

Análisis de áreas incendiadas y cartografiadas del índice de sensibilidad a los incendios en zonas montañosas a partir de imágenes del dominio óptico

María Teresa Camacho Olmedo

Dpto. de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física
Universidad de Granada

RESUMEN

A partir de imágenes SPOT XS y LANDSAT TM de varias fechas, se propone una metodología adaptada a áreas de montaña para determinar el límite y extensión de los incendios, las formaciones afectadas y la regeneración de la vegetación. En último lugar se presenta una cartografía del grado de sensibilidad a los incendios de las formaciones vegetales del área de estudio, como factor indicativo a tener en cuenta en los modelos de prevención.

ABSTRACT

Using SPOT XS and Landsat TM multirate images, an appropriate methodology was proposed for determining the limits and sizes of burnt zones as well as the nature of the plant formations involved and their regeneration. Finally a map shows off sensitiveness to fire of vegetal formations as indicator in account to an integration in preventionnal modelling.

Presentación

El fuego pastoral se ha convertido hoy día en los Pirineos franceses en una práctica de ordenación del espacio rural-pastoral (Buffière et al., 1992). En concreto, la Société d'élevage del Departamento de los Pirineos Orientales (Languedoc-Rousillon), la O.N.F. (Office Nationale des Forêts) y las autoridades locales llevan a cabo una campaña dirigida de fuegos pastorales en los meses de noviembre a marzo, en la que intervienen los ganaderos (Lambert y Parmain, 1990). Las áreas incluidas en esta acción son las laderas medias, entre 700 y 1.200 m. de altitud, donde se desarrolla una cobertura herbácea y arbustiva altamente inflamable. La quema regular en invierno permite atenuar los riesgos de incendios estivales, mejorando a la vez la calidad de los pastos. El objetivo es, por lo tanto, limitar los fuegos clandestinos, que originan numerosos incendios, pasando de una actitud represiva a una política de dirección de la mano de equipos de especialistas.

En este contexto se explica la necesidad de conocer las aportaciones de la teledetección para la configuración de una base de datos espacial que aúna la información

referente a áreas afectadas, así como los parámetros necesarios para la elaboración de modelos de riesgo. En concreto, el presente trabajo se centra en el desarrollo de una metodología para el análisis de áreas incendiadas, en zonas de montaña, mediante imágenes del dominio óptico.

Objetivos

- Precisar los límites y extensión de los incendios acaecidos en el Macizo de Madres entre 1982 y 1992.
- Realizar un análisis multitemporal para la determinación de las formaciones vegetales afectadas en los incendios y el estudio de su regeneración.
- Obtener una cartografía del grado de sensibilidad a los incendios.

Metodología

El Macizo de Madres

El Macizo de Madres forma parte de los Pirineos Orientales franceses (Región de Languedoc-Rousillon), caracterizados por un estado de transición entre el mundo europeo (templado oceánico) y el mundo mediterráneo. Alcanzando los 2.469 m. de altitud, este macizo se separa del de Canigou, al Sur, por el valle del Têt, que circula desde las cumbres de la Cerdaña francesa hasta su desembocadura en la llanura de Perpignan. La zona de estudio se encuentra en pleno corazón del Rousillon, concretamente en el Conflent, región montañosa situada en las estribaciones nororientales de los Pirineos. En concreto, la imagen de trabajo extraída de las escenas SPOT y LANDSAT corresponde a las cumbres de Madres y a sus laderas orientales (Monte Coronat), caracterizadas por una orientación NW-SE y por la presencia de amplias áreas en solana (Marcel et al., 1982).

Imágenes de trabajo y tratamientos básicos

Las imágenes LANDSAT TM corresponden a 1984 y 1990, mientras la imagen SPOT XS data de 1987. Esto permite un estudio de la evolución de la vegetación en seis años. Sin embargo, al no existir una coincidencia en las fechas a lo largo del año (28 de julio, 7 de septiembre y 13 de julio) es preciso matizar las conclusiones extraídas del estudio evolutivo en función del ciclo fenológico.

La imagen de trabajo correspondiente al Macizo de Madres ha sido extraída en las tres escenas. Para el estudio multitemporal se han unificado las resoluciones espaciales en 20 metros y se han realizado las correcciones geométricas necesarias para su superposición, tomando como imagen de referencia la imagen SPOT XS (corrección de tipo bicúbica, de grado 1).

