

# Cartografía de zonas quemadas en Asturias durante el período 1991-2001 a partir de imágenes Landsat-TM

C. Recondo<sup>1,2</sup>, E. Wozniak<sup>2</sup> y C. S. Pérez-Morandeira<sup>2</sup>  
Correo electrónico: crecondo@relay.etsimo.uniovi.es

<sup>1</sup>Dpto. de Explotación y Prospección de Minas. Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Universidad de Oviedo. <sup>2</sup>Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio (INDUROT). Universidad de Oviedo. C/ Independencia, 13. 33004 Oviedo.

## RESUMEN

El análisis multitemporal de detección de zonas quemadas mediante imágenes Landsat-TM ha hecho posible la realización de un estudio de seguimiento de los incendios forestales en Asturias desde 1991 hasta 2001. Todas las imágenes utilizadas han sido corregidas atmosféricamente, ortorrectificadas y corregidas topográficamente. Para detectar las zonas quemadas se ha aplicado el método de diferencia simple de imágenes y el clasificador supervisado de máxima probabilidad. Finalmente, la integración de la cartografía obtenida por teledetección en un SIG ha permitido la rápida valoración de los daños producidos.

**PALABRAS CLAVE:** teledetección, incendios forestales, SIG.

## ABSTRACT

The multitemporal analysis of detection of burnt areas using Landsat-TM imagery has made possible the development of a study focused on monitoring of forest fire in Asturias between 1991 and 2001. All used images were corrected atmospherically, orthorectified and corrected topographically. In order to detect the burnt areas there were applied the image differencing method and the supervised classification of maximum likelihood. Finally, maps obtained by means of remote sensing were integrated into a GIS that allowed a quick valuation of damage produced.

**KEY WORDS:** remote sensing, forest fire, GIS.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son uno de los principales problemas ecológicos planteados en el Principado de Asturias, debido a la extensión, frecuencia e intensidad que han alcanzado en los últimos años (Álvarez *et al.*, 2001). Estos incendios tienen repercusiones notables sobre los ecosistemas, la biodiversidad, la gestión duradera de los recursos forestales y las economías locales y nacionales.

Tradicionalmente, el inventario de estos incendios ha sido llevado a cabo en esta Comunidad por el CEISPA (Consortio de Extinción de Incendios, Salvamento y Protección Civil del Principado de Asturias), pero éste se ciñe al paraje donde se ha producido el incendio y al área dañada estimada por los guardas forestales encargados de la inspección del terreno; estos datos son accesibles desde el año 1988. Más recientemente, este organismo realizó una única cartografía por medio de GPS en

vuelo en el verano-otoño del 2000, la cual se ciñó exclusivamente a las zonas quemadas de mayor extensión.

Para un estudio más riguroso sobre los efectos de estos continuos incendios en nuestro territorio es necesario contar con una cartografía precisa, que sirva para conocer la localización exacta de las zonas quemadas, su tamaño y la cubierta vegetal afectada en cada caso. Una de las formas de obtener esta información de los incendios pasados es recurrir a imágenes de satélite antiguas, en el caso de este artículo, de la última década.

La utilización de imágenes de satélite para la cartografía de zonas quemadas, si bien es novedosa en nuestra Comunidad, lleva aplicándose con asiduidad y éxito en otras regiones españolas, especialmente en Cataluña (Díaz-Delgado y Pons, 2001), si bien sus imágenes proceden de varios sensores y el método de trabajo es distinto al aplicado por nosotros.

## DATOS DE PARTIDA

La serie de imágenes elegidas para este estudio proceden del Landsat-TM (n.º 5 y 7) y cubren el periodo entre 1991-2001, a razón de aproximadamente una imagen por año. La elección ha estado muy condicionada por la existencia de nubosidad afectando a la imagen, principal problema en nuestra región, de forma que es difícil encontrar más de dos imágenes válidas en todo un año. Sin embargo, cuando ha sido posible elegir, se han preferido las imágenes de finales de primavera y comienzos de otoño, ya que la distribución mensual de incendios obtenida de los datos del CEISPA presenta dos máximos importantes, uno en marzo y otro en agosto (Álvarez *et al.*, 2001). Las imágenes de invierno han sido desechadas porque, si bien algunas estaban libres de nubes, la altura del Sol sobre el horizonte era muy baja ( $<35^\circ$ ), lo que producía muchas sombras y hacía inutilizable la imagen para la detección de zonas quemadas. La Tabla 1 muestra las imágenes finalmente elegidas, mostrando la fecha de cada una de ellas y la altura del Sol sobre el horizonte y su acimut referidas al centro de la escena. Las primeras diez imágenes corresponden al Landsat n.º 5, mientras que las dos restantes son del Landsat n.º 7. De estas últimas sólo se han utilizado las 7 bandas comunes al Landsat-5.

