

CARTOGRAFÍA AUTOMÁTICA DE GRANDES INCENDIOS FORESTALES CON IMÁGENES LANDSAT

E. QUINTANO, J.A. DELGADO, A. FERNÁNDEZ Y P. ILLERA

e- mail: ester @ hp9000.cpd.uva.es

*Universidad de Valladolid, Departamento de Física Aplicada I. Laboratorio de Teledetección (LATUV).
E.T.S. Ingenierías Agrarias. Avda. de Madrid 57, 34071 Palencia.*

RESUMEN

El uso de la teledetección permite la estimación y la cartografía de las áreas afectadas por el fuego, en los incendios forestales. La simple diferencia de los valores de NDVI anteriores y posteriores al incendio, posibilita la delimitación de estas áreas. Sin embargo, el principal problema con el que tropieza esta técnica y otras propuestas, es la inclusión de una celda en la categoría de quemada. Varios autores recurren para la determinación del umbral de cambios a las técnicas de inspección visual, obteniendo, así, un valor dependiente del área y de la fecha de estudio. En este trabajo se aplican sobre tres imágenes Landsat- TM, dos técnicas que permiten la asignación del umbral de cambio de forma estadísticamente objetiva no dependiente ni del lugar ni del tiempo de ocurrencia del incendio. Estas técnicas ,desarrolladas con anterioridad por el Departamento sobre imágenes NOAA- AVHRR, consisten en la aplicación del método de las diferencias y el método de regresión sobre los valores del NDVI anteriores y posteriores al paso del fuego.

ABSTRACT

After the extinction, satellite data have been used in the calculation, monitoring and mapping of burned areas. The difference in NDVI values before and after a fire allow to achieve this purpose. The problem lies in calculating the exact extent of the fire because the pixels at the edge tend to be confused with nearby vegetation canopy that remains undamaged. Various authors have established numerical thresholds by means of visual inspection of the images. However that's threshold values depend on the study area as well as on the time of the image acquisition. In this paper we apply to Landsat-TM data two statistical techniques which allow us to determinate the thresholds automatically and that could be independent of the geographical location and the time at which the fire occurs. The said techniques have been developed and tested in our department using NOAA-AVHRR images. The difference and the regression of the NDVI values before and after a fire are used as indicators for detecting change.

Palabras clave: teledetección, incendios forestales, superficies quemadas, Landsat, NDVI.

INTRODUCCIÓN

Cada año se producen en el área mediterránea 50.000 incendios que afectan a cerca de un millón de ha. Sólo en el año 1994, en España ardieron 184.193 ha., de las que el 50 por ciento fue en incendios superiores a las 10.000 ha. El esfuerzo demostrado por los Servicios Oficiales en las labores de prevención, detección y extinción ha sido notable incorporando las más variadas y sofisticadas técnicas. Sin embargo, la elaboración de la estadística de incendios aún presenta algunas importantes lagunas, a pesar de que España fue el primer país que inició su construcción en 1968.

La estimación del área afectada por los grandes incendios forestales , ha mejorado con la incorporación de la técnica GPS, aunque se excluye del

cómputo total las área interiores no quemadas y se necesita de un vuelo para cada uno de los incendios ocurridos.

La utilización de la teledetección permite salvar estos dos inconvenientes como ponen de manifiesto varios autores, utilizando tanto imágenes recogidas por el sensor AVHRR del NOAA (Malingreau et al., 1985; Cahoon et al., 1992; Kennedy et al., 1994), como para el sensor TM del Landsat.(Kinnaird, A., 1986)

Varias técnicas de detección de cambios han sido abordadas en la cartografía de áreas quemadas, algunas de ellas parten de bandas aisladas donde el contraste de la vegetación quemada con el resto de las cubiertas es más patente. (Bruzzone and Serpico,

1997). Los métodos de clasificación de imágenes, tanto supervisada como no supervisada, han sido, asimismo, utilizados a través de la variación en el número de celdas que experimentan cada una de las clases tras el fuego. Para el estudio de los incendios forestales, las bandas en las que normalmente se ha basado su delimitación, han sido: TM3, TM4, TM5 (Setzer et al., 1994; Pereira et al., 1995). Otros autores han preferido la utilización del diagrama KT (Patterson and Yool, 1998) o del análisis de componentes principales (PCA) gracias a su habilidad para destacar las áreas quemadas (Siljeström et al., 1995). Sin embargo, Siljeström no obtuvo los resultados esperados, consiguiendo mayor precisión con la diferencia o el ratio entre la fecha anterior y posterior al incendio. El método de la diferencia entre valores de NDVI anterior y posterior al incendio ha ofrecido resultados satisfactorios como lo demuestran varios trabajos basados tanto en la información recogida por el NOAA (Kasischke et al., 1993) como por el Landsat (Viedma and Chuvieco, 1997).