Detección de zonas incendiadas (límites y extensión)

Podría decirse que cualquier área incendiada recientemente presenta unos valores muy bajos en el visible e infrarrojo cercano (Girard y Girard, 1989). Esto es así puesto que el material quemado produce un descenso del albedo y un aumento de la absorción. Una composición a color clásica de los canales verde, rojo e infrarrojo cercano mostrará estas áreas en tonalidades negras. La respuesta espectral provoca una fuerte confusión con el agua, las zonas en sombra, y, en algunos casos, ciertas coníferas. Sin embargo, las zonas incendiadas muestran una textura muy homogénea que puede matizar la confusión citada.

Por otro lado, algunos autores han demostrado que la vegetación quemada presenta respuestas más elevadas en el visible y más bajas en el infrarrojo cercano (Arbiol, 1987), al igual que ocurre en el caso de la vegetación enferma, dada la reducción de los pigmentos de la hoja.

Transcurrido un cierto período de tiempo (muy variable en el espacio y según el ciclo fenológico), la respuesta espectral disminuye en el canal rojo y aumenta en el infrarrojo cercano progresivamente, observándose un cambio hacia tonalidades azules y verdes en la composición a color citada, que equivaldría a áreas desnudas o débilmente cubiertas. Nos encontraríamos, pues, en una situación límite para la detección precisa de una zona incendiada.

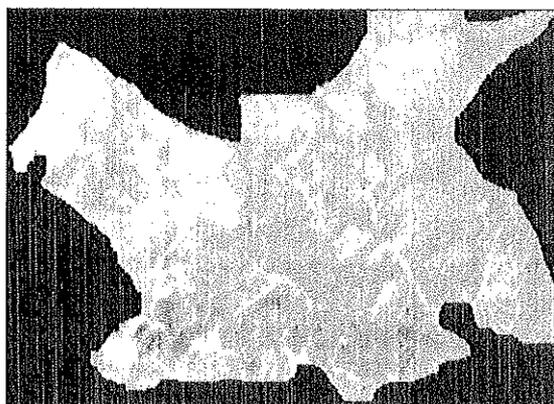
Los diferentes métodos aplicados para la discriminación de áreas incendiadas consisten en el análisis visual, tras la mejora de la imagen (Lavenu, 1982; Traore, 1987; Dagorne, 1990), y/o los tratamientos digitales, como la clasificación (automática o supervisada, Husson 1980; partición del histograma bidimensional, Traore 1987), la máscara radiométrica (a partir de un solo canal, Dagorne 1990, o varios canales, Lavenu 1982) o la máscara gráfica (mejora de la imagen y delimitación visual, Chuvieco y Congalton, 1988), utilizando para ello bien los canales brutos, especialmente el canal rojo e infrarrojo cercano, o ratios y bandas artificiales, como el Índice de Vegetación o el Análisis en Componentes Principales.

En el caso que nos ocupa existe una diferencia mínima de cuatro o cinco meses entre los incendios y las imágenes, aunque una gran parte data de más de un año. Entre enero o febrero, meses en los que se practica el fuego dirigido, y la fecha de adquisición de la imagen (julio o septiembre) la cobertura herbácea se ha reinstalado. Este hecho supone que una composición clásica de los canales brutos no permite una buena delimitación de las áreas afectadas. Por ello se ha aplicado un *Índice de Vegetación normalizado*, que permite discriminar con nitidez la zonas incendiadas, caracterizadas por valores muy bajos.

Sin embargo, existen limitaciones en los casos de incendios más antiguos o en aquellos donde la vegetación se ha regenerado más rápidamente. De los incendios inventariados por la Société d'élevage de los Pirineos Orientales, no ha sido posible delimitar aquellos acaecidos antes de 1982, es decir, de más de dos años de desfase con respecto a la imagen. La mayor parte de los incendios producidos un año o dos antes de la toma de la imagen han sido delimitados. Sin embargo aquellos situados en las áreas más húmedas del macizo (cumbres o umbrías), en donde la actividad vegetativa es más intensa, quedan ocultas con respecto a su entorno.