	Fecha de la Imagen	Acimut del Sol (°)	Altura del Sol (°)
1	07-10-91	148.25	36.33
2	19-06-92	120.53	59.15
3	08-07-93	120.45	57.77
4	09-06-94	120.51	58.46
5	28-06-95	114.80	55.91
6	14-06-96	117.96	57.66
7	14-04-97	136.62	48.75
8	07-08-98	132.42	55.29
9	09-07-99	125.62	60.03
10	25-06-00	124.79	60.98
11	07-10-00	156.16	38.28
12	20-06-01	129.99	44.15

**Tabla 1.** Imágenes utilizadas en este trabajo, con indicación de la fecha y de los datos solares en el momento de la adquisición.

Para la georreferenciación y la corrección topográfica de las imágenes, corrección necesaria en zonas de relieve, hemos contado con un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de todo el Principado de Asturias. El MDE se realizó partiendo de la

digitalización manual de los mapas topográficos del IGN a escala 1:25.000, tomando las curvas de nivel con equidistancia de 50 m y los puntos y las líneas singulares. El resultado final del proceso produjo un MDE raster de tamaño de píxel 50 m, que posteriormente fue remuestreado a 30 m para coincidir con la resolución de las imágenes Landsat-TM.

Otros datos utilizados fueron varios mapas vectoriales con distinta información para toda Asturias: ríos, concejos y límite de la costa, los tres procedentes de los 1:25.000 del IGN, vegetación de la Cartografía Temática del Principado y los mapas elaborados por el INDUROT para el proyecto de *Riesgos naturales en el Principado de Asturias – incendios forestales* (Marquín *et al.*, 2001): de riesgo de erosión de suelos, de pérdidas de valor natural, de pérdidas de aprovechamiento económico, el mapa de peligrosidad y de riesgo de incendios forestales. El contenido de los mencionados mapas será comentado en el apartado 4. Los ríos y la costa fueron usados para georreferenciar las imágenes TM. Los concejos, la vegetación y los mapas temáticos del INDUROT se usaron para elaborar las estadísticas de los daños producidos.

La única cartografía de apoyo en el campo ha sido la realizada por el CEISPA por perimetración con GPS en helicóptero en el verano del 2000, la cual utilizaremos como validación de nuestro método.

## METODOLOGÍA USADA Y SU VALIDACIÓN

### Corrección de las imágenes

La aplicación de cualquier algoritmo de detección de cambios exige una adecuada corrección geométrica y radiométrica de las imágenes de satélite. Por lo tanto, y en este orden, sobre nuestras imágenes se ha realizado la corrección atmosférica, se han georreferenciado y han sido corregidas topográficamente.

El cálculo del exceso atmosférico en el ND de cada banda se basó en dos hipótesis: que este exceso puede ser medido de forma aproximada en áreas de muy baja reflectividad, como superficies de agua, de las que el sensor detectaría una radiancia baja y constante en ausencia de atmósfera (hipótesis generalmente aceptada). La segunda hipótesis fue considerar que todas las zonas de agua clara y profunda tienen una radiancia similar, tomando para las zonas de agua elegidas sobre

nuestras imágenes (en los embalses de Arbón, Doiras y Rioseco) los valores obtenidos por Bukata *et al.* (1983). Estos valores, así como su conversión a ND utilizando los coeficientes de calibración de los sensores TM-5 y ETM-7 se muestran en la Tabla 2. Calculando, entonces, en las zonas de agua elegidas, el ND medio para cada banda, todo lo que excediese el valor mostrado en la Tabla 2 fue considerado atmósfera y restado a cada píxel de cada banda. En la banda 6 se realizó también la homogeneización radiométrica en las zonas de agua mediante un valor arbitrario bajo, pero en este caso la homogeneización no pretendía ser una corrección atmosférica. Todo este proceso de corrección atmosférica y de homogeneización radiométrica se abordó con el programa ERMapper 6.2.

Banda	Radiancia=L (mW/cm <sup>2</sup> sr_m)	ND TM5	ND ETM7
1	1.23	23	24
2	0.72	9	17
3	0.12	3	10
4	0	2	8
5	0	3	8
7	0	3	8

**Tabla 2.** Radiancia para el agua (Bukata *et al.*, 1983) y sus correspondientes ND para los sensores TM-5 y ETM-

La corrección geométrica y la georreferenciación se llevaron a cabo empleando unos 60 puntos de control repartidos por todo el Principado de Asturias. El gran relieve de esta región hace necesaria la inclusión de la altitud, mediante el MDE, en los polinomios de ajuste involucrados en este proceso, es decir, las imágenes deben ser ortorrectificadas. Para ello se ha empleado la forma polinomial (Palá y Pons, 1995) implementada en el programa MiraMon. El *r.m.s medio* obtenido finalmente para todas las imágenes está entre 0.6 y 1.