El principal problema que se encuentran las distintas técnicas aplicadas en la cartografía de áreas quemadas es la determinación del umbral de cambios. La inclusión o exclusión de una celda en la categoría de quemada suele realizarse recurriendo a la información recogida bien en parcelas sobre el terreno en la clasificación supervisada o bien, en las propias imágenes tras un proceso iterativo en el que se elige como adecuado el umbral con un menor nivel de ruido.

En el presente trabajo, utilizando dos algoritmos de detección de cambios, el primero basado en el método de diferencia de valores de NDVI antes comentado y el segundo de ellos, en la técnica de regresión que permite construir un NDVI teórico. La inclusión de una celda en la categoría de quemada se realiza siguiendo criterios estadísticos, por lo que el umbral de cambios es independiente del resto de componentes de la imagen. Esta técnicas fueron propuestas para el sensor AVHRR del NOAA, obteniéndose buenos resultados. (Fernández, 1997).

MATERIAL

Para la realización de este trabajo, se hizo uso de varias imágenes recogidas por el sensor TM del Landsat durante el verano de 1994. El área cubierta por el estudio abarca el sur de la provincia de Castellón y la zona norte y centro de la de Valencia. La elección de esta zona se debe, por una parte, a la magnitud de los incendios ocurridos en ella que superaban ampliamente las 500 ha. y, por otra parte, a que permitía la comparación con trabajos anteriores iniciados en el mismo departamento. Los eventos en los que se centró el estudio estuvieron situados en los

siguientes términos: (1)Alcublas (10- agosto), (2) Altura (10- agosto), (3) Loriguilla- Calles (2 y 22- julio), (4 y 5) Requena (5 y 31- julio), (6) Millares (4- julio).

Al necesitarse de una imagen anterior y otra posterior al incendio para la delimitación del mismo, se hizo uso de las imágenes recogidas en las fechas siguientes: 28- mayo, 29- junio, 16- agosto. La información espectral finalmente empleada, fue la existente en las bandas TM3, TM4, TM7. Las dos primeras bandas permitieron el cálculo del NDVI. La banda TM7 hizo posible la adecuación radiométrica de cada una de las imágenes.

Al tratarse de un estudio multitemporal fue imprescindible abordar una fase de corrección que permitiese, por un lado, mejorar la calidad radiométrica de las imágenes y, por otro, la superposición de las mismas. Para el primer punto, se utilizó el método de corrección del "Histograma por sus valores mínimos" (Chávez, 1988). Para la consecución del segundo objetivo, se equiparó, en primer lugar, el ángulo de inclinación solar por el método del coseno y, en segundo, se corrigió geométricamente cada unas de las tres imágenes a través de la elección de 77 puntos de control. En ambos casos, la imagen utilizada de referencia fue la del 29- junio.

METODOLOGÍA

Los dos métodos propuestos para la delimitación del área afectada por el fuego parten del acusado decremento que experimenta la actividad vegetativa tras el incendio, descenso reflejado en los valores de NDVI próximos a cero. El cálculo del NDVI es, por tanto, el punto de partida para la estimación de la superficie quemada. Una vez concluida esta fase, se aplicaron los dos algoritmos de detección de cambios (Fernández et al., 1997) sobre cada par de imágenes.

Método de las diferencias

Se apoya en la obtención de la imagen que resulta de la diferencia entre los NDVI anteriores y posteriores al incendio. De esta forma los píxeles que se correspondan con zonas quemadas serán aquellos donde la caída del NDVI haya sido mayor de una fecha a otra y presenten valores más altos en la imagen resultante de la diferencia. (Figura 1) .Los pasos para delimitar las áreas afectadas fueron:

1/ Cálculo de la media (μ_{A-P}) y la desviación típica (σ_{A-P}) de la imagen resultante de la diferencia de los valores de NDVI anteriores y posteriores al incendio.

