

# APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN Y S.I.G. A LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN EN ZONAS INCENDIADAS

RUIZ GALLARDO, J. R.; CASTAÑO FERNÁNDEZ, S. Y CALERA BELMONTE, A.

SECCIÓN DE TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. INSTITUTO DE DESARROLLO REGIONAL (IDR). UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA.

## RESUMEN

En agosto de 1994, se produjo en la Sierra del Segura (provincia de Albacete) un incendio forestal que afectó a más de 14000 ha (MAPA, 1994) de masas de *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis* principalmente.

En la Sección de Teledetección y SIG (Sistemas de Información Geográfica) de la Universidad de Castilla-La Mancha, se ha realizado un trabajo encaminado a la localización, cuantificación y análisis de la zona afectada, partiendo de imágenes multitemporales procedentes de la plataforma espacial Landsat 5 TM y Modelos Digitales de Elevaciones del área, elaborados en la sección, datos que han sido combinados en un SIG.

Los resultados que pueden obtenerse a partir de estas técnicas son muy variados, destacando en el presente trabajo, la generación de un mapa de gradaciones de riesgo de erosión hídrica pluvial. Para su elaboración, se ha tenido en cuenta la cobertura vegetal no afectada por el fuego, determinada mediante Teledetección, la pendiente y la orientación del terreno obtenidas mediante la elaboración de un Modelo Digital del Terreno, y todos los datos se han unido mediante tabulación cruzada en un sencillo S.I.G.

P.C.: Incendio forestal, Teledetección, SIG, erosión.

## SUMMARY

In August 94, a forest fire happened in Segura Mountains (province of Albacete), where more than 14000 ha (MAPA, 94) were burnt, mainly of *Pinus halepensis* and *P. pinaster*.

At Remote Sensing and GIS unit of the University of Castilla-La Mancha, has done a job to locate, quantify and analyse the affected area, using Landsat-5 TM multitemporal images and Elevation Model, combined in a GIS.

The results that can be obtained using this kind of technics are very varied, but at this job we pretend show up generation of Rainfall Erosion Risk Map. To make it, we considered any part of forest cover not affected or semiaffected by fire from digital observation, aspect and slope obtained from the Elevation model, and all the data have been joined using a simple GIS tool for table crossing.

K.W.: Forest fire, remote sensing, GIS, erosion.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la degradación de la cubierta vegetal en numerosos puntos de la Tierra, y en particular en la cuenca mediterránea, ha alcanzado importantes niveles de gravedad. Una de las causas de ésta degradación han sido los incendios forestales, que, en un número que ronda los 50.000 anuales (Vélez, 1990), han llegado a afectar 1.000.000 ha de

superficie forestal, siendo España, por sus particulares características geográficas, medioambientales y demográficas, uno de los países de esta región, en que sus efectos son más graves. El pasado año, según el informe del MAPA (1996) se quemaron en España un total de 122391 ha en 23290 incendios.

Las aplicaciones de la Teledetección al ámbito forestal son muchas, destacando entre ellas su capacidad para cartografiar de forma precisa, homogénea y completa las superficies afectadas por incendios forestales (Husson, 1983), a la vez que es capaz de ofrecer otros tipos de información detallada de todo el área.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo, hemos utilizado escenas multitemporales correspondientes a las fechas: 23 de julio de 1991 y 16 de agosto de 1994, procedentes de la plataforma Landsat-5 y de su sensor *Thematic Mapper* (TM), que por su buena resolución espectral (7 bandas del espectro óptico) y espacial (píxel de 30 x 30 m de lado para 6 de sus bandas) se ha mostrado como uno de los que mejores resultados ofrecen en delimitación y cuantificación de áreas quemadas (Arbiol *et al.* 1987; Pereira y Setzer, 1993; Tanaka *et al.* 1983).

Previo a los procesos de análisis e interpretación, las imágenes escogidas han sido tratadas digitalmente, a fin de corregir las alteraciones propias de la plataforma y del sensor (corrección geométrica) (Segarra, 1991) y se ha georreferenciado en coordenadas UTM. También, y por tratarse de procesos que entramaban comparación multitemporal, se ha realizado una normalización radiométrica, a fin de llevar todas las escenas a unas condiciones estándar, se eligió como escena de referencia la de fecha 13 de abril de 1995.