La corrección topográfica se realiza en zonas de relieve para mejorar las posteriores clasificaciones que se realicen sobre las imágenes. Compensa el efecto de que las zonas mejor orientadas al Sol muestran un ND más alto que las peor orientadas (dentro de la misma cubierta), multiplicando las primeras por un factor  $t < 1$  y las segundas por un  $t > 1$ . El efecto final es homogeneizar ambas zonas, es decir, “aplanar” la superficie. El cálculo de  $t$  se ha realizado obteniendo las pendientes en sentido O-E y en sentido S-N por medio de filtros sobre cada punto del MDE,

con los datos solares de la Tabla 1 y tomando el modelo de Minnaert para la radiancia de una superficie no lambertiana (Recondo *et al.*, 2000; 2001a). La constante  $k$  de Minnaert fue obtenida para cada banda de la forma usual, es decir, linearizando la fórmula de la radiancia de Minnaert. Los valores obtenidos para cada banda y cada imagen se muestran en la Tabla 3. La expresión de  $t$  para cada banda es:

$$\tau = \frac{1}{\left( \frac{1 - p_s \cos \theta_s - q_s \sin \theta_s}{\sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}} \right)^k \left( \frac{1}{\sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}} \right)^{2k}}$$

donde:

$p$ =pendiente de cada punto (x,y) en sentido x (O-E).

$q$ =pendiente de cada punto (x,y) en sentido y (S-N).

$p_s$ =componente x (O-E) del vector solar  $\Rightarrow$

$$p_s = \sin \theta_s \tan V$$

$q_s$ =componente y (S-N) del vector solar  $\Rightarrow$

$$q_s = \cos \theta_s \tan V$$

$k$ =constante de Minnaert.

$\theta_s$ =ángulo acimutal solar

$V$ =ángulo cenital solar

Obtenido así el raster  $t(x,y)$  para cada banda, ésta será corregida de topografía mediante la operación:

$$ND_{\text{corregido}} = ND_{\text{observado}} \tau$$

nº	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
1	0.23	0.36	0.70	0.63	0.71	0.30	0.63
2	0.32	0.19	0.10	0.20	0.10	0.55	0.60
3	0.57	0.63	1.05	0.63	0.67	0.33	0.68
4	0.43	0.45	0.75	0.51	0.48	0.43	0.46
5	0.75	0.75	1.41	0.61	0.77	0.42	0.81
6	0.51	0.61	0.84	0.62	0.64	0.39	0.63
7	0.40	0.60	0.90	0.70	0.72	0.46	0.68
8	0.12	0.19	0.46	0.44	0.49	0.11	0.41
9	0.61	0.70	1.21	0.55	0.70	0.33	0.73
10	0.59	0.69	1.05	0.53	0.74	0.50	0.81
11	0.59	0.68	1.07	0.52	0.69	0.45	0.77
12	0.33	0.35	0.46	0.29	0.35	0.29	0.37

**Tabla 3.** Valores de la constante de Minnaert, k, para cada banda de cada imagen.

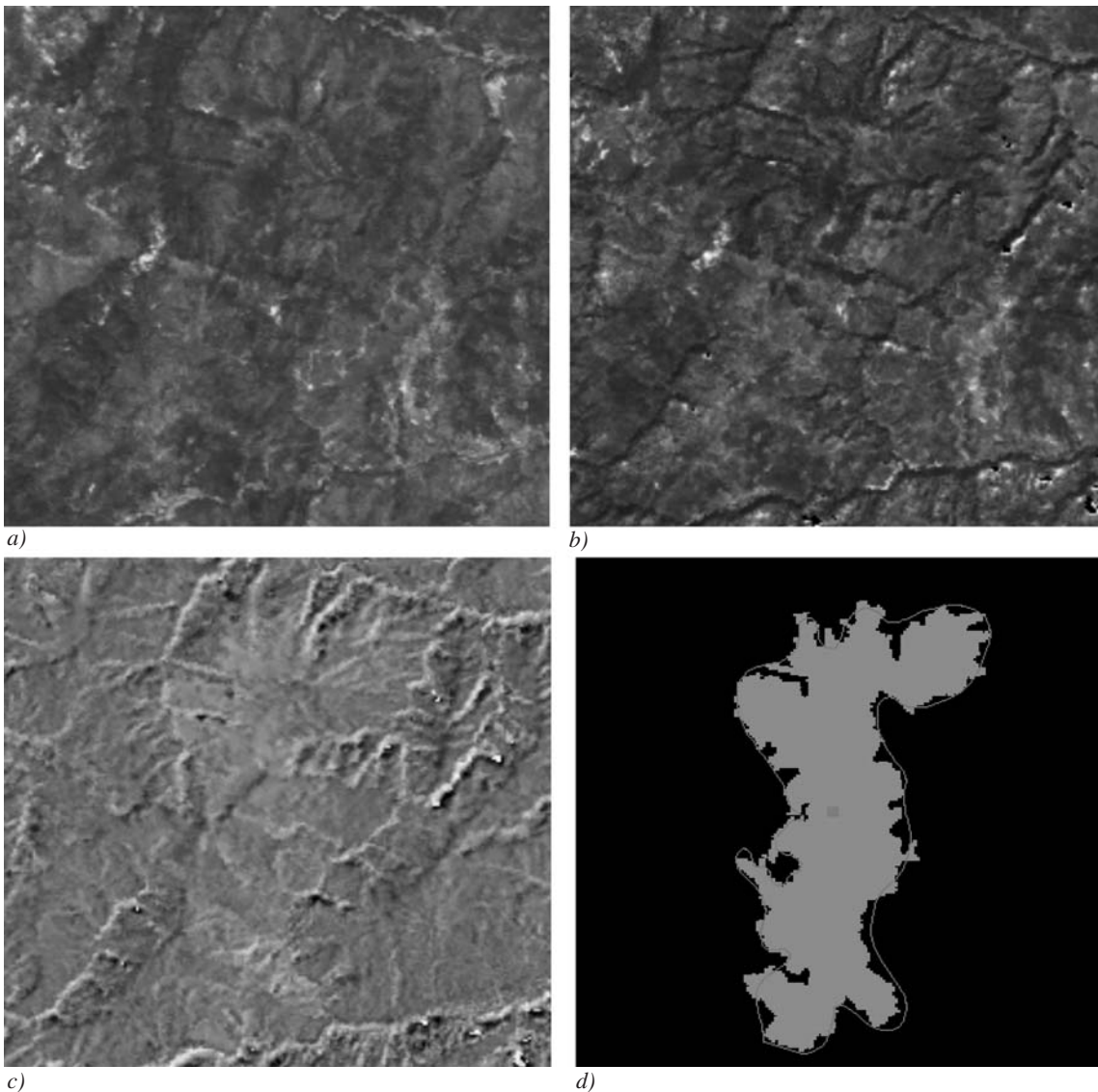
La comparación entre la imagen de junio (del sensor TM-5) y la de octubre del 2000 (del ETM-7), requiere una homogeneización radiométrica no sólo en los valores bajos (agua plana), sino en todos, ya que las pendientes de las rectas  $L_k = a_0 + a_1 ND_k$  son diferentes para cada sensor ( $k$  es ahora cada banda).