Otra limitación está ligada a la extensión de la superficie afectada por el incendio y a la intensidad del mismo. En el caso de parcelas homogéneas y de poca extensión los límites son nítidos. Sin embargo las grandes parcelas o las zonas afectadas por un fuego espontáneo de intensidad variable muestran diferentes respuestas. En estas ocasiones ha sido necesario adaptar los límites extraídos de la imagen y los límites de la cartografía recogida por la Société d'élevage.

En total, de 20 incendios registrados de 1982 a 1990, han sido detectados 14 a partir de las imágenes. Para la determinación de los límites y extensión de los incendios se ha optado por el método de la *máscara gráfica*, que combina el tratamiento digital y la interpretación visual. De esta manera se supera el problema de la confusión espectral con respecto a zonas de agua, sombras o suelos desnudos. A partir del Índice de Vegetación de cada fecha, sometido a una adaptación de la dinámica para mejorar el contraste visual, se ha delimitado cada uno de los incendios con un cursor gráfico, constituyéndose a continuación la máscara del área afectada (imagen nº 1) y obteniéndose automáticamente la extensión de la misma en hectáreas (cuadro nº 1).



P. Límites del área afectada por el incendio de 1986 en Urbanya y Conat.
Índice de Vegetación de 1987. (A. 37)

Análisis de áreas incendiadas y cartografiadas del índice de sensibilidad a los incendios en zonas montañosas a partir de imágenes del dominio óptico

Fecha	Municipio	Superficie (Ha)
1982	Olette	30'40
1983	Nohedes	75'84
1986	Caudies	79
1986	Urbanya, Conat	1156'20
1989	Molítg	13'2
1989	Jujols	28'60
1989	Sansa	100'12
1989	Oreilla	124'08
1989	Olette	12'24
1989	Olette	30'08
1990	Olette	27'68
1990	Sansa	58'48
1990	Urbanya	14'20
1990	Urbanya	5'32

Cuadro nº 1
Incendios detectados en el Macizo de Madres entre 1982 y 1990

Método mixto de multipartición de los histogramas y clasificación supervisada para el análisis multitemporal

El estudio multitemporal no ha perseguido la clasificación de la imagen en unidades informacionales de vegetación o usos del suelo. Puesto que lo que se pretende es la constatación y comparación de las formaciones afectadas por el fuego y de las formaciones que se regeneran, resulta más apropiado obtener una leyenda de unidades espectrales que representen una gradación de la actividad vegetal y que ofrezcan asimismo la información sobre la estructura vegetal necesaria para evaluar la sensibilidad al fuego de la vegetación.

Partiendo de esta premisa, se ha optado por el *Índice de Vegetación Normalizado*, que muestra una fuerte correlación con la actividad fotosintética. Además, este índice elimina casi totalmente las sombras topográficas presentes en las imágenes brutas, dado el carácter montañoso de la zona de estudio, actuando como un adecuado sustituto de los modelos de corrección radiométrica. Para discriminar las zonas desnudas y las zonas poco cubiertas, de gran interés para el estudio de las parcelas incendiadas, y ante la imposibilidad de utilizar el Índice de Brillo por la presencia de sombras, se ha empleado el canal 2 del *Análisis en Componentes Principales*, que, en este caso, ofrece una información equivalente.

Para la consecución de los objetivos propuestos se ha adoptado un *método mixto de multipartición de los histogramas y clasificación supervisada*. Consiste en determinar las parcelas de entrenamiento y las clases para la clasificación digital a partir de una gradación en el histograma, y no exclusivamente a partir de su identificación. Así, se ha configurado un único fichero de aprendizaje, compuesto por aquellas parcelas que no han sufrido modificaciones relevantes en las tres fechas, lo que permite una comparación fiable en las clasificaciones. De esta manera, las clases forman unidades heterogéneas en la realidad, siendo el punto de enlace la respuesta espectral y adaptándose a los índices para el cálculo de la sensibilidad al fuego de la vegetación. Con ello se superan los problemas que presentan por separado la clasificación supervisada clásica, en este caso agravada por el ciclo fenológico y la diversidad de formaciones vegetales existentes, y la multipartición del histograma, que si bien ofrece resultados adecuados para una única imagen, adolece de un alto grado de imprecisión cuando se trata de un estudio multitemporal.