Dado que la zona estudiada es muy accidentada, se ha realizado una corrección topográfica, aplicando el método de Minnaert (1941), considerado como el más adecuado (Colby, 1991; Smith *et al.*, 1980; Teillet *et al.*, 1982; Woodham and Grey, 1987; Ekstrand, 1996), para corregir las alteraciones que produce este tipo de terrenos.

Para la localización del área quemada, se ha utilizado una combinación en Falso Color de las bandas 5 (infrarrojo medio), 4 (infrarrojo cercano) y 3 (rojo), dada gran capacidad de diferenciación entre la vegetación quemada y la que no lo está, generando una salida RGB en la que aparece en verde oscuro la masa boscosa (principalmente coníferas del género *Pinus*), en verde claro la vegetación de ribera (principalmente frondosas caducifolias), en marrón claro-blanco las zonas sin vegetación y en marrón oscuro, el área afectada por el fuego (ver figura 2), procediendo a su contrastación con trabajo de campo.

Para caracterizar la severidad con que el fuego ha afectado a la superficie forestal, así como para verificar la cuantificación de la superficie quemada, hemos utilizado el método basado en la diferencia normalizada de NDVI, calculada según la expresión:

$$D = \frac{NDVI_{ANTER.} - NDVI_{POST.}}{NDVI_{ANTER.} + NDVI_{POST.}} \quad (\text{Ecuac. 1})$$

Siendo:

**D:** Valor de la diferencia normalizada,

**NDVI<sub>ANTER.</sub>:** Índice de Vegetación Normalizado correspondiente a la fecha 23/07/91,

**NDVI<sub>POST.</sub>:** Índice de Vegetación Normalizado correspondiente a la fecha 16/08/94.

El NDVI, *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse *et al.*, 1974), es una combinación de bandas espectrales con función de realzar la contribución de la vegetación en la respuesta espectral de una superficie, al tiempo que se atenúa la de otros factores como el suelo o las condiciones de iluminación (Colwell, 1974, Tucker *et al.*, 1979) que puedan producir interferencias en la señal radiométrica (Gilbert, 1991). Su expresión más utilizada es la siguiente:

$$NDVI = \frac{IRc - R}{IRc + R} \quad (\text{Ecuac. 2})$$

Siendo:

**NDVI** (o IVN): Índice de Vegetación Normalizado;

**IRc**: Infrarrojo cercano (banda TM 4);

**R**: Rojo (banda TM 3).

Este índice se ha mostrado como un buen indicador de las alteraciones que pueda sufrir la cubierta vegetal, en contraste con la vegetación sana y vigorosa, siendo un incendio, causa de una alteración extrema.

Los valores positivos de magnitud alta (Ecuac. 1), corresponden a la zona incendiada, pudiéndolos seleccionar y cuantificar. Estos valores se encuentran extendidos en un amplio rango, permitiendo asociar las mayores diferencias con aquellas zonas que han sido más afectadas por el fuego, y las diferencias menores con aquellas otras en las que el fuego ha quemado menos proporción de la vegetación existente. De esta forma se puede obtener un mapa de intensidades de daño o severidad del fuego. Finalmente hemos contrastado los resultados obtenidos en el proceso con datos de campo, lo que nos indica la fiabilidad del método.

Paralelamente al análisis de la zona mediante Teledetección hemos elaborado un Modelo Digital de Elevaciones mediante digitalización de las curvas de nivel de los mapas escala 1:50.000 de la zona. Mediante interpolación de estas isolíneas se ha generado el modelo digital en tres dimensiones, y de él obtenemos (tras el conveniente tratamiento geométrico y matemático), bases de datos de los valores de alturas, de pendientes y de orientaciones de cada punto. Estos valores se integran en el S.I.G., que permitirá generar entre otras cosas, los correspondientes mapas de alturas, pendientes y orientaciones del área estudiada.

Para obtener el mapa de riesgo de erosión hídrica pluvial, hemos combinado los mapas de severidad de fuego, con los de pendientes y orientaciones, para llegar al SIG final que nos hemos marcado como objetivo.