Así, la conversión de  $ND_k(TM)$  a  $ND_k(ETM)$  se realiza eligiendo las zonas de agua citadas (radiancia baja y constante) y otras de alta radiancia supuesta también constante (suelo desnudo, asfalto, etc.; en nuestro caso se ha elegido la pista de aterrizaje del aeropuerto de Ranón, la cual es llana). Así, representando los ND de ambas zonas obtenidos sobre ambas imágenes, se puede obtener una recta de regresión para cada banda  $k$  del tipo  $ND_k(ETM) = a_k ND_k(TM) + b_k$ , la cual puede ser aplicada a la ima-

gen de junio del 2000 para crear otra imagen que pueda ser comparada con la de octubre.

### Cartografía de las zonas quemadas y su validación

La obtención de las áreas quemadas se realiza aplicando un método de detección de cambios entre cada dos imágenes y, posteriormente, realizando



**\*Figura 1.** Detalle de una zona quemada en el concejo de Cangas de Narcea entre Junio y Octubre del 2000. **a)** imagen anterior al incendio; RGB = 321; **b)** imagen posterior al incendio; RGB = 321; **c)** imagen diferencia (imagen anterior-imagen posterior); RGB = 457; y **d)** imagen clasificada (área gris) y cartografía GPS (línea roja).

Todas las figuras precedidas de asterisco se incluyen en el cuadernillo anexo de color

una clasificación supervisada sobre la imagen de cambios. La elección del mejor método y clasificador para la detección de estas zonas en Asturias se obtuvo en un trabajo anterior a éste (Recondo *et al.*, 2001b), donde se concluyó que el mejor método de detección de zonas quemadas era la diferencia simple de imágenes (antes del incendio-después del incendio) y el mejor clasificador el de máxima probabilidad con realce del vecino más próximo en un filtro de  $5 \times 5$ . Para la serie de imágenes usadas en este trabajo se confirma que esta elección es la más adecuada. Sin embargo, en este caso, la mejor visualización de las zonas quemadas se obtiene con una composición de las imágenes

diferencia RGB=b4-b5-b7, donde estas zonas se destacan claramente del resto por el intenso color naranja que presentan (Figura 1c). Así, sobre las zonas naranja se introducen polígonos de entrenamiento de la clase de áreas quemadas, aunque también son necesarios otros polígonos para separar en clases los diversos colores que aparecen en la imagen diferencia y que representan otros cambios (el máximo número de clases está entre 11 y 25). Realizada la clasificación supervisada, nos quedamos finalmente sólo con la clase de áreas quemadas para tener su cartografía.

La validación de la metodología usada en este trabajo para la obtención de una cartografía de las