Las clases definidas en la leyenda son las siguientes:

- C1 - Suelos desnudos
- C2 - Pastizal y matorral poco denso
- C3 - Matorral denso
- C4 - Pinares y encinares
- C5 - Bosque de hayas y de robles y vegetación de ribera

Una clasificación de tipo baricéntrica ha sido realizada de manera independiente para cada fecha, empleándose el Índice de Vegetación y el canal ACP2. Su combinación ofrece, al igual que en la matriz de confusión, un resultado mucho más fiable que la utilización separada de cada canal o que los propios canales brutos. Las imágenes clasificadas han sido posteriormente sometidas a un filtro de mejora (sustitución por la clase mayoritaria, grado 2), que permite eliminar los píxels aislados. Esta función resulta muy adecuada puesto que contribuye a la homogeneización de la imagen clasificada, atenuando los límites que presentan las clasificaciones digitales "píxel por píxel".

Finalmente, las máscaras gráficas correspondientes a cada uno de los incendios detectados a partir de los Índices de Vegetación han sido aplicadas a las tres clasificaciones para el análisis multitemporal (imagen nº 2).

Cartografía del índice de sensibilidad a los incendios

Se entiende por sensibilidad a los incendios el riesgo de inflamabilidad de las formaciones vegetales, que depende de la composición florística, la estructura, la biomasa y el estado de los componentes de cada formación (Kientz y Lenco, 1992). El

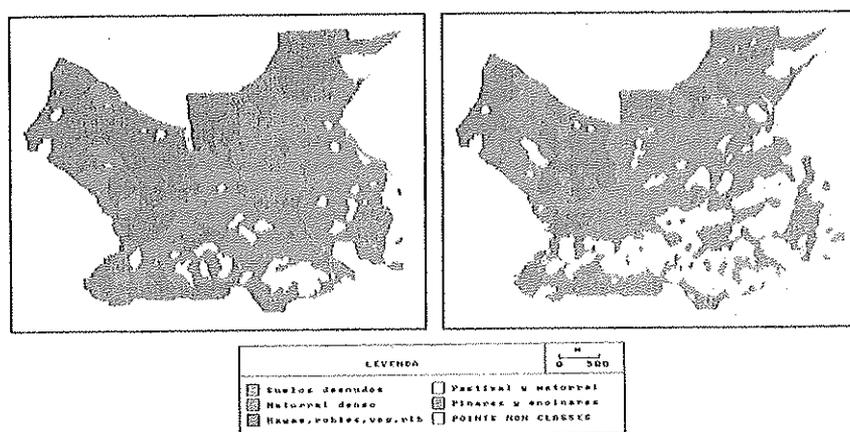


Imagen nº 2
Evolución de las formaciones vegetales de 1984 a 1990
(incendio de Urbanya y Conat, 1986). (A. 38)

"Índice de sensibilidad al fuego" (Trabaud, 1980) recoge estos factores en la fórmula siguiente:

$$I_s = \sum (2i + 2j + K + I)$$

i: "índice de susceptibilidad" al fuego de las formaciones vegetales (varía de 1 a 10) (cuadro nº 2)

j, K, I: "índices de inflamabilidad" de las tres especies dominantes (varía de 1 a 10)

Para cada una de las clases definidas en la leyenda se ha obtenido el índice de sensibilidad al fuego, combinando en la fórmula el índice de susceptibilidad de cada formación vegetal y el índice de inflamabilidad de las especies dominantes. Estas últimas han sido extrapoladas de estudios realizados en otras zonas del Pirineo Oriental o mediterráneas (Kientz y Lenco, 1992; Galtie y Trabaud, 1993).

A continuación se han fijado los intervalos para la valoración del índice de sensibilidad, siendo mayor el riesgo en las cifras más elevadas y menor en las cifras más bajas (cuadro nº 3). A partir de la imagen clasificada de 1990, se ha definido la nueva escala de valores en la leyenda y se han obtenido las cifras sobre la superficie en hectáreas y el grado de ocupación de cada intervalo para el conjunto de la zona de estudio (cuadro nº 4) (imagen nº 3).¹

FORMACIÓN VEGETAL	ÍNDICE
	i
Zona desnuda	1
Arbolado poco denso	2
Arbolado denso	3
Matorral	4
Arbolado y matorral	5
Formación herbácea	6
Arbolado y f. herbácea	7
Arbolado muy disperso	8
Matorral y f. herbácea	9
Arbolado y matorral con f. herbácea	10

