

## ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS DE CARTOGRAFÍA DE INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE TELEDETECCIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL.

Y. Ortega (\*), A. Calle (\*), F. González-Alonso (\*\*) y J.A. Delgado (\*)

[yolandaortega2002@yahoo.es](mailto:yolandaortega2002@yahoo.es)

(\*) Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid. LATUV. 47071-Valladolid  
(\*\*) Laboratorio de Teledetección. Centro de Investigación Forestal. INIA. Crta de la Coruña km 7.  
28040-Madrid

### RESUMEN

En este trabajo se analizan y comparan las distintas técnicas empleadas actualmente para la cartografía de zonas incendiadas. Las técnicas analizadas son el Análisis de Componentes Principales, la Transformación de Kauth-Thomas, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y la Clasificación no supervisada. Además de cuantificar y valorar la superficie afectada en función de los diferentes métodos, se pretende determinar los tipos de superficie afectados que presentan una mayor dificultad para ser identificadas como zonas incendiadas así como valorar la influencia de la pendiente del terreno y de la exposición solar sobre las técnicas estudiadas. El estudio se fundamenta en la información multispectral proporcionada por una imagen post-incendio Landsat 7-ETM+ de septiembre de 2000. Los resultados obtenidos indican que las cubiertas vegetales "Landas y matorral oceánico", "Pastizales supraforestales" y "Otros pastizales" se identifican con mayor dificultad como zonas incendiadas. Los porcentajes de pendiente que provocan las mayores discrepancias oscilan entre el 11 y el 22% de pendiente. El intervalo de exposición solar que más influye en la detección de zonas incendiadas es el correspondiente al 51-60% de insolación.

### ABSTRACT

This work compares different techniques used to map areas burned by a large fire. The analyzed techniques are as follow: Principal Components Analysis, Kauth-Thomas Transform, Normalized Difference Vegetation Index and Unsupervised Classification. In addition to discriminate and to value the fire perimeter, we try to determine the forest canopy classes that present greatest difficulty to be identified as burned areas as well as to value the influence of slope and insolation on the studied methods. The study is based on the multispectral information provided by a 2000 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) post-fire image. Results indicate that "Moors and heathland" and "Natural grassland" are discriminated with greatest difficulty like burned areas. The slope between 11-22% produced greatest discrepancies. Results point out that insolation interval 51-60% strongly influences the spectral responses of burned areas, making them difficult to discriminate by means of remote sensing techniques.

**Palabras clave:** detección de áreas quemadas, ETM+, transformaciones lineales.

### INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años la Teledetección espacial ha demostrado ser un instrumento de gran ayuda en el estudio de los incendios forestales, especialmente en la estimación del riesgo, la detección y la evaluación de las consecuencias del fuego. Este trabajo se sitúa dentro de la tercera línea de investigación: la cartografía de zonas incendiadas.

Los objetivos de este trabajo son: (1) Discriminar las zonas quemadas, así como

cuantificar y valorar la superficie afectada en función de las distintas técnicas empleadas actualmente en cartografía de zonas incendiadas (2) Determinar los tipos de superficies afectadas que presentan mayor dificultad para ser identificadas como zonas incendiadas y (3) Valorar la influencia de la pendiente del terreno y la exposición solar en la detección de áreas quemadas.