<b>Id</b>	<b>Concejo</b>	<b>Paraje</b>	<b>Hectáreas GPS</b>	<b>Hectáreas Landsat</b>	<b>% común</b>	<b>% diferencia</b>
1	Ibias	Pelliceira-villa	2052	1963	88	-4
2	Ibias	Castaosa Peneda	1353	1396	86	3
3	Ibias	Dou/Sierra Valcarcel	260	149	57	-43
4	Ibias	Villardecencias/Omente	391	221	55	-43
5	Degaña	El rebollar	321	383	89	19
6	Degaña	Piedrafito y la Silva	331	221	57	-33
7	Degaña		159	148	90	-7
8	Cangas del Narcea	Rengos	193	202	96	5
9	Cangas del Narcea	Monco-Moal	169	174	94	3
10	Cangas del Narcea	Fuentes de Corbero	316	297	90	-6
11	Cangas del Narcea	Cobos y las Cuadriellas	191	154	78	-19
12	Cangas del Narcea	Cibuyo	120	138	94	15
13	Cangas del Narcea	Monasterio del Coto	930	834	86	-10
14	Allande	Fonteta	107	112	93	5
15	Allande	San Salvador de Berducedo	305	210	67	-31
16	Grandas de Salime	Castadiello	278	250	84	-10
17	Villanueva de Oscos	Carballo de Fole	76	76	92	0
18	Boal		179	167	87	-7
19	Boal		193	169	80	-12
20	Tineo	Rellanos/Vallinaferrerías	272	249	80	-8
21	Tineo	Merillés Tuña	533	415	75	-22
22	Tineo	Combarcio/Tueres/Merilles	106	103	90	-3
23	Somiedo	Robledo	93	66	67	-29
24	Somiedo	Corés	18	17	85	-6
25	Somiedo	Alto del Puerto	136	142	94	4
26	Teverga	Torce	81	17	17	-79
27	Teverga	San Salvador	95	82	80	-14
28	Teverga	La Focella	114	101	72	-11
29	Somiedo	Aguasmestas	25	16	64	-36
30	Somiedo	Aguasmestas	13	14	85	8
31	Las Regueras	Trasmonte	184	149	78	-19

**Tabla 4.** Comparación entre la cartografía de la imagen diferencia Junio 2000-Octubre 2000 y la cartografía GPS.



zonas quemadas entre cada dos fechas, sólo se ha podido realizar con la ya comentada cartografía del CEISPA obtenida por GPS en el verano-otoño del 2000. Y esta validación se refiere a los incendios grandes (> 10 ha), ya que la cartografía de campo sólo tuvo en cuenta estos incendios. Las estadísticas de la comparación entre la cartografía de la imagen diferencia Junio2000-Octubre2000 y la cartografía GPS se muestran en la Tabla 4.

Aunque los resultados obtenidos por ambos métodos coinciden muy bien en general (20 de los 31 incendios muestran un acuerdo  $\geq 80\%$ ) se encuentra algunas discrepancias debidas a lo indicado a continuación. La cartografía del CEISPA no tiene en cuenta pequeñas variaciones en el contorno de un incendio, suavizando el trazado del límite, ni tampoco distingue islas no quemadas dentro de la zona afectada (ambos efectos se observan en los casos 5, 7, 11, 13, 18, 19, 21, 22, 27 y 31 de la Tabla 4); también una varios focos separados en una superficie continua, obteniendo así una zona quemada más extensa (casos 4 y 6). Las zonas quemadas donde se produce la recuperación rápida de la vegetación después del incendio pueden tener características distintas en la imagen diferencia a las demás áreas incendiadas, de regeneración más lenta, y no ser clasificadas como éstas (caso 3). Otro problema importante para detectar zonas quemadas mediante teledetección en terrenos montañosos es el ocultamiento topográfico que se observa claramente en algunas zonas concretas de algunas imágenes (casos 1, 15, 26 y 28). Como las fuentes de datos no son exactamente contemporáneas se han detectado las zonas quemadas posteriores al vuelo GPS acopladas a los incendios anteriores (casos 2 y 5). Para algunos casos concretos en los que el acuerdo es menor de 80%, se desconoce la causa de la diferencia (casos 11, 23 y 29). Finalmente, como ejemplo del acuerdo entre ambas cartografías, se detalla una de las 31 zonas (caso 13) cartografiadas por el CEISPA en la Figura 1.

## INTEGRACIÓN EN UN SIG: ESTADÍSTICAS TOTALES DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS

Según los datos extraídos de las imágenes Landsat, en Asturias, en la década 1991-2001, se produjeron 85.727 incendios que afectaron una superficie de 1.061.057 ha (Figura 2).

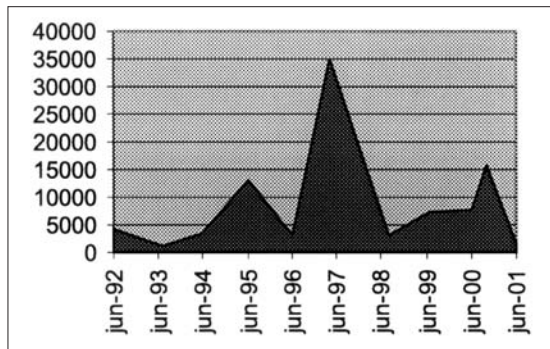


Figura 2. Superficie quemada (ha) en Asturias a lo largo del período 1991-2001.

También se han realizado las estadísticas de las quemadas por concejo (Figura 3), mostrándose la gravedad del problema en algunos de ellos, con una superficie quemada de más del 25% de su superficie total (Ibias, Degaña, Allande y Cangas de Narcea); además hay que tener en cuenta que varios de los incendios en estas zonas son repetidos.