En primer lugar se combina el mapa de severidad con el de pendientes que ha sido dividido en 3 intervalos (adaptados de la clasificación de Bibby y Mackney, 1969), en forma de tabla de doble entrada, tal y como se expresa en la tabla 1, para luego agrupar los valores en 4 bloques, tal y como se presenta en la tabla 2. Posteriormente, estos valores se combinan de igual modo con los valores de orientación, ponderando de modo que las laderas sur tengan doble riesgo que las norte (tabla 3) debido a su menor capacidad para cubrir el suelo y por tanto más alto riesgo de pérdida por arrastre del suelo, tal y como las experiencias parecen demostrar para estas zonas (Martínez, 1994, De las Heras *et al.*, 1995), y agrupándose en cuatro valores, tal y como se representa en la tabla 4.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos tras la aplicación de la metodología descrita, quedan resumidos en la tabla 5 y en la figura 1.

Como puede observarse, casi la mitad de la superficie afectada dadas sus condiciones de orientación, pendiente y vegetación restante tras el paso del fuego, se encuentra dentro de un riesgo de erosión alto o extremo, indicándonos una eminente necesidad de actuación para evitar en la medida de lo posible, la pérdida de suelo.

Como conclusiones finales al uso y aplicación de técnicas de Teledetección y S.I.G. en una zona afectada por un gran incendio forestal, nos permite extraer las siguientes:

- El tratamiento digital del área afectada, permite diferenciar zonas dependiendo de la intensidad con que el fuego ha afectado a la vegetación previa.

- El tratamiento de un M.D.T. permite conocer la pendiente, orientación y altura de cada una de las unidades de superficie de las que consta el área afectada.
- Uniendo los resultados de severidad de fuego, pendientes y orientaciones en un S.I.G., puede obtenerse un mapa zonificado de riesgo de erosión hídrica (figura 3).
- Este último mapa permite priorizar las actuaciones a aquellas zonas de mayor riesgo.

## BIBLIOGRAFÍA

ARBIOL, R., J. ROMEU, AND O. VIÑAS. 1987. Detecció i evaluació de les superfícies forestals cremades durant l'any 1984 a Catalunya, mitjançant tècniques de teledetecció. *Revista catalana de Geografia* 2:21-46.

BIBBY, J. S. Y MACKNEY, D., 1969. Land use capability classification. *The Soil Survey Technical Monograph*, 1:6-7.

COLBY, J. D. 1991. Topographic Normalization in Rugged Terrain. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* 57(5):531-537.

COLWELL, J. E. 1974. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment* 3:175-183.

DE LAS HERAS, J., J. GUERRA & J. M. HERRANZ, 1995. Bryophyte succession after fire in Mediterranean Ecosystems. Differences between N and S exposures 3-5 years after fire. *Acta Oecologica* 16(2):159-169.

EKSTRAND, S. 1996. Landsat TM-Based Forest Damage Assessment: Correction for Topographic Effects. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 62: 151-161.

GILABERT, M. A. 1991. Índices de Vegetación. En: *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura.* (Ed: Universidad de Valencia). Valencia, 25 de Febrero - 9 de Marzo 9, 1991, pages: 285-293.

HUSSON, A. 1983. Télédétection des incendies de forêt en Corse entre 1973 et 1980. *Méditerranée Teledetection III* 54: 53-59.

MAPA, 1995. Los incendios forestales en España durante 1995. Servicio de publicaciones de MAPA. Madrid.

MARTÍNEZ, J. J., 1994. Regeneración de la vegetación postincendio en la provincia de Albacete y zonas limítrofes de Murcia (SE de España). Tesis doctoral. Universidad de Murcia.

MINNAERT, M. 1941. The Reciprocity Principle in Lunar Photometry. *Astrophysical Journal* 93:403-410.

PEREIRA, M. C. AND A. W. SETZER. 1993. Spectral characteristic of fire scars in Landsat 5 TM images of Amazonia. *International Journal of Remote Sensing* 14:2061-2078.

ROUSE, J. W., R. H. HAAS, J. A. SCHELL, D. W. DEERING AND J. C. HARLAN. 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation, NASA/GSFC, Tupe III, Final report, Geenbelt, MD. 371 pages.

SEGARRA, D. 1991. La corrección geométrica. En: *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura.* (Ed: Universidad de Valencia). Valencia, 25 de Febrero - 9 de Marzo, 1991, pag: 183-193.

SMITH, J. A., T. L. LIN, AND K.J. RANSON 1980. The Lambertian assumption and Landsat data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 46(9): 1183-1189

TANAKA, S., H. KIMURA AND Y. SUGA. 1983. Preparation of a 1:25.000 Landsat map for assessment of burnt area on Etajima Island. *International Journal of Remote Sensing* 4: 17-31.

