seleccionados con áreas fotografiadas de similar respuesta. Entre los dos grupos sumaban un total de 307 píxeles de control.

Las clasificaciones obtenidas a partir del método no supervisado y a partir de los índices de vegetación se evaluaron a partir de los mismos píxeles de control identificados en la clasificación supervisada II.

Todas las clasificaciones se evaluaron también a partir de tabulaciones cruzadas. La comparación de los resultados tanto por lo que respecta a la evaluación de los píxeles de control como a las tabulaciones cruzadas se realizó a partir de matrices de error.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con relación a la delimitación del contorno de la superficie afectada por el incendio de 1998, el resultado obtenido no difiere mucho de los resultados dados por otras fuentes, Tabla 4. Hecho que demuestra la viabilidad en la utilización de imágenes satélite para discriminar y delimitar superficies afectadas por incendios.

Procedencia de los datos	Superficie afectada (ha)
Castells y Riera (1999)	26.863
DGCN (1999)	27.273
González y Castellnou (1998)	27.000
La Terra (1998)	26.793
Casas <i>et al.</i> (1999)	26.596
Presente estudio (2000)	26.360

**Tabla 4.** Superficies afectadas por el incendio según las diversas fuentes consultadas

Por lo que respecta a la valoración de la clasificación supervisada I, los índices derivados de la matriz de confusión alcanzaron escaso valor. La fiabilidad global fue de 0,3 y el índice de Kappa de 0,16 para la leyenda inicial. Una vez agrupadas las clases, el valor de los índices aumentó escasamente: la fiabilidad global pasó a ser de 0,2 y el índice de Kappa de 0,43.

Los resultados mejoraron para la clasificación supervisada II. En el mapa inicial se alcanzaron un valor de fiabilidad global de 0,69 y un índice de Kappa de 0,65. Al realizar la agrupación de las clases iniciales los valores que se obtuvieron fueron de 0,7 para el índice de Kappa y 0,76 de fiabilidad global.

En relación a las superficies obtenidas según el método supervisada y para cada una de las clases, se pueden consultar en la Tabla 5.

Clases discriminadas	Trabajo de campo	Clasificación supervisada I	Clasificación supervisada II
Masa forestal no afectada	223,37	713,25	1403,36
Masa forestal irregularmente quemada	5.973,68	5.972,69	7.647,34
Masa forestal totalmente quemada	12.010,87	9.698,44	11.231,67
Cultivos			198,75
Suelo desnudo agrícola	7401,62	9224,25	4.925,75
Nubes		698,06	615,24
Sombras		337,8	337,8
Superficie correspondiente a nubes y sombras	987,51		
<b>Total</b>	<b>26.596,12</b>	<b>26.596,12</b>	<b>26.359,93</b>

**Tabla 5.** Superficies obtenidas a partir del método supervisado y para cada una de las clases discriminadas.

En cuanto a la clasificación no supervisada, finalmente se optó por un número de *clusters* de 15, ya que a partir de este valor las agrupaciones presentaban áreas inferiores a la unidad y agrupaciones inferiores a 15, daban lugar a clases excesivamente amplias y difícilmente interpretables. Se discriminaron 4 clases (Tabla 6). La fiabilidad global obtenida fue de 0,67 y el índice de Kappa de 0,57.

Clases discriminadas	Superficie (ha)
Masa forestal no afectada	1.454,85
Masa forestal irregularmente afectada	5.000,25
Masa forestal totalmente quemada	11.270,74
Suelo desnudo agrícola	7.681,00

**Tabla 6.** Clases discriminadas a partir de la clasificación no supervisada

Los índices que han dado mejores resultados en cuanto a la discriminación en grados de afección de la cubierta vegetal fueron el índice Ndvi y el índice Savi, con una fiabilidad global de 0,69 en los dos casos y un índice de Kappa de 0,58 y 0,57 respectivamente. Las

dos versiones del índice Ndvi ensayadas dieron escasos resultados.

Hay que tener en cuenta que la mitad de los píxeles de control utilizados, tanto para la valoración de la clasificación supervisada II, como para el método no supervisado y las clasificaciones a partir de los índices de vegetación, están concentrados en una región relativamente pequeña en comparación con la superficie total del incendio, por lo que probablemente los resultados están sesgados. Por esta razón se realizaron tabulaciones cruzadas, ya que la evaluación en este caso se efectúa para cada uno de los píxeles que componen la imagen y además se analiza también la coincidencia espacial de las diferentes unidades de superficie correspondientes a cada clase y respecto a las unidades delimitadas a partir del trabajo de campo de referencia. En la Tabla 7 se pueden consultar los resultados obtenidos en las dos tabulaciones cruzadas realizadas, una en base al trabajo de campo de referencia y otra en función del mapa final obtenido a partir de la clasificación supervisada II. Los valores dados se refieren al índice de Kappa.