A partir del mapa de **vegetación** del Principado se ha elaborado el mapa de unidades ambientales y cruzándolo con el mapa de zonas quemadas se han obtenido las estadísticas de la vegetación afectada (Figura 4). El 73% de las quemadas se han producido en terreno cubierto por matorrales, el 9% en bosques maduros, el 7% en prados y pastos, el 3% en vegetación rupícola, el 3% en prebosques y formaciones arbustivas, y el 5% en otras unidades (castañedos, pinares, eucaliptales, vegetación halófila, dulceacuícola, de alta montaña, áreas urbanas etc.).

Varios análisis SIG entre la cartografía de áreas quemadas obtenida por teledetección y los mapas elaborados por el INDUROT para el proyecto de *Riesgos naturales en el Principado de Asturias: incendios forestales* (Marquín et al., 2001) han

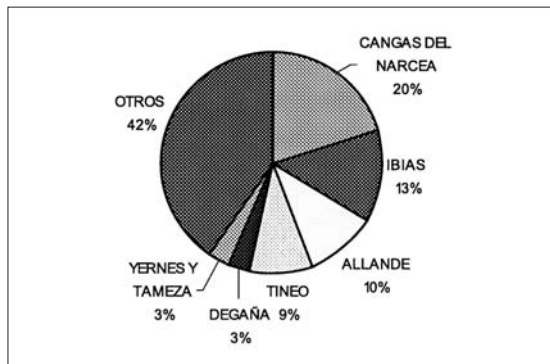
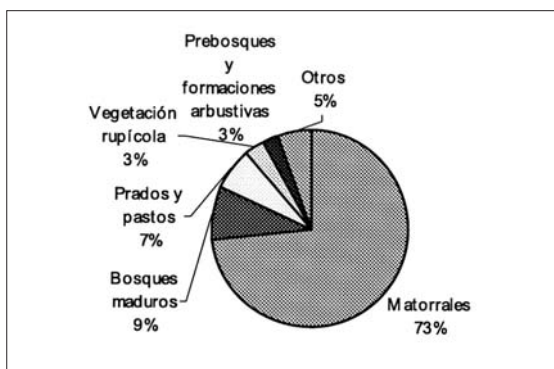


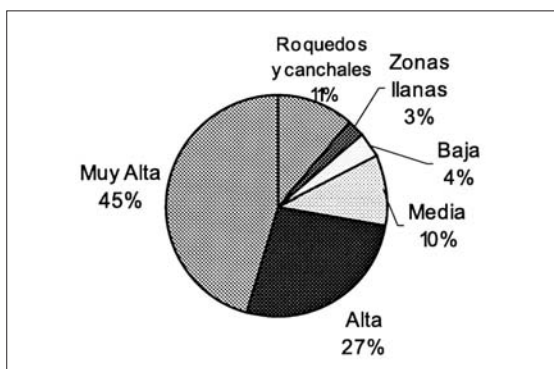
Figura 3. Superficie quemada por concejos.



**Figura 4.** Superficie quemada por concejos. permitido estimar la incidencia ambiental y económica de los incendios forestales en Asturias.

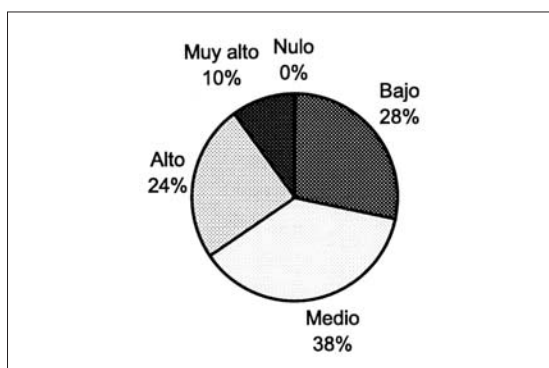
La consecuencia más aparente de un incendio es la destrucción de la vegetación, pero generalmente el efecto más importante es la devastación del suelo, que puede llegar a ser irreversible. Para valorar las pérdidas de suelo durante la última década se ha cruzado el mapa de quemas detectadas en este periodo con el modelo de **erosión de suelos** (Figura 5). El modelo se basa en las siguientes variables: a) clasificación litológica, que tiene en cuenta la textura, carbonatos, permeabilidad y contenido de materia orgánica del suelo; b) combustibilidad y estructura de la vegetación y c) clasificación del relieve a partir de las pendientes. La mayoría de los incendios se producen en zonas de sensibilidad muy alta (áreas en las que predominan las litologías cuarcíticas, o cuarcitas con areniscas, en pendientes elevadas) y alta (áreas donde dominan las formaciones mixtas y con pizarras, a veces ricas en componentes calcáreos, con altos valores de pendiente), con un porcentaje para ambas del 45% y del 27%, respectivamente.