Cuadro nº 2
Índice de susceptibilidad al fuego de las formaciones vegetales
(Trabaud, 1980; términos adaptados y traducidos)

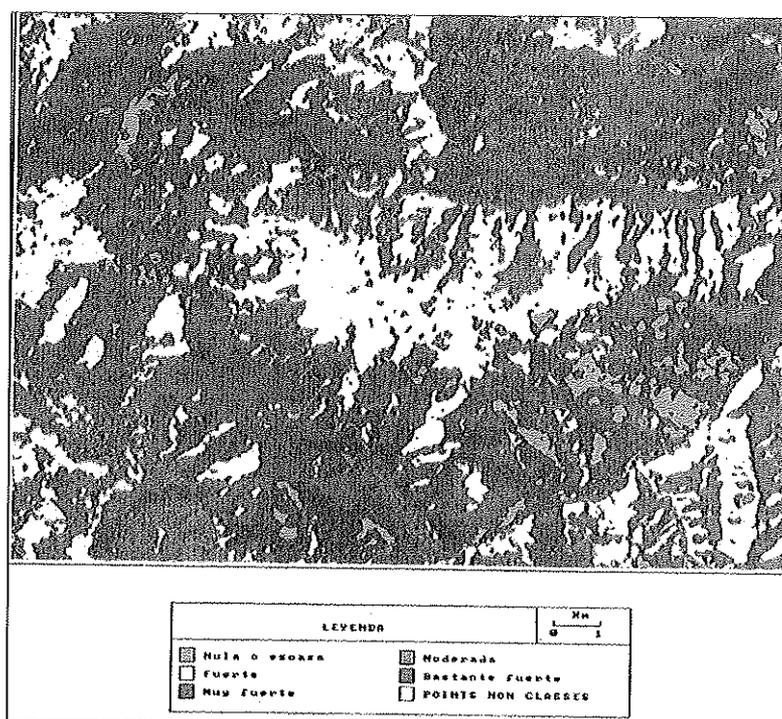


Imagen nº 3
Cartografía de la sensibilidad de los incendios en el Macizo de Madres (1990). (A. 39)

Análisis de áreas incendiadas y cartografiadas del índice de sensibilidad a los incendios en zonas montañosas a partir de imágenes del dominio óptico

C	Clase	Tipo de Formación vegetal	Índice de susceptibilidad	Especies dominantes e Índice de inflamabilidad	Índice de sensibilidad
1	Suelos desnudos	Zona desnuda	1	-	$Is = (2 \cdot 1) = 2$
2	Pastizal y matorral poco denso	Matorral y f. herbácea	9	Calluna vulgaris (8) Brachypodium ramosum (9) Cytisus purgans (8)	$Is = (2 \cdot 9) + (2 \cdot 8) + 9 + 8 = 51$
3	Matorral denso	Matorral	4	Cytisus purgans (8) Cistus monspeliensis (8) Cistus albidus (5)	$Is = (2 \cdot 4) + (2 \cdot 8) + 8 + 5 = 37$
4	Pinares y encinares	Arbolado y matorral	5	Pinus sylvestris (6) Pinus uncinata (6) Quercus ilex (6)	$Is = (2 \cdot 5) + (2 \cdot 6) + 6 + 6 = 34$
5	Bosques de hayas y de robles y veg. de ribera	Arbolado denso	3	Fagus sylvatica (2) Quercus pubescens (4) Corylus avellana (4)	$Is = (2 \cdot 3) + (2 \cdot 2) + 4 + 4 = 18$

Cuadro nº 3
Índice de sensibilidad al fuego de las formaciones vegetales clasificadas en el Macizo de Madres

Valoración de la sensibilidad	Índice de sensibilidad	Superficie (Ha)	Ocupación %
Nula o escasa	0 - 5	656'4	3'23
Moderada	6 - 20	2584'0	12'71
Fuerte	21 - 35	5001'4	24'59
Bastante fuerte	36 - 50	7664'1	37'68
Muy fuerte	> 51	4428'2	21'77
(*)	(*)	3'3	0'02
		20337'4	100'00

(*) Pixels no clasificados

Cuadro nº 4
Distribución de la superficie del Macizo de Madres según la valoración de la sensibilidad al fuego

Interpretación de los resultados

Límites y extensión de los incendios detectados entre 1982 y 1992

Son numerosos los obstáculos que se presentan para la detección precisa de las áreas afectadas. En el cálculo de la superficie existe un grado de error (Husson,

1980) ligado bien a la resolución espacial de las imágenes, a los efectos del relieve (presencia de sombras o pendientes), al tiempo transcurrido entre el fuego y la toma de la imagen, o bien, por ejemplo, al hecho de que la imagen no capta las áreas que sólo han sido afectadas en las comunidades del sotobosque. Por ello hay que guardar cierta precaución respecto a la precisión de los resultados.