	Trabajo de campo	Clasificación supervisada II
C. Supervisada I	0,67	0,59
C. supervisada II	0,63	
C. no supervisada	0,63	0,79
Ndvi	0,64	0,81
Ndvi 5	0,59	0,62
Ndvi 7	0,58	0,63
Savi	0,64	0,81

**Tabla 7.** Resultados de las tabulaciones cruzadas en índices de Kappa

## CONCLUSIONES

Respecto a la delimitación del perímetro del incendio, el resultado obtenido mediante interpretación visual, está dentro del rango de valores dados por las diferentes fuentes de información consultadas. Hecho que pone de relieve la utilidad de este método para cuantificar de manera rápida y bastante aproximada las hectáreas totales afectadas por incendios.

En general y para todas las aproximaciones ensayadas, las clases que se discriminan mejor son la clase masa forestal no afectada y la clase masa forestal totalmente quemada, siendo la clase intermedia; masa forestal irregularmente quemada la que da lugar a más confusiones. En todos los casos, se debería identificar la contribución de los diferentes elementos que intervienen en la repuesta espectral de una determinada clase para evitar confusiones.

El método supervisado ha resultado ser el más adecuado para discriminar entre las diferentes regiones de una zona incendiada según la intensidad de daños producidos por el fuego.

Los *clusters* generados a partir de la clasificación no supervisada contienen frecuentemente diversas clases informacionales, siendo muy complicada su atribución a una clase temática específica. El conocimiento del área de estudio ha permitido la asignación de estos *clusters* a las diferentes categorías presentes en el terreno. Los resultados obtenidos con este método fueron aceptables.

Los índices Ndvi y Savi han mostrado una notable sensibilidad en la discriminación de grados de afectación de la cubierta vegetal, siendo la segmentación de la banda en intervalos representativos de cada una de las categorías, el principal inconveniente que presenta este método. Por el contrario, las clasificaciones obtenidas a partir de las dos versiones del índice Ndvi ensayadas han dado escasos resultados.

La escala de trabajo, el desfase temporal existente entre el tiempo de la toma de datos de referencia (trabajo de campo y fotografías aéreas) y la fecha de la imagen de satélite y el desplazamiento espacial existente entre las diferentes coberturas digitalizadas a partir del trabajo de campo y las obtenidas basándose en el análisis digital, han resultado ser las causas principales por lo que respecta a las diferencias correspondientes tanto a las superficies de cada clase como a su localización espacial.

## BIBLIOGRAFÍA

- CASAS, M.; DOMINGO, F.; MARTÍNEZ, E. R., MORA, F.; OLARIETA, J. R.; ROCA, J.; RODRÍGUEZ, R. i USÓN, A. 1999. *Cartografia i avaluació del risc d'erosió i degradació de sòls*. Pla de restauració de la coberta vegetal, Programa I: Anàlisi del risc de degradació del medi. Consell Comarcal del Solsonès i Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, Solsona. 48 pp +5 mapas.
- CASTELL, C. i RIERA, J. 2000. Estudi de la regeneració natural de les àrees afectades per l'incendi de l'estiu de 1998 a la Catalunya Central. Estudis previs per a l'elaboració de projectes a les àrees cremades per l'incendi forestal de 1998. Agència Local de Desenvolupament Forestal, Diputació de Barcelona, 11-20.
- CHUVIECO, E. 1999. Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin. Ed. Springer. Berlin. 212 pàg.
- CREAF. 2000. Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal IV. Barcelona. 108 pàg.

- DGCN. 1999. Los incendios forestales de 1998. Avances Informativo, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- EASTMAN, R. J. 1999. Guide to GIS an image processing. Volume 2. Ed. Clark Labs. Worcester, M.A. 170 pp.
- GONZÁLEZ, J. M. i CASTELLNOU, M. 1998. El fuego en la Cataluña central. *Montes* 53: 17-20.
- HUETE, A. R. 1998. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment* (25):295-309.
- KOUTSIAS, N. i KARTERIS, M. (1998). Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat- 5 Thematic Mapper image. *International journal of remote sensing*, 19: 3499-3514.
- LA TERRA. 1998. Torna el foc. Editorial. 232: 1-3.
- LÓPEZ, G. i CASELLES, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data. *Geocarto internacional*, 6: 31-37.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. 1999. *Noticias del Mediterraneo*. 16: 3-4.