EMPLEO DE IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE SEVERIDAD CAUSADOS POR EL FUEGO

R. Díaz-Delgado(*) y X. Pons(**)(*).

rdiaz@creaf.uab.es

(*) CREAF. Facultat de Ciències-Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra, 08193. Barcelona. Spain

(**) Departament de Geografia. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra, 08193. Barcelona. Spain

RESUMEN

En este trabajo se presenta una primera aproximación metodológica para evaluar la aplicabilidad de las imágenes de teledetección en la caracterización de la severidad del incendio de Bigues i Riells (Barcelona) del año 1994. Imágenes del sensor TM (*Thematic Mapper*) del satélite Landsat 5 fueron empleadas a través de un análisis de mezclas espectrales para correlacionar las superficies afectadas por los diferentes grados de severidad del incendio, con un mapa de severidad realizado sobre el terreno después del paso del fuego. Las categorías asignadas *in situ* pretenden describir la variabilidad observada, si bien en el análisis espectral sólo fueron incorporadas como componentes puros las signaturas espectrales más conspicuas como son sombra, carbón, vegetación y suelo desnudo. Los resultados muestran la diversidad de severidades presente en el incendio en función de las especies afectadas, así como las áreas afectadas por cada nivel de daño.

ABSTRACT

In this paper we present a first approach to evaluate the applicability of remote sensing imagery to characterise the severity of a fire occurred in Bigues i Riells (Barcelona) in 1994. Images from Landsat TM were employed by means of an spectral mixture analysis to correlate the areas affected by different degrees of severity with a severity map carried out on terrain immediately after fire. Several categories of damage assigned *in situ* attempt to describe the observed variability, even though the spectral mixture analysis was applied just using the spectral signatures more conspicuous as shadow, char, vegetation and soil. Results show the diversity of damages in the fire as a function of the different affected species as well as the total surface burned by each category of damage.

Palabras clave: Severidad, incendios forestales, componentes puros, análisis de mezclas espectrales.

INTRODUCCIÓN

La severidad de un incendio es un término descriptivo que integra los cambios físicos, químicos y biológicos ocurridos en un lugar como consecuencia del fuego (White *et al.* 1996). Las diferencias observadas en severidad están íntimamente relacionadas con el impacto causado por la cantidad de calor desprendida. La cartografía de la severidad resulta de interés por dos motivos: 1) como cartografía de base para la gestión post-incendio (repoblaciones, extracciones madereras, seguimiento de la regeneración, protección del suelo contra la erosión, etc.); 2) como valiosa información para los modelos probabilísticos de simulación de fuegos en base a las relaciones existentes entre severidad y parámetros ambientales (Kushla y Ripple 1997).

El fuego en la región mediterránea tiene diversos efectos sobre la vegetación como consecuencia de la gran complejidad que presentan las comunidades vegetales y de la interferencia ejercida por el pastoreo, el aclareo y las actividades de quema, aunque también debido a las diferentes respuestas de la vegetación al tipo de intensidad de cada fuego, la estación del año en la que tuvo lugar y la frecuencia de quema (Le Houerou, 1973). Las diferentes intensidades del incendio son debidas a la carga y características del combustible presente (humedad, componentes volátiles e inflamables, etc.), las condiciones meteorológicas en las que se desarrolla el incendio (con importante influencia de la velocidad del viento), y la variabilidad topográfica de la zona afectada (Whelan 1995). Así, en la mayoría de incendios forestales, los efectos del fuego se revelan en un mosaico de niveles de daño causados a la vegetación y al suelo en función de la virulencia con la que las llamas transcurrieron por cada zona. Además, cuanto mayor es la superficie afectada, mayores las diferencias en los patrones de severidad (Caetano *et al.* 1994).

Los incendios consumen la cubierta vegetal, carbonizan el terreno, y alteran el color del suelo (White *et al.* 1996). Estos cambios físicos resultan obvios pudiendo ser detectados mediante los sensores embarcados en las plataformas de teledetección. No obstante, las diferentes cubiertas representantes de cada severidad no están exentas de confusión a la hora de ser interpretados.

El objetivo de este trabajo es realizar una clasificación de la severidad del incendio de Bigues i Riells ocurrido el 4 de Julio de 1994 empleando varias imágenes del sensor TM del satélite Landsat 5 captadas antes y después del incendio. Asimismo, se persigue evaluar la correlación entre un mapa de categorías de daño efectuado sobre el terreno después del incendio y el resultado de la clasificación. Por último, se pretende seguir la recuperación vegetal post-incendio para cada categoría de severidad.

Área de estudio

El fuego analizado afectó los municipios de Sant Quirze Safaja, Bigues i Riells, Montmany-Figaró y Sant Feliu de Codines principalmente, dentro de la comarca del Vallès Oriental (Barcelona). El perímetro del incendio fue obtenido de la base documental de incendios de Cataluña para el periodo 1975-1995 (ver Salvador *et al.* 1998). Un total de 2692 ha de diferentes cubiertas vegetales ardieron desde el 3 al 4 de Julio de 1994 (ver figura 1a) **(C6-4-1)**. La altitud de la zona quemada varía entre 190 y 960 m, las pendientes entre 3 y 55 grados, con el 90 % del territorio con pendientes entre 3 y 30 grados. La radiación solar media anual recibida varía entre 44 y 110 $kJ*m^{-2}*dia^{-1}$, con un 90% de superficie que recibe entre 80 y 110 $kJ*m^{-2}*dia^{-1}$(Pons 1998; Ninyerola 1998).