### MATERIAL Y METODOLOGÍA

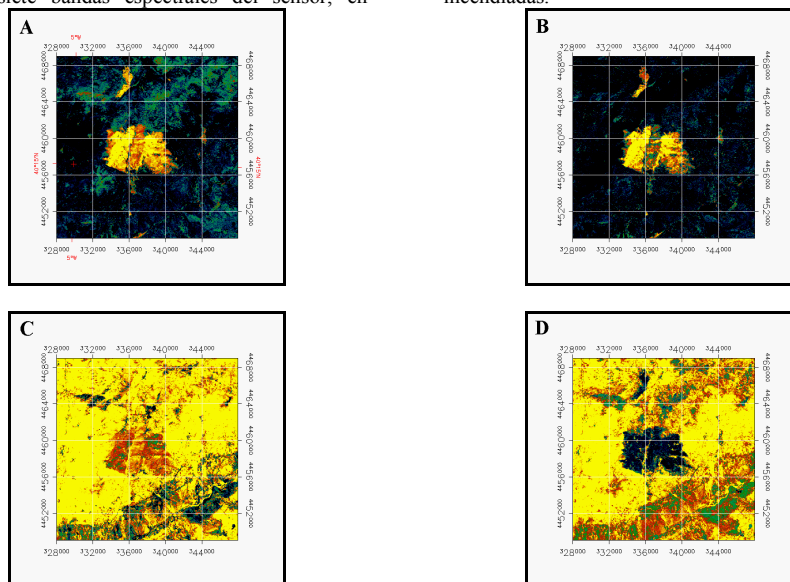
La zona afectada por el fuego se localiza en la comarca natural de la Sierra de Gredos, al sur de

la provincia de Ávila. El incendio se inició el 8 de septiembre de 2000 en el Término Municipal de Pedro Bernardo, extendiéndose posteriormente por los términos de San Esteban del Valle, Gavilanes y Lanzahíta (todos pertenecientes a la citada provincia). En este incendio se vieron afectadas cerca de 3500 hectáreas, lo que hace del mismo uno de los mayores incendios ocurridos en la Comunidad de Castilla y León en los últimos años.

Se ha empleado una imagen post-incendio de septiembre de 2000, adquirida por el sensor ETM+ del satélite Landsat 7. Los procedimientos aplicados en este trabajo son técnicas estadísticas y de transformación lineal, por lo que es interesante valorar la influencia del tamaño de la ventana de trabajo en los resultados obtenidos (Patterson y Yool 1998). Con el fin de evaluar esta influencia, se delimita dos ventanas de dimensiones 50x50 km<sup>2</sup> y 20x20 km<sup>2</sup> en la imagen Landsat 7-ETM+.

De acuerdo con los objetivos planteados, el trabajo puede estructurarse en tres fases principales: (1) Identificación y evaluación de la superficie afectada por el fuego. Las técnicas utilizadas son: (a) Análisis de Componentes Principales. Se ha desarrollado tres análisis distintos: en primer lugar, con las siete bandas espectrales del sensor; en

segundo lugar, sin la banda del infrarrojo próximo; y por último, sin el canal térmico (b) Transformación de Kauth-Thomas (c) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y (d) Clasificación no supervisada. El tratamiento digital aplicado a todas las imágenes generadas con estas técnicas ha consistido primeramente en un realce visual de las mismas. Para ello, se delimita el intervalo de valores digitales que incluye las áreas incendiadas. Los valores digitales que se encuentran fuera de ese intervalo se convierten al mismo tono de paleta, aunque sigan manteniendo su nivel digital original. Posteriormente se realiza un proceso de binarización, dando valor uno a los píxeles que se quiere destacar, es decir, a los píxeles que están dentro del intervalo marcado y que constituyen la zona incendiada, y valor cero a los píxeles que no se quiere validar, es decir, a los píxeles que están fuera del intervalo (2) Extracción de las cubiertas afectadas a partir del CORINE Land Cover, con el fin de determinar las categorías más difíciles de identificar como zonas incendiadas y (3) Análisis del Mapa de Pendientes y del Mapa de Exposición solar. Puesto que todas las bandas del sensor ETM+ (excepto la banda del IR térmico) trabajan con valores de reflectividad, el factor insolación del terreno puede resultar clave en la detección de zonas incendiadas.



**Figura 1.-** Identificación de la superficie afectada por el incendio de Pedro Bernardo (Ávila) a partir de distintas técnicas de análisis. (A) Análisis de Componentes Principales con todas las bandas del sensor (B) ACP sin la banda del IR próximo (C) Transformación Kauth-Thomas y (D) NDVI. Para las imágenes A y B los tonos amarillos y anaranjados representan la superficie afectada por el fuego; para la imagen C, esta zona aparece con tonos rojizos; en la imagen D el área de afectación aparece en color negro.

