

## ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DEL ESTADO DE LA VEGETACIÓN Y LA INCIDENCIA DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN CASTILLA Y LEÓN

M. FLÓREZ (\*), F. GONZÁLEZ-ALONSO (\*\*), A. CALLE (\*) y J. L. CASANOVA (\*)

marta@latuv.uva.es

(\*)Laboratorio de Teledetección Universidad de Valladolid (LATUV), Facultad Ciencias, Po Magdalena s/n, 47011 Valladolid  
(\*\*)Dpto. Teledetección, Centro Investigación Forestal, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), Ctra. de la Coruña Km 7, Madrid

**RESUMEN:** Se ha analizado la relación existente entre diversas variables del estado de la vegetación obtenidas por satélite sobre el número de incendios y la superficie quemada en un sector de Castilla y León. Los resultados explican entorno a un 40% de las variaciones de tales parámetros en función de alguna de las variables mencionadas.

**Palabras clave:** Número de incendios, Superficie quemada, NDVI, Índice de Verdor, Castilla y León

**ABSTRACT:** The relationship between vegetation status variables calculated by means of satellite and Number of fires and Burned area has been analysed in a sector of Castilla & León. The results could explain over 40% of the spatial variations of such parameters from the mentioned variables.

**Key words:** Number of Fires, Burned Area, NDVI, Castilla & León

### INTRODUCCIÓN

El objetivo de este estudio es el análisis de la variación espacial de la superficie quemada y del número de incendios en función de ciertas variables del estado de la vegetación obtenidas por Teledetección, así como la identificación de las más significativas de entre todas las consideradas. Para ello se emplearán técnicas estadísticas como la Regresión Lineal Múltiple (RLM) y el Análisis de Componentes Principales (ACP).

El espacio analizado es el sector occidental de Castilla y León compuesto por las provincias de León, Zamora, Salamanca y Ávila. La unidad mínima de análisis es la comarca. El período de estudio es de 4 años (1993/96) si bien los datos de incendios han sido analizados a lo largo de 25 años (1972/96). Genéricamente se han distinguido dos períodos: preincendios (enero-mayo) e incendios (junio-septiembre).

### MATERIAL E INFORMACIÓN

Dos son las fuentes de información utilizadas en este estudio: los partes de incendios forestales y las imágenes de los satélites NOAA-11 y NOAA-14.

En un primer lugar se ha analizado la **incidencia de los incendios** forestales en el sector espacial menciona-

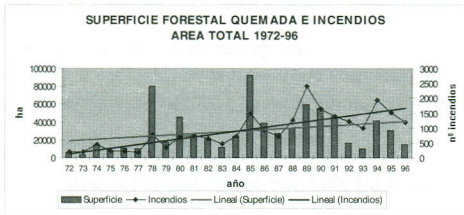
do y durante un período de 25 años (1972-1996) con el fin de conocer las áreas más afectadas por este problema.

*Espacialmente*, se constata una alta incidencia de los incendios en todas las provincias analizadas en comparación con el resto de la Comunidad. No sólo los valores absolutos de superficie quemada y número de incendios avalan esta afirmación sino también los indicadores de riesgo y gravedad, que miden en términos relativos dichos parámetros en función de la superficie forestal provincial. León y Zamora se revelan como las provincias más afectadas por el fenómeno de los incendios mientras que en el ámbito comarcal lo hacen las periféricas, situadas en el sector norte de la provincia de León, a lo largo de la frontera portuguesa y en la parte meridional del espacio analizado.

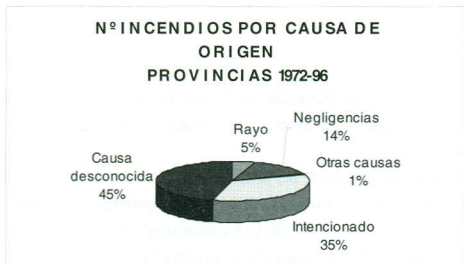
Se ha observado también una *tendencia* creciente tanto del número de incendios como de la superficie afectada, con períodos de mayor actividad en torno a los años 1978, 1985, 1989 y 1994, que coinciden con los observados para el conjunto del territorio nacional (Chuvieco *et alii*. 1998). Los grandes incendios (mayores de 500 ha) poseen también una tendencia creciente. Un rasgo característico de los incendios de este espacio

es que afectan en gran medida a *superficie forestal no arbolada*, correspondiente a dehesas, monte bajo, matorral y pastizales, en un porcentaje (80%) muy alto en comparación con el resto del territorio nacional (57%) (Vázquez de la Cueva 1996).