El **valor natural** de un territorio se ha determinado teniendo en cuenta dos factores fundamentales:



**Figura 5.** Superficie quemada respecto a la sensibilidad a la erosión.

el valor natural intrínseco o naturalidad y la vulnerabilidad (fragilidad) frente a un incendio. El valor natural intrínseco se ha establecido apoyándose en criterios tales como: si la unidad está bajo algún tipo de protección ambiental, el grado de conservación y particularidad de la vegetación y la biodiversidad. La vulnerabilidad de la vegetación frente a un incendio se ha medido teniendo en cuenta la capacidad de regenerarse y llegar a formar una unidad de vegetación igual a la que había antes del incendio. El mayor porcentaje de la superficie afectada, un 38%, corresponde a la clase media, que incluye lastonares y matorrales en pendientes pronunciadas. Esta categoría sufre también la mayor repetitividad de incendios. Por otra parte, un 10% del terreno quemado es de gran valor natural (bosques maduros, prebosques, enebrales, lauredales, complejos de vegetación de marismas y acantilados, etc.) (Figura 6).



**Figura 6.** Superficie quemada respecto al valor natural.

La **valoración económica** es difícil de llevar a cabo debido a la extensión de la zona de estudio y la diversidad de los recursos susceptibles a arder. Las unidades fueron valoradas en base a la producción derivada de ellas, declarada como parte del Producto Neto de la Agricultura Asturiana (*Consejería de Medio rural y Pesca, 1999*), y a partir del precio de mercado del metro cúbico de madera. La mayoría de los incendios, un 88%, se producen en la clase "sin pérdidas" (que abarca prados y pastos, prebosques, formaciones arbustivas y matorrales), seguida por la clase de pérdidas económicas bajas (plantaciones de roble americano y pino silvestre, formaciones de abedul, haya, quercíneas y otras frondosas), con el 8% de las quemas (Figura 7).

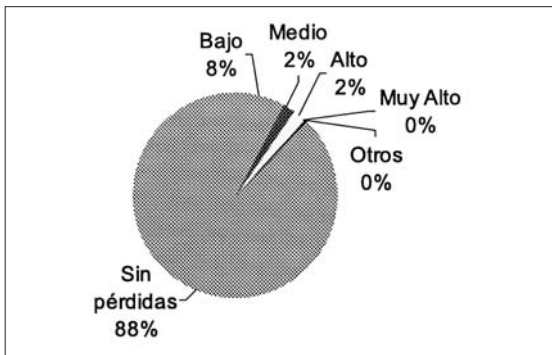


Figura 7. Superficie quemada respecto al valor económico.

La cartografía de las zonas quemadas fue utilizada para valorar el modelo de **peligrosidad** elaborado por el INDUROT. El modelo tiene en cuenta el grado de susceptibilidad derivado de la vegetación (inflamabilidad, combustibilidad, cantidad de materia seca, velocidad de propagación y longitud de la llama), la corrección por roquedos y el factor corrector de insolación y de pendiente. Los resultados obtenidos cruzando ambos mapas confirman el acierto del modelo matemático de susceptibilidad a un incendio (Figura 8). El 77% de la superficie quemada entre los años 1991 y 2001 se encuentra en las clases de peligrosidad muy alta o alta (52% y 25%, respectivamente) y tan sólo un 11% en las clases baja o muy baja. Hay que tener en cuenta que el modelo está fundamentado sólo en factores naturales y no se ha incorporado el factor humano. Basándose en ello se ha creado un mapa de las zonas probables de intencionalidad en los incendios forestales. Del mapa de áreas quemadas se han extraído las zonas con incendios en clase baja o muy baja, las zonas repetitivas, y finalmente con el mayor grado de posibilidad, las zonas repetitivas que caen en la clase baja o muy baja.

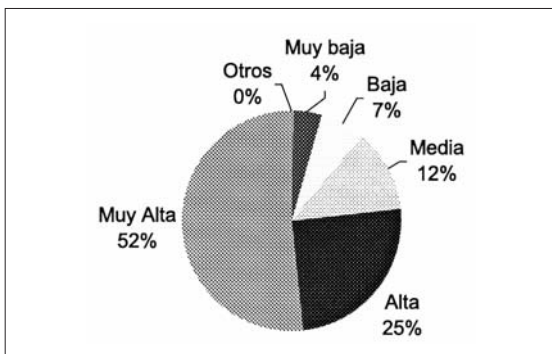


Figura 8. Superficie quemada respecto a la peligrosidad.

El mapa de **riesgo de incendios forestales** integra todos los factores mencionados: riesgo de erosión, valor natural, valor económico y peligrosidad. Se ha determinado que el riesgo frente a los incendios se intensifica con el aumento de la probabilidad de que el daño sufrido sea irreversible. Las pérdidas de valores naturales se contemplan como las de mayor riesgo, debido a su largo plazo de regeneración. Las quemas detectadas se encuentran mayoritariamente en la clase alta, con un 36%, y muy alta, con un 33% (Figura 9).

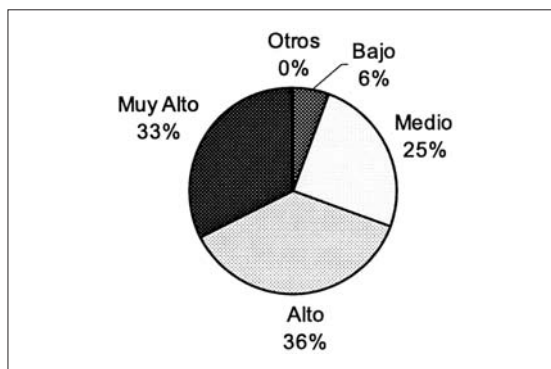


Figura 9. Superficie quemada respecto al riesgo de incendios forestales.