Las comunidades vegetales quemadas fueron, de mayor superficie afectada a menor: pinares de *P. halepensis* (36%), matorral (30%), encinar (18%), pinares de *P. sylvestris* (4%) y pinares de *P. nigra* y *P. pinea* sumando entre ambas un 1% (DARP, 1996) (ver figura 1b) **(C6-4-2)**.

METODOLOGÍA

El mapa de categorías de severidad se realizó entre los meses de enero y marzo de 1995. Las categorías empleadas se basan en criterios de interpretación en base a la observación sobre el terreno y en función del modelo de intensidad de fuego desarrollado por Moreno y Oechel (1989). Dichas categorías pretenden recoger toda la variabilidad de daño observada. Se distinguieron pues, las siguientes clases (ver figura 1c) **(C6-4-3)**:

0. zona no quemada
1. fuego de sotobosque
2. parte de la copa verde
3. árboles quemados que conservan las hojas quemadas
4. árboles quemados con ramas finas en todo el tronco
5. árboles quemados con ramas finas sólo en la parte superior
6. árboles quemados sin ramas finas
7. árboles quemados de los que sólo queda el tronco

además de considerar la especie dominante de la zona.

Se adquirieron 5 imágenes del satélite Landsat TM (resolución espacial 30 x 30 m) que cubrían el periodo 1994-1997. Las fechas da las imágenes son las siguientes:

1) 05/05/1994 (anterior al incendio)
2) 17/07/1994 (13 días después del fuego)
3) 24/05/1995
4) 03/05/1996
5) 11/04/1997

Se aplicaron los modelos de corrección geométrica y radiométrica a las escenas completas basados en Pons y Solé (1994) y Palà y Pons (1995) respectivamente. El RMS del ajuste polinómico empleado en la georeferenciación no superó en ningún caso el píxel. Se optó por mantener dos resoluciones espaciales: un píxel de 20 m y otro de 30 m, con objeto de no perder información en el proceso de remuestreo por el vecino más cercano y contrastar los resultados obtenidos con ambos tamaños de celda.

Se empleó un análisis de mezclas espectrales (AME) para determinar las clases espectrales reconocidas en la imagen posterior al incendio (17/07/94). Tales clases se corresponden con los elementos puros dentro de la imagen que son carbón, vegetación, sombra y suelo (siempre en número menor que el de bandas disponibles). El AME asume que la mayor parte de la variabilidad espectral de la imagen se debe a la mezcla de pequeños componentes de diferentes signaturas espectrales (Adams *et al.* 1986). Así el espectro de un píxel determinado puede expresarse como:

$$Lb = \sum_{i=1}^{N} fiP_{i,b} + Eb$$

donde L_b es la radiancia del píxel en la banda b; $P_{i,b}$ la radiancia del elemento puro i en la banda b; f_i es la fracción del miembro puro i; E_b es el término que recoge el error en la banda b del ajuste de los N miembros puros (diferencia entre la imagen de radiancias y la estimada por el modelo). El modelo parte de la premisa de que la suma de fraciones de cada miembro puro siempre es igual a 1.

El modelo fue probado con diversos miembros puros y de forma iterada se minimizó el error. A parte de las imágenes fracción de cada miembro puro y la imagen de error asociada que se generan como resultado, algunos píxeles pueden ser asignados en el modelo con valores mayores que 1 o

menores que 0, lo que indica el grado de ajuste del modelo y permite redefinir los miembros puros.

Los patrones espaciales de las imágenes fracción resultantes fueron correlacionadas con el mapa de severidad realizado sobre el terreno con objeto de establecer las relaciones entre porcentajes de componente puro y el nivel de daño de cada categoría de severidad. Por último, se efectuó un seguimiento de la regeneración vegetal de cada categoría de severidad a través de la variabilidad temporal del NDVI (Indice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Para ello se emplearon las medias de los valores de NDVI del área asignada a cada clase.

RESULTADOS

El incendio de Bigues i Riells de Julio del 94 fue intenso y se desarrolló bajo condiciones meteorológicas difíciles para su extinción. Los efectos producidos sobre la vegetación y el suelo fueron diversos. La categoría de severidad mayoritaria fue la 4 (árboles quemados con ramas en todo el tronco), lo que demuestra que casi la totalidad del arbolado existente fue consumido en un vasto incendio de copa (ver tabla 1).