TEILLET, P. M., B. GUINDON AND D. G. GOODEONUGH. 1982. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. In: *Canadian Journal of Remote Sensing* 8(2):84-106.

TUCKER, C. J., J. H. ELGIN, AND J. E. MC MURTREY 1979. Temporal spectral measurements of corn and soybean crops. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45:643-653.

VÉLEZ, R., 1990. Los incendios forestales en España. Ecología, (ed: Ministerio de Agricultura). Madrid 1: 213-221.

WOODHAM, R. J. AND M. H. GRAY. 1987. An analytic method for radiometric correction of satellite multispectral scanner data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 25(3):258-271.

Severidad →	totalmente quemado	bastante quemado	poco quemado
Pendiente ↓			
0-7°	3	2	1
7-15°	6	5	4
>15°	9	8	7

Tabla 1: Valores iniciales. Tabla de doble entrada pendientes/severidad fuego

Severidad →	totalmente quemado	bastante quemado	poco quemado
Pendiente ↓			
0-7°	3	1	1
7-15°	3	2	2
>15°	4	3	3

Tabla 2: Valores finales. Tabla de doble entrada pendientes/severidad fuego

Orientación ↓	Result. tab.2 →	1	2	3	4
Norte		1	2	3	4
Sur		2	4	6	8

Tabla 3: Valores iniciales. Tabla de doble entrada orientación/Resultados tabla 2.v

Orientación ↓	Result. tab.2 →	1	2	3	4
Norte		1	1	2	2
Sur		1	2	3	4

Tabla 4: Valores finales. Tabla de doble entrada orientación/Resultados tabla 2

Riesgo	Nº de píxeles	Superficie (ha)	Porcentaje
Bajo	32129	2008	18
Medio	71818	4489	41
Alto	50655	3166	29
Extremo	22261	1391	13
Total	176863	11054	100

Tabla 5: Resultados riesgo de erosión.