## CONCLUSIONES

El método permite la localización y delimitación de las áreas quemadas en Asturias con un alto nivel de precisión, aunque pueden producirse confusiones en zonas donde la vegetación haya sido destruida por otro motivos, como por ejemplo las zonas segadas o taladas.

La fiabilidad del método depende de los intervalos temporales entre las imágenes ya que, cuando el tiempo es excesivo, la vegetación puede haberse regenerado.

Con este método no pueden ser cartografiadas las zonas que aparecen quemadas en dos imágenes consecutivas, ya que en la imagen diferencia aparecen como zonas sin cambio.

Otras limitaciones del método son el ocultamiento topográfico y la presencia de nubes.

No se conoce hasta dónde llega la mínima superficie quemada cartografiada a la que podemos dar fiabilidad, pues la validación del método se ha realizado con incendios de gran tamaño, ya que sólo dos casos fueron menores de 20 ha. Basándonos en



el más pequeño de estos dos casos, la superficie mínima fiable ha sido estimada en 10 ha.

La utilización de largas series temporales sirve para detectar los incendios repetidos, cuya causa probable es la intencionalidad.

La aplicación de métodos SIG permite una rápida valoración de los daños producidos en las zonas quemadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, M. Á., JIMÉNEZ-ALFARO, B., DÍAZ, C., RODRÍGUEZ, D., LOBO, T., FERNÁNDEZ, J.F., MARTÍNEZ, E., FERNÁNDEZ, J. A., COLUBI, A., 2001. *Análisis del modelo de gestión de los incendios forestales en Asturias*. INDUROT.
- BUKATA, R. P., BRUTON, J. E. and JEROME, J. H. 1983. Use of chromaticity in remote measurements of water quality. *Remote Sensing of Environment*. 13: 161-177.
- CONSEJERÍA DE MEDIO RURAL Y PESCA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS, 1999. *Producto Neto de la Agricultura Asturiana 1999*. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.
- DÍAZ-DELGADO, R., PONS, X. 2001: Análisis comparativo de diferentes cartografías de incendios forestales. *IX Congreso Nacional de Teledetección. Teledetección: Medio ambiente y cambio global*. Editores: Rosell, J. I. y Martínez-Casasnovas, J. A., pp. 248-252.
- MARQUÍNEZ, J., MENÉNDEZ, R., JIMÉNEZ-ALFARO, B., GARCÍA, P., ÁLVAREZ, M.,A., FERNÁNDEZ, S., GONZÁLEZ, J. 2001. *Riesgos naturales en el Principado de Asturias-Incendios forestales*. INDUROT.
- PALÁ, V., PONS, X. 1995. Incorporation of relief into geometric corrections based on polynomial. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 61 (7): 935-944.
- RECONDO GONZÁLEZ, C., MENÉNDEZ GARRIDO C., GARCÍA MANTECA, P., GONZÁLEZ MORADAS, R. Y SÁEZ GARCÍA, E. 2000. Estudio de las zonas propensas a sufrir deslizamientos en los Concejos de Oviedo y Mieres (Asturias) a partir de una imagen Landsat-TM y de un Modelo Digital de Elevaciones. *Revista de Teledetección*. 14: 49-59.
- RECONDO GONZÁLEZ, C., MÉNDEZ MORENO, A., GARCÍA MANTECA, P., GONZÁLEZ MORADAS, R. y SÁEZ GARCÍA, E. 2001a: Un método sencillo para la corrección topográfica de imágenes de satélite. Aplicación a imágenes Landsat-TM de los Concejos de Mieres y San Martín del Rey Aurelio (Asturias) para obtener mapas de vegetación. *Mapping*. 67: 24-33.
- RECONDO GONZÁLEZ, C., GARCÍA RODRÍGUEZ, L., ADRADOS GONZÁLEZ, L., GARCÍA MANTECA, P. 2001b: Mejores métodos de detección de zonas quemadas en Asturias a partir del análisis multitemporal de imágenes Landsat-TM. *Mapping*. 71: 6-16.

# NOTICIAS

La revista de Teledetección insertará figuras EN COLOR, acompañando los textos de los artículos seleccionados.

Mediante esta decisión, se vuelve a recuperar uno de los objetivos iniciales de la revista. Parecía una necesidad obvia incluir los resultados gráficos en color para alcanzar mayor calidad de este instrumento de comunicación entre los miembros de la comunidad científica española que trabaja en Teledetección.

Por tanto, desde estas páginas se anima de nuevo a todos aquellos profesionales involucrados en estudios científicos o técnicos de Teledetección a que envíen sus trabajos a la revista, considerando esta nueva posibilidad.

Seguimos trabajando en la mejora de calidad de la revista. Serán bienvenidas todas aquellas sugerencias que permitan alcanzar ese objetivo.

---