2/ Determinación del umbral de detección de cambios a través del algoritmo:

$$NDVI_A - NDVI_P > \mu_{A-P} + 2 \sigma_{A-P}$$

Método de regresión

Este método considera que un píxel se ha visto afectado por el fuego si su valor de NDVI es muy inferior al teórico existente para esa fecha, obtenido mediante regresión. Los pasos seguidos fueron:

1/ Cálculo de la ecuación de regresión a partir de los valores de NDVI anterior y posterior al incendio.

2/ Obtención de los valores de NDVI previsiblemente existentes de no haberse producido ningún incendio.

3/ Estimación de los píxeles afectados por el fuego, a través de la relación:

$$NDVI_{Posterior} < NDVI_{Posterior\ regresión} - 2S$$

siendo S el error de la regresión. (Figura 2).

RESULTADOS

El ICONA calcula la superficie recorrida por un incendio considerando como límite el borde exterior del mismo, sin tener en cuenta las áreas interiores que hallan podido quedar intactas. A través de la información recogida por el sensor TM del Landsat es posible delimitar estas zonas y excluirlas del cómputo total. Por este motivo, se han distinguido estas dos situaciones en la estimación final del área afectada por el incendio.

Cuando se estimó el área afectada a partir del perímetro exterior del incendio, se alcanzaron, en general, unos errores del orden del 4% por el método de las diferencias y del 7% por el método de regresión, tomando siempre como base los datos del ICONA. Sin embargo, en tres de los incendios se superaron ampliamente estos niveles alcanzando cotas cercanas al 30% o incluso al 50%. (Tabla 1).

Empeoraron los resultados conseguidos, recogiendo errores del orden del 15% para el método de las diferencias y del 6% para el de la regresión, al excluirse del cómputo total las áreas interiores no afectadas. (Tabla 2).

Cuando la verificación se efectuó tomando como base las superficies recogidas a partir de la técnica GPS, se obtuvieron mejores aproximaciones, especialmente en el caso del incendio Millares. (Ta-

blas 3 y 4).

La comparación entre los resultados obtenidos a partir del Landsat y los conseguidos por Fernández a través del NOAA, no permitió llegar a una conclusión definitiva dado el reducido número sobre la que estaba basada. Sin embargo pudo observarse una mejora de los resultados al utilizar datos Landsat., especialmente, para el método de las diferencias, y una menor dispersión de los errores cometidos. (Tabla 6).

ID	Área (ha.)			Error relativo	
	ICONA	Difer.	Regre.	Difer.	Regre.
1	268+256	250,4	367,9	52,2	29,8
2	7000	6491,0	7454,9	7,3	-6,5
3	8310,3	11342,5	11908,2	-36,5	-43,3
4	24769,9	25599,7	26248,6	-3,4	-6,0
5	1650	2148,8	2148,8	-30,2	-30,2
6	25930	25439,9	28409,5	1,9	-9,6

Tabla 1.- Áreas afectadas por el fuego considerando sólo el perímetro exterior.

ID	Área (ha.)			Error relativo	
	ICONA	Difer.	Regre.	Difer.	Regre.
1	268+256	250,4	366,4	52,2	30,1
2	7000	5986,1	7352,9	14,5	-5,0
3	8310,3	10699,4	114258,2	-28,7	-37,5
4	24769,9	22623,0	25848,5	8,7	-4,4
5	1650	2124,1	2124,1	-28,7	-28,7
6	25930	23477,4	27995,2	9,5	-8,0

Tabla 2.- Áreas afectadas por el fuego sin incluir en el cómputo las zonas interiores no afectadas.

ID	Área (ha.)			Error relativo	
	GPS	Difer.	Regre.	Difer.	Regre.
5	1714,3	2124,1	2124,1	23,9	23,9
6	25033,7	23477,4	27995,2	6,22	-11,8

Tabla 3.- Áreas afectadas por el fuego sin incluir en el cómputo las zonas interiores no afectadas.

ID	Área (ha.)			Error relativo	
	GPS	Difer.	Regre.	Difer.	Regre.
5	1714,23	2148,8	2148,8	-25,4	-25,4
6	25033,67	25439,9	28409,5	-1,6	-13,5

Tabla 4.- Áreas afectadas por el fuego considerando sólo el perímetro exterior.

ID	ICONA (ha)	NOAA (ha)		Landsat (ha)	
		Difer.	Regre	Difer.	Regre.
2	7000	6200	5700	6491,0	7454,9
5	24770	23600	24000	25599,7	26248,6
6	25930	27200	27200	25439,8	28409,5

Tabla 5.- Áreas afectadas según los distintos sensores.