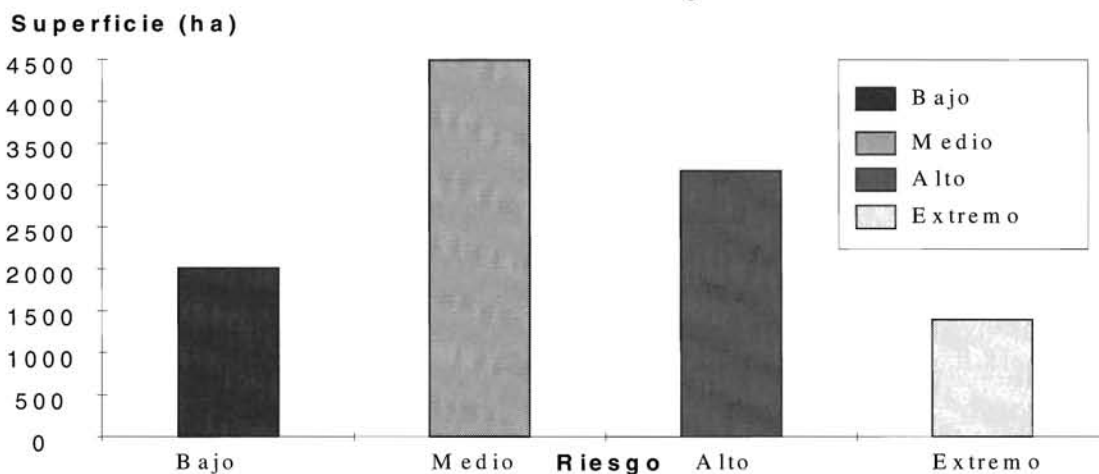
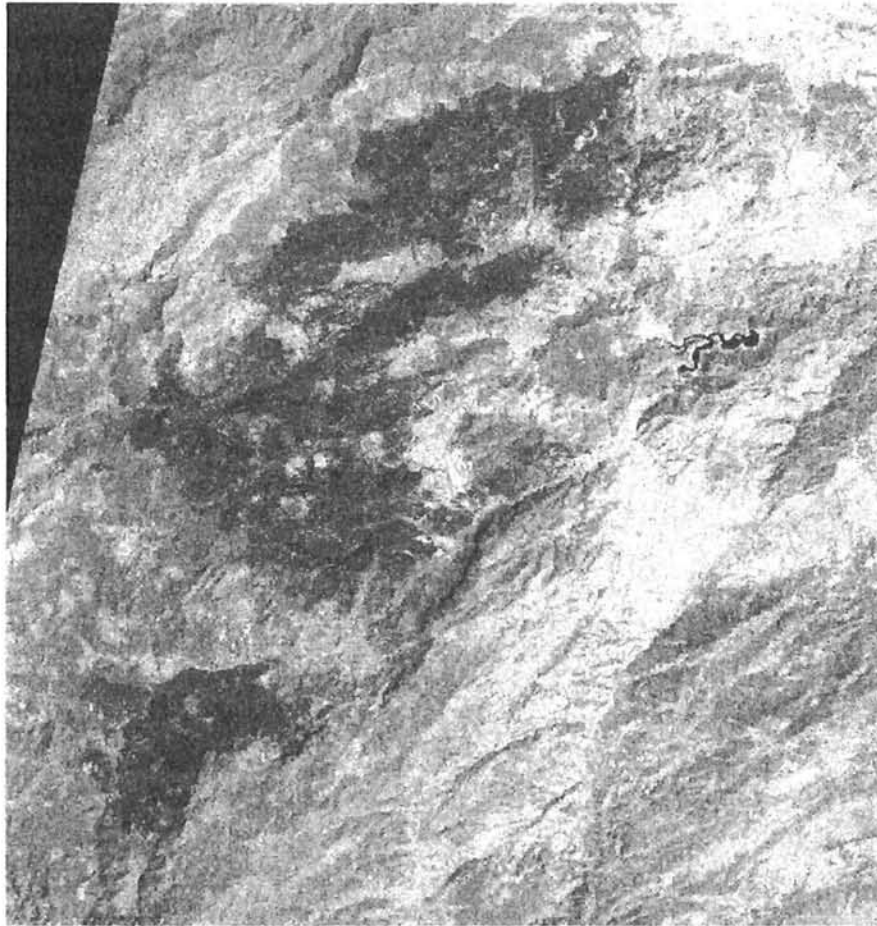
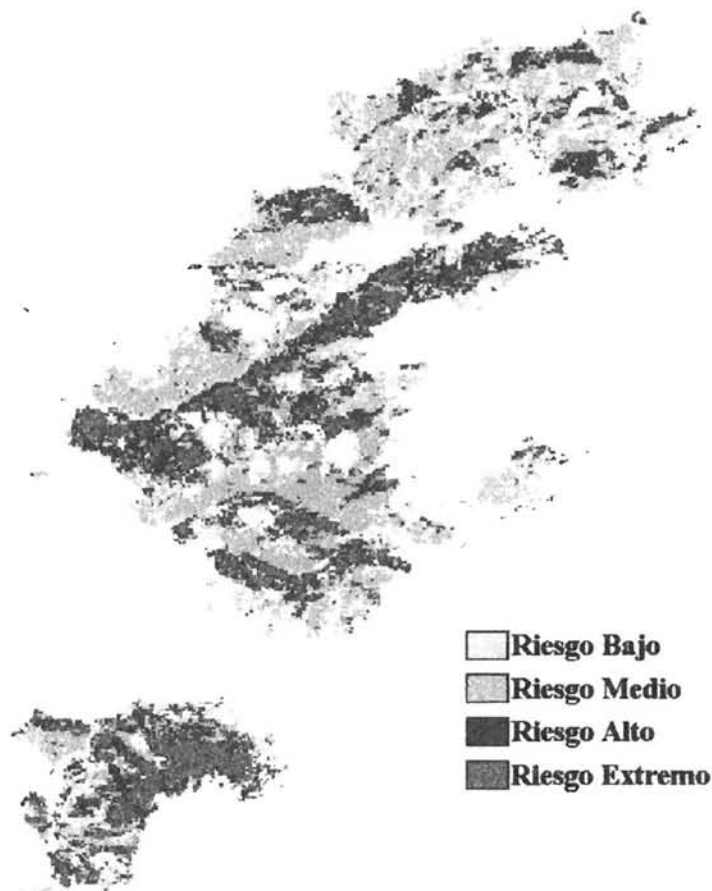


Figura 1: Histograma de distribución del riesgo de erosión.



**Fig. 2: Combinación FC Bandas 543 Landsat-TM de la zona afectada.**



**Fig. 3: Mapa de distribución del Riesgo de Erosión Hidrica Pluvial.**