Técnica aplicada		Subimagen 50x50 km <sup>2</sup>		Subimagen 20x20 km <sup>2</sup>	
		Superficie quemada (ha)	Diferencia (%) con imagen validación	Superficie quemada (ha)	Diferencia (en %) con imagen validación
Análisis de Componentes Principales	Con todas las bandas	3200,85	8.31	3220,11	7.76
	Sin la banda del IR Próximo	3029,13	13.23	3359,88	3.76
	Sin la banda del IR Térmico	3310,92	5.16	3229,20	7.50
Transformación de Kauth-Thomas		3422,07	1.97	3308,31	5.23
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada		3365,64	3.59		
Imagen de validación (Perímetro GPS)			3491,01		

**Tabla 1.-** Superficie afectada por el incendio de Pedro Bernardo (Ávila) a partir de distintas técnicas de análisis y para la imagen de validación

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En la fase de Identificación del incendio, los resultados obtenidos tras la aplicación del Análisis de Componentes Principales indican que cuando se incluye en el análisis todas las bandas del sensor, el incendio se distingue claramente en el componente que posee el coeficiente de correlación más alto con el Infrarrojo Próximo, ya que esta banda es la que mejor discrimina sectores con actividad clorofílica intensa frente a zonas desprovistas de vegetación o con vegetación dañada. Además, se comprueba que si se prescinde de esta banda en el análisis, el canal que pasa a ser decisivo es el Infrarrojo Térmico. El fundamento de este hecho radica en que este canal es sumamente útil para detectar el estrés hídrico extremo que supone

un incendio forestal, así como el aumento de la emisividad de grandes superficies verdes. De acuerdo con esto, el componente en el que se identifica la superficie afectada es aquel con el coeficiente de correlación más alto con esta banda. Después de aplicar la Transformación de Kauth-Thomas a las imágenes de trabajo, el incendio se distingue en el componente Verdor, el cual compara las bandas del visible y el infrarrojo próximo, por lo que detecta el contraste entre suelos desnudos frente a cubiertas vegetales característico de un incendio forestal (Chuvieco 2000). El NDVI detecta el contraste entre suelos desnudos frente a cubiertas vegetales, mientras que la clasificación no supervisada no permite discriminar con nitidez la zona incendiada de la vegetación sana (Figura 1).

Clase CORINE	ACP todas las Bandas	ACP sin IR Próximo	ACP sin IR Térmico	Kauth-Thomas	NDVI	Imagen de validación
Pastizales supraforestales	463.95	377.82	468.99	558.99	522.81	361.17
Otros pastizales	41.22	66.96	49.77	80.73	66.78	97.38
Landas y matorral oceánico	267.66	201.78	298.89	313.29	331.11	131.58

**Tabla 2.-** Superficie quemada en el incendio de Pedro Bernardo (Ávila) para las clases del CORINE Land Cover más difíciles de identificar como zonas incendiadas en función de distintas técnicas de análisis.

En la fase de Evaluación de la superficie afectada por el fuego, los resultados indican que la cuantificación de la superficie quemada con las técnicas analizadas es siempre inferior a los datos proporcionados para la verificación, lo que pone de manifiesto que, en incendios de grandes dimensiones como el que se estudia, en los que frecuentemente hay islas interiores no quemadas, los métodos de cartografía habituales tenderían a sobrestimar la

superficie realmente afectada por el fuego. Las técnicas analizadas proporcionan valores similares entre sí, produciéndose la mayor discrepancia (11.5%) en la ventana de trabajo de 50x50 km<sup>2</sup> para los procedimientos de Kauth-Thomas y ACP sin el infrarrojo próximo. Los valores más heterogéneos para las dos ventanas de trabajo (diferencias del 9.8%) son los obtenidos con el ACP sin el infrarrojo próximo. Para el resto de los métodos, esta

discrepancia es menor del 3,3%, por lo que se puede concluir que son prácticamente independientes de la ventana de trabajo (Tabla 1).