Aun así, la cartografía obtenida a partir de las imágenes de satélite coincide en términos generales con la cartografía analógica de la Société d'élevage. A pesar de que en algunos casos ha sido necesario adaptarse a los límites recogidos por este organismo (por ejemplo en las áreas débilmente afectadas), en la mayor parte las imágenes permiten una mayor precisión tanto en los límites como en el cálculo de la superficie.

Es de destacar el gran incendio acaecido en agosto de 1986 en los términos de Urbanya y Conat, que afectó a más de 1100 ha. La campaña oficial de fuegos dirigidos comenzó en el Pirineo Oriental en 1986 y se muestra particularmente activa en los años 89 y 90, en los que se quemaron parcelas de extensión variable (de 5 a 125 ha.). Sin embargo antes de esta fecha las laderas del macizo son habitualmente incendiadas por los ganaderos con las mismas prácticas (Olette en 1982 o Nohedes en 1983) afectando a áreas de 30 a 75 ha.

Formaciones vegetales afectadas por los incendios

El cuadro nº 5 recoge la extensión en hectáreas de las diferentes clases de formaciones vegetales afectadas en las parcelas incendiadas. Las fechas de las imágenes utilizadas impiden analizar este factor en los casos acaecidos entre 1982 y 1984. Se recogen los datos de la clasificación de 1984 para los incendios de 1986 y la clasificación de 1987 para los incendios de 1989 y 1990.

Se constata la diferencia entre las parcelas de 1986, de origen espontáneo, en las que el fuego ha afectado tanto a las comunidades herbáceas y arbustivas como a las formaciones arbóreas (hayas, encinas o pinares), y las parcelas de 1989 y 1990, de fuego dirigido, mayoritariamente formadas por pastos y matorral.

Regeneración de la vegetación

El cuadro nº 6 muestra la distribución por clases de formaciones vegetales de las áreas afectadas por los incendios de 1982 y 1983. Puesto que sólo algunos meses bastan para la regeneración de una cobertura herbácea, y ante la falta de imágenes previas al incendio, se comparan los datos de 1984 y 1987. Por otra parte, al tratarse de incendios espontáneos o practicados voluntariamente por los ganaderos, las unidades son heterogéneas con respecto a la composición vegetal afectada y a la intensidad del fuego.

Análisis de áreas incendiadas y cartografiadas del índice de sensibilidad a los incendios en zonas montañosas a partir de imágenes del dominio óptico

Fecha	Municipio	Superficie (Ha)	C1 (*)	C2	C3	C4	C5
1986	Caudies	79	16'44	10'28	16'92	29'64	5'72
1986	Urbanya	1156'20	4'88	119'48	482'68	348'32	200'84
	Conat						
1989	Molitg	13'20	0'04	9'84	3'28	0'04	0'00
1989	Jujols	28'60	0'04	27'12	1'44	0'00	0'00
1989	Sansa	100'12	0'00	46'92	46'08	7'08	0'04
1989	Oreilla	124'08	0'00	69'32	54'68	0'08	0'00
1989	Olette	12'24	0'00	10'08	1'96	0'20	0'00
1989	Olette	30'08	0'0	6'32	23'28	0'48	0'00
1990	Olette	27'68	0'00	9'44	17'48	0'76	0'00
1990	Sansa	58'48	0'24	12'32	40'44	5'48	0'00
1990	Urbanya	14'2	0'00	0'00	4'12	6'52	3'56
1990	Urbanya	5'32	0'00	5'00	4'28	0'04	0'00

(*) Leyenda recogida en el Cuadro nº 3

Cuadro nº 5

Distribución por clases de formaciones vegetales de la superficie afectada por los incendios de 1986, 1989 y 1990