Severidad	Superficie (ha)	% relativo
Cat. 1	214,31	8,26
Cat. 2	3,15	0,12
Cat. 3	358,60	13,81
Cat.. 4	**1491,87**	**57,40**
Cat. 5	472,11	18,19
Cat. 6	55,75	2,15
Cat. 7	5,04	0,20

Tabla 1. Superficies afectadas por cada nivel de daño y porcentajes relativos

Sp/Cat.	1	2	3	4	5	6	7
Q.i	1,54	0,59	0,54	8,98	5,50	0,45	0,06
P.a	0,77	0,27	0,92	0,17	1,38	0,02	0,00
P.h	2,24	1,06	7,51	19,6	4,22	1,48	0,00
P.n	0,06	0,00	0,00	0,71	0,08	0,00	0,00
P.p	0,14	0,00	0,11	0,24	0,00	0,00	0,00
P.s	0,04	0,59	1,29	1,37	0,57	0,00	0,00
Mat	1,69	0,98	2,32	18,9	5,01	0,11	0,14
Cult	1,46	0,10	0,50	3,58	0,70	0,05	0,00
Urb	0,01	0,00	0,13	1,59	0,00	0,00	0,00
Z.urb	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00

Tabla 2: Porcentajes relativos de categorías de daño por especie (Qi, Quercus ilex, Pa, Picea abies, Ph, Pinus halepensis, Pn, P.nigra, Pp. P.pinea, Ps, P.sylvestris, Mat, matorral, Cult, cultivos, Urb, urbanizaciones, Z.urb, zonas urbanizadas).

Tal nivel de daño afectó indistintamente a formaciones arbóreas como arbustivas y subarbustivas (tabla 2). Sin embargo, categorías de daño muy severas como la 7 y 8 no resultaron frecuentes en el área de estudio para ninguna de las especies y/o comunidades presentes en ella.

Con respecto a las imágenes fracción resultantes del análisis de mezclas espectrales se obtuvieron porcentajes relativos de componentes puros que fueron correlacionados con cada de una de las categorías. La mejor correlación se encontró entre el miembro puro “vegetación” y las categorías 0 y 2.

DISCUSIÓN

El empleo de las imágenes de satélite para evaluar los efectos de los incendios forestales sobre las cubiertas vegetales permite varias aproximaciones. La más inmediata resulta ser la cartografía y referenciación del fuego sobre el terreno, lo que habilita al gestor para evaluar los tipos y superficies de las cubiertas afectadas. No obstante, como hemos visto las imágenes espectrales pueden servir para caracterizar los patrones de severidad del fuego y de esta forma contribuir al conocimiento del desarrollo de un incendio forestal. El fuego de Bigues i Riells, de intensidad media-alta, refleja en buena medida la variabilidad de los efectos de tal perturbación y su relación con la intensidad de quema sufrida.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, J.B., Smith, O. y Johnson, P.E.. 1986. Spectral mixture modelling. A new analysis of rock and soil at the Vicking Lander I site. *Journal of Geophysical Research* 91:8098-8812.

Caetano, M.-S., Mertes, L.A.K. y Pereira, J.M.C. 1994. Using spectral mixture analysis for fire severity mapping. *Proceedings of the 2nd Conference on Forest fire research*, vol II, C16, pp. 667-677. Coimbra.

DARP(Departament d’Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya). 1996. *Mapa Forestal de Catalunya*. Escala 1:100000, Barcelona.

Kushla, J. D. y Ripple, W. J. 1997. The role of terrain in a fire mosaic temperate coniferous forest. *Forest Ecology and Management* 95, 97-107.

Le Houerou, H. N. 1973. Fire and vegetation in Mediterranean basin. *Proceedings of 13th Annual Tall Timber Fire Ecology Conference* 13: 237-277.

Moreno, J. M y Oechel, W. C. 1989. A simple method for estimating fire intensity after a burn in California chaparral. *Acta Oecologica-Oecologia Plantarum*. Vol. 10, nº 1, p. 57-68.

Ninyerola, M. 1997. *Modelització climatològica de la radiació solar, la temperatura i la precipitació a*

través d'un sistema d'informació geogràfica. Master de licenciatura de la UAB. Barcelona.
Pons, X. 1996. Estimación de la radiación solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica. *VII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Modelos y Sistemas de Información en Geografía*, p. 87-97. Vitoria.
Pons, X. y Solé-Sugrañes. L. 1994. A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 48. 191-204.
Palà, V. y Pons, X. 1995. Incorporation of relief into geometric correction based on polynomials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 7: 935-944.
Salvador, R., Díaz-Delgado, R., Valeriano, J. y Pons, X. 1998. Remote sensing of forest fires. Proceedings del congreso GisPlanet. Edición digital en CD.
Whelan, R. J. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press.
White, J. D., Ryan, K. C., Key, C. Y Running, S. W. 1996. Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery. *International Journal of Wildland Fire* 6(3):125-136.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dr. Megan Lewis (Univ. de Adelaida) su contribución al estudio; al DMA y DARP, Generalitat de Catalunya por la información auxiliar aportada. Este proyecto ha sido financiado por la CICYT AMB94-0881, y el proyecto LUCIFER EC y una beca del Ministerio de Educación y Cultura a Ricardo Díaz-Delgado.