ID	ICONA (ha)	NOAA (%)		Landsat (%)	
		Difer.	Regre	Difer.	Regre.
2	7000	11,4	18,6	7,3	-6,5
5	24770	4,7	3,1	-3,4	-6,0
6	25930	-4,9	-4,9	1,9	-9,6

Tabla 6.- Errores cometidos en la estimación de las áreas afectadas según los distintos sensores.

CONCLUSIONES

Una vez realizadas las operaciones precisas para la delimitación de las áreas quemadas pudieron extraerse las siguientes conclusiones:

Con los algoritmos desarrollados por Fernández Unzueta se detectaron fácilmente todos los incendios superiores a 50 ha.

La información recogida por el sensor TM del Landsat permite perfilar con un elevado grado de detalle, los límites precisos del incendio, delimitando las áreas interiores no quemadas como embalses o líneas de comunicación, recogidas como afectadas en las estadísticas oficiales. Esta capacidad para excluir las áreas interiores no afectadas por el paso del fuego, derivó en la consecución de desviaciones mayores respecto de las áreas recogidas en los Partes de Incendios Forestales.

Respecto a la estimación del área afectada, dado el reducido número de siniestros que han podido estudiarse, no puede inferirse, con seguridad, cuál de los dos métodos obtiene mejores aproximaciones ni cuál de los sensores resultados más precisos. Para sacar una conclusión de esta magnitud debería contarse con una muestra de tamaño mayor.

BIBLIOGRAFIA

Bruzonne, L. and Serpico, S.B. 1997. Detection of changes in remotely- sensed images by the selective use of multi- spectral information. *Int. J. Remote Sens.* 18, no.18: 3883- 3888.

Cahoon, D. R. Jr., Stocks, B.J., Levine, J.S., Cofer III, W.R. and Chung, C.C. 1992. Evaluation of a technique for satellite- derived area estimation of forest fires. *Journal of Geophysical Research* 97 no.D4: 3805- 3814.

Chávez, P.S.Jr. 1988. An improved dark- object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sens. Environ.* 24: 459- 479.

Fernández, A., Illera, P., and Casanova, J.L. 1997. Automatic Mapping of surfaces affected by forest fires in Spain using AVHRR NDVI composite image data. *Remote Sens. Environ.* 60: 153- 162.

Kasischke, E.S., French, H. F., Harrel, P., Christensen, JR, N.L., Ustin, S. L., and Barry, D. 1993. Monitoring of wildfires in boreal forest using large area AVHRR NDVI a composite image data. *Remote Sens. Environ.* 45: 61- 71.

Kasischke, E.S. and French, N.H. 1995. Locating and estimating the areal extent of wildfires in Alaskan boreal forest using composite data. *Remote Sens. Environ.* 51: 263- 275.

Kennedy, P.J., Belward, A.S., and Grégoire, J.M. 1994. An improved approach to fire monitoring in West Africa using AVHRR data. *Int. J. Remote Sens.* 15: 2235- 2255.

Kinnaird, A. 1986. The use of remote sensing in mapping and monitoring vegetational change associated with bushfire events in Eastern Australia. *Geocar- to International* 1.

Malingreau, J.P., Stephens, G., and Fellows, L. 1985. Remote sensing of forest fires: Kalimantan and North Borneo in 1982- 83. *Ambio* 14: 314-321.

Pereira JR, A.C. and Setzer, A.W.1996. Comparison of fire detection in savannas using AVHRR's channel 3 and TM images. *Int. J. Remote Sens.* 17, no.10: 1925- 1937.

Patterson, M.W. and Yool, S.R. 1997. Mapping fire- induced vegetation mortality using Thematic Mapper data. *Remote Sens. Environ.* 65: 132- 142.

Siljeström, P. and Moreno, A. 1995. Monitoring burnt areas by principal components analysis of multi- temporal TM data. *Int. J. Remote Sens.* 16, no.9: 1577- 1587.

Setzer, A.W., Pereire, M.C.,and Pereira A.C.1994. Satellite studies of biomass burning in Amazonia- Some practical aspects. *Remote Sensing Reviews.* 10: 91- 103.

Viedma, O. and Chuvieco, E. 1997. Modeling rates of ecosystem recovery after fires using Landsat TM data. *Remote Sens. Environ.* 61: 383- 398.