Por último, en cuanto a las *causas* de los incendios se ha observado que un 50% de los incendios y de la superficie quemada están directamente causados por la acción del hombre y que se produce un incremento paulatino de los incendios intencionados a lo largo del período.



**Figura 1.** Superficie forestal quemada y número de incendios en el área de estudio. Tendencias a lo largo del período.



**Figura 2.** Distribución porcentual del número de incendios en función de la causa de origen. Período 1972-96.

Por su parte, las *variables del estado de la vegetación* han sido obtenidas a partir del empleo de las imágenes proporcionadas por el radiómetro AVHRR de los satélites NOAA-11 y NOAA-14, que poseen una resolución temporal de 12 horas y una resolución espacial de 1km x 1km. Se disponía de imágenes pertenecientes a los años que abarcan desde 1993 a 1996.

El procesamiento digital de las imágenes se realiza sistemáticamente en el LATUV y consiste en:

- corrección geométrica, aplicando un modelo desarrollado en el LATUV basado en un procedimiento orbital asistido con puntos de control (Illera *et alii.*, 1996).

- corrección atmosférica
- calibrado de las imágenes, según el método de Kaufman y Holben los canales visibles y a bordo del satélite los térmicos
- filtro de nubes, según modelo biespectral visible-infrarrojo (Delgado 1991)

Finalmente las variables extraídas han sido las siguientes:

- Integral de los CVM del NDVI

$$NDVI = \frac{R_{IR} - R_{ROJO}}{R_{IR} + R_{ROJO}}$$

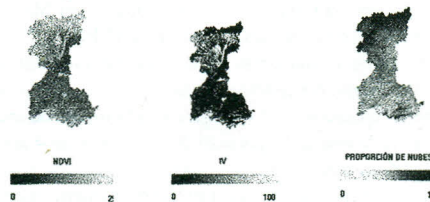
- Integral de los CVM del Índice de Verdor (relación del valor NDVI de cada píxel con el máximo y mínimo del período)

$$IV = 100 * \frac{MVC_N - MVC_{MIN}}{MVC_{MAX} - MVC_{MIN}}$$

- Anomalías del NDVI y del Índice de Verdor (relación del valor anual con el promedio del resto de los años)

$$A = \frac{MVC_t}{Avg(MVC_{N-t})}$$

- Proporción de nubes (en un período de 10 días)  
Todas ellas calculadas para cada unidad espacial delimitada y en cada período de tiempo indicado (preincendios e incendios). A su vez los cálculos se han extraído para la totalidad de los usos del suelo y para los usos forestales exclusivamente.



**Figura 3.** Imágenes de MVC de 10 días del NDVI, Índice de Verdor e imagen de la variable proporción de nubes para un período de 10 días.

Se han observado los valores más altos de NDVI en León, Salamanca y Ávila, sin que exista una destacable variabilidad comarcal de los mismos. El Índice de Verdor, sin embargo, sí presenta valores espacialmente dis-



pares, siendo éstos mayores en las comarcas leonesas y periféricas de Salamanca y Ávila. En cuanto a la nubosidad, se constata que los espacios comarcales del norte de León y de la Sierra de Gredos son los espacios con más nubosidad, presentando nubosos la mitad de los días del período analizado. El análisis de la evolución temporal de estas variables indica que el año 1995 fue un período crítico para los ecosistemas de la zona que registran los valores mínimos para este período.

### MÉTODO Y RESULTADOS

El análisis efectuado consiste básicamente en el estudio de la variación espacial de la superficie quemada y número de incendios en función de las variables especificadas mediante técnicas de Regresión Lineal Múltiple (RLM). Como variables independientes se han utilizado las variables originales y os Factores resultantes del Análisis de Componentes Principales efectuado (ACP). Los Factores o Componentes representan conjuntos de variables correlacionadas entre sí que son posteriormente incorporados a un nuevo análisis RLM como variables independientes. Se considera que ambos procedimientos, por tanto, se complementan.