Fecha	Municipio	Superficie (Ha)	C1 ^(a) 1984	C2 1984	C3 1984	C4 1984	C5 1987	C1 1987	C2 1987	C3 1987	C4 1987	C5 1987
1982	Olette	30'40	0'00	25'72	4'68	0'00	0'00	0'00	14'52	15	0'84	0'04
1983	Nohedes	75'84	0'00	16'96	55'84	3'04	0'00	0'00	21'04	47'24	7'48	0'08

(*) Leyenda recogida en el Cuadro nº 3

Cuadro nº 6

Distribución por clases de formaciones vegetales en 1984 y 1987 de la superficie regenerada tras los incendios de 1982 y 1983

Al existir un desfase temporal de uno a dos años entre el incendio y la imagen, las zonas desnudas son prácticamente inexistentes. Se constata una sustitución de las formaciones herbáceas por las arbustivas en el caso del fuego de 1982 de Olette. En general las formaciones arbóreas aumentan levemente su superficie en tres años, no tanto por el crecimiento de nuevos individuos como por la recuperación de los individuos afectados. Sin embargo no es posible conocer la superficie que ocupan antes del incendio.

Fecha	Municipio	Superficie	C1 ^(*)	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
	(Ha)	1984	1984	1984	1984	1984	1990	1990	1990	1990	1990	1990
1986	Caudies	79	16'44	10'28	16'92	29'64	5'72	0'00	15'12	49	12'68	2'2
1986	Urbanya-Conat	1156'20	4'88	119'48	482'68	348'32	200'84	18'64	294'28	627'36	35'92	179

(*) Leyenda recogida en el Cuadro nº 3

Cuadro nº 7

Distribución por clases de formaciones vegetales en 1984 y 1990 de la superficie afectada por los incendios de 1986

El cuadro nº 7 recoge la distribución por clases de formaciones vegetales en 1984 y 1990 de las parcelas afectadas por los incendios de 1986. De esta manera puede analizarse la regeneración de la vegetación cuatro años después del incendio con respecto a las comunidades preexistentes.

En el área de Urbanya y Conat (imagen nº 2) existe un aumento de las zonas desnudas, en parte debido al incendio de 1990 que afectó a 5'32 ha. Las comunidades arbóreas de las riberas y los bosques de robles se vieron parcialmente afectados por el incendio, de ahí la superficie de 200 ha. en 1984 y de 179 ha. en 1990. Sin embargo, las 348'32 ha. de encinar y matorral denso existentes antes del fuego disminuyen a 35'92 ha. en 1990, siendo sustituidas por matorrales, que en conjunto aumentan en 144'68 ha. o por comunidades de pastizal (aumento de 174'8 ha.).

En el caso del incendio de Caudies, las formaciones arbóreas se vieron muy afectadas por el incendio, existiendo una escasa regeneración en 1990: sólo 2'2 ha. de vegetación de ribera de las 5'72 ha. existentes en 1984, y 12'68 ha. de pinar de las 29'64 ha. de 1984. En contrapartida existe un aumento de la superficie de pastizales (de 10'28 a 15'12 ha.) y de matorral denso (de 16'92 ha. a 49 ha.).

Grado de sensibilidad a los incendios en el Macizo de Madres

La cartografía de la sensibilidad al fuego (imagen nº 3) no constituye un mapa de riesgo en sentido estricto. Para ello sería necesario incorporar el índice de comportamiento ante el fuego (Galtí y Trabaud, 1993), que indica el estado de combustibilidad de la vegetación y que permite una predicción del desarrollo y extensión del frente. Aun así, el mapa de sensibilidad ofrece una valiosa información sobre la aptitud de la vegetación a incendiarse y, en consecuencia, sobre la dinámica inicial de un incendio.

En el Macizo de Madres sólo el 3'23% de la superficie, correspondiente a suelos desnudos, presenta una sensibilidad nula o escasa. El 84'04% muestra valores de sen-

sibilidad fuerte o muy fuerte. Se trata de las formaciones de pinares y encinares, en donde se ha desarrollado un sotobosque, y las comunidades de matorral y pastizales. El 12'71% restante se encuentra en una situación moderada, y corresponde a los bosques densos de hayas y robles.