Los resultados obtenidos tras cruzar las imágenes de trabajo con el CORINE Land Cover indican que las categorías que resultan más difíciles de identificar como zonas incendiadas son las cubiertas vegetales de “Landas y matorral oceánico”, “Pastizales Supraforestales” y “Otros pastizales” (Tabla 2). La clase “Landas y matorral oceánico” se encuentra ampliamente distribuida por toda la Península Ibérica. Está constituida por vegetación con cubierta baja y cerrada, en la que predominan arbustos, matorral y plantas herbáceas. Las especies más representativas pertenecen a los géneros *Erica*,

*Ulex*, *Genista* o *Cytisus*. Según las zonas, se denomina a estas formaciones con los nombres más amplios de brezales, escobonales, retamares, etc. La categoría de “Pastizales supraforestales” está formada por los herbazales que se desarrollan en altitud donde desaparece el bosque. Con la denominación de “Otros Pastizales” se incluye genéricamente a pastos extensivos de climas secos y semiáridos con especies herbáceas espontáneas.

Los resultados obtenidos tras el Análisis del Mapa de Pendientes indican que el intervalo que más problemas crea en la detección de zonas incendiadas es el que comprende pendientes entre el 11 y el 22 % (Tabla 3).

Intervalo de pendiente (%)	Hectáreas quemadas según la técnica:					
	ACP con todas bandas	ACP sin IR Próximo	ACP sin IR Térmico	Kauth-Thomas	NDVI	Imagen verificación
0-11	557,19	624,15	562,14	571,41	521,91	617,22
11-22	1603,80	1678,05	1612,35	1647,18	1530,72	1820,61
22-33	920,70	925,11	921,15	948,96	896,31	929,07
33-44	135,45	129,60	130,59	137,79	132,66	134,46
44-55	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97

**Tabla 3.-** Superficie quemada según intervalos regulares de pendiente en el incendio de Pedro Bernardo (Ávila) en función de distintas técnicas de análisis y para la imagen de validación.

El análisis del Mapa de Exposición solar confirma la importancia del factor insolación en los resultados obtenidos. De acuerdo con el mismo, el intervalo que muestra más discrepancias entre las

estimaciones reales y las estimaciones realizadas a partir de las técnicas analizadas es el comprendido entre el 51-60% de insolación (Tabla 4).

Intervalo de exposición (%)	Hectáreas quemadas según la técnica:					
	ACP con todas las bandas	ACP sin IR Próximo	ACP sin IR Térmico	Kauth-Thomas	NDVI	Imagen verificación
0-10	1,08	0,99	1,08	1,08	1,08	1,08
11-20	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
21-30	16,83	14,76	17,28	17,82	17,91	18,54
31-40	56,7	47,52	55,08	57,69	55,53	56,7
41-50	135,63	114,75	130,41	138,06	136,17	134,28
51-60	178,38	161,1	178,38	182,79	179,73	206,28
61-70	345,42	339,03	344,61	353,7	383,67	339,84
71-80	532,44	584,91	529,02	544,59	602,91	671,04
81-90	1198,71	1298,7	1209,6	1234,98	1218,15	1361,43
91-100	753,03	796,23	761,85	775,71	768,6	713,25

**Tabla 4.-** Superficie quemada según intervalos regulares de exposición solar en el incendio de Pedro Bernardo (Ávila) en función de distintas técnicas de análisis y para la imagen de validación

#### BIBLIOGRAFÍA

Chuvieco, E. 2000. Fundamentos de Teledetección espacial. Ediciones Rialp S.A., Madrid

Patterson, M.W. y Yool, S.R. 1998. Mapping Fire-Induced Vegetation Mortality Using Landsat Thematic Mapper Data: A Comparison Of Linear Transformation Techniques. Remote Sensing Of Environment 65: 132-142.