Conclusión

En el presente trabajo se ha empleado una metodología adaptada a las áreas de montaña, eliminando la presencia de sombras topográficas a partir de nuevos canales, para el análisis de áreas incendiadas. Las imágenes del dominio óptico ofrecen resultados rápidos y fiables sobre la diagnosis de los incendios, aunque existen límites inherentes a la propia fuente, como es el caso de la resolución espacial. Por otra parte, la información referente a la actividad vegetal permite la obtención de una cartografía de la sensibilidad al fuego.

De esta manera se confirma la necesidad de crear en el área de estudio una base de datos espacial a partir de imágenes de satélite, integrada en un Sistema de Información Geográfica (Dagorne, 1992), que permita centralizar la información referente a áreas incendiadas, su evolución y el desarrollo de modelos de riesgo (Chuvieco y Congalton, 1989), como documentos de base en la campaña de fuegos dirigidos tendentes a la recuperación de pastos y a la protección de áreas forestales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el Laboratorio CIMA (Centre Interdisciplinaire de recherche sur les milieux naturels et l'aménagement rural) URA 366 CNRS de la Universidad de Toulouse Le Mirail, bajo la financiación de una Beca M.R.T. de la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia. Agradecemos a ambos organismos la ayuda recibida para la consecución de nuestros objetivos.

Bibliografía

- Arbiol, R., Romeu, J. y Vinas, O.: 1987. Detecció i evaluació de les superfícies forestals cremades durant l'any 1984 a Catalunya, mitjan cant tècniques de Teledetecció. *Revista Catalana de Geografia*, 2 (4), pp. 21-46.
- Buffiere, D. et al.: 1992. Des ecobuages aux feux dirigés dans les Pyrénées Centrales et Occidentales. En *Colloque "Le Feu: avant, après"*. Niza.
- Chuvieco, E. y Congalton, R.: 1988. Mapping and Inventory of Forest Fires from Digital Processing of TM Data. *Geocarto International* (4).
- Chuvieco, E. y Congalton, R.: 1989. Application of remote sensing and geographic information system to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of Environment* nº 29.

- Dagorne, A. et al.:** 1990. L'utilisation de la télédétection aérospatiale en mode multi-satellites, multi-capteurs et multi-dates pour l'étude de la reprise de la végétation après incendie. *Photo-interprétation* n° 5, pp. 45-51.
- Dagorne, A.:** 1992. Système d'information géographique, télédétection aérospatiale et gestion des espaces sensibles aux feux et/ou parcourus par eux.. ou l'utilisation de la cartographie. *Revue d'Analyse Spatiale, Quantitative et Appliquée* n° 32. Niza.
- Galtié, J.F. y Trabaud, L.:** 1993. Evaluation des risques d'incendies dans une zone sensible: les Aspres (Pyrénées Orientales). *Revue Géographique des Pyrénées et Sud-Ouest*, t. 63, Fasc 1, pp. 33-51. Toulouse.
- Girard, M.C. y Girard, C.M.:** 1989. Télédétection appliquée. *Zones tempérées et intertropicales*. Collection Sciences Agronomiques. Masson, Paris.
- Husson, A.:** 1980. Télédétection des incendies de forêt en région méditerranéenne. *Cahiers de l'OPIT* 3, pp. 17-28.
- Kient, B. y Lenco, M.:** 1992. Etude par télédétection de la simulation du déroulement du feu de forêt du Massif de Sainte-Victoire. *Bul Société Française de Photogramétrie et Télédétection*, n° 126, pp. 29-42.
- Lambert, B. y Parmain, V.:** 1990. Les brûlages dirigés dans les Pyrénées-Orientales. *Revue Forestière Française XLII*, pp. 140-155.
- Lavenu, F.:** 1982. *Télédétection des feux de savannes dans le Parc National de la Comoe (Côte d'Ivoire)*. Memoria CETEL. GDTA, Toulouse.
- Marcel, J.F., Pons, D. y Baudière, A.:** 1982. La Massif du Madrès (Pyrénées-Orientales) et son intérêt biogéographique. *Biologie-Écologie méditerranéenne*, Tomo IX, n° 2-3, pp. 127-138.
- Trabaud, L.:** 1980. *Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la simulation et l'évolution de la végétation des zones de garrigues du bas Languedoc*. Tesis Doctoral. USTL Montpellier.
- Traore, F.L.:** 1987. *Essai de cartographie des feux de brousse à partir des données SPOT. Application: FOUTAH-DJALON-Guinée*. Memoria CETEL. GDTA, Toulouse.