En un primer momento se han analizado las *mátrices de correlación* entre todas las variables y la superficie quemada y el número de incendios. En ellas se observa que, de entre todas las variables de los dos períodos y usos del suelo totales y forestales, son las correspondientes al período de incendios y pertenecientes a los usos del suelo totales las que poseen coeficientes de correlación mayores con las variables de incendios.

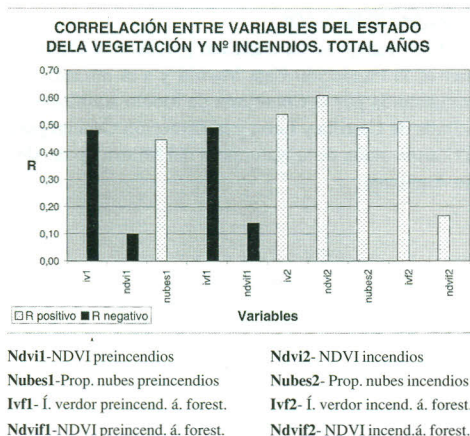


Figura 4. Correlación de distintas variables con el N° de Incendios para los años totales. Variables de ambos períodos y usos del suelo.

Los análisis de *Regresión Múltiple* efectuados revelan que el NDVI e Índice de Verdor estivales y las anomalías del Índice de verdor del mismo período son los que explican en mayor medida las variaciones de superficie quemada y en el número de incendios (Figura 5 y Figura 6), con R<sup>2</sup> ajustados entre 0,37 y 0,47 con una significación estadística 90%.

Expresado de otra manera podría afirmarse que los espacios que presentan altos valores de NDVI o Índice de Verdor estivales, o bien, bajos valores de sus Anomalías del Índice de Verdor estival para un año dado registran un mayor número de incendios y de hectáreas quemadas, explicando éstas entorno a un 40% de la *variación espacial* de dichos parámetros de incendios en el territorio y período estudiados. Con el NDVI se mide las diferencias espaciales que pueden generar el incremento de la superficie quemada, con las Anomalías se cuantifican los factores temporales que pueden condicionar dicho aumento, constatando en este caso, diferencias espaciales en función de comportamientos temporales.

ÁMBITO DE ESTUDIO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	COMPONENTES PRINCIPALES		RLM CON LOS COMPONENTES		RLM (MÉTODO STEPWISE)	
		Varianza explicada	Nº de factores	R <sup>2</sup> (%)	Factores	R <sup>2</sup> (%)	Variables seleccionadas
Comarcas Juntas	30 (comarcas)	82	3	0,17	F1	0,22	NDVI2
Año 93	30 (comarcas)	82	4			0,47 <sup>2</sup>	A_iverdor2, A_iverdor2
Año 95	30 (comarcas)	92	4	0,27	F1	0,24	NDVI2

ÁMBITO DE ESTUDIO	TAMAÑO DE LA MUESTRA	COMPONENTES PRINCIPALES		RLM CON LOS COMPONENTES		RLM (MÉTODO STEPWISE)	
		Varianza explicada	Nº de factores	R <sup>2</sup> (%)	Factores	R <sup>2</sup> (%)	Variables seleccionadas
Comarcas Juntas	30 (comarcas)	82	3	0,31	F1	0,37 <sup>2</sup>	NDVI2
Año 95	30 (comarcas)	92	4	0,45 <sup>2</sup>	F1	0,39 <sup>1</sup>	NDVI2

\*Criterio de selección de variables por debajo del 90% de significación estadística

<sup>1</sup>Significación estadística 90% <sup>2</sup>Significación estadística 95%

Figura 5. Resultado de los análisis RLM y ACP realizados para la Superficie forestal (superior) y número de incendios (inferior). Se utiliza R<sup>2</sup> ajustada.

	COMPONENTE			
	1	2	3	4
IVERDOR1	<b>-0,814</b>		0,449	
IVERDORF1	<b>-0,743</b>		0,460	
NDVI1			0,966	
NDVIF1			0,940	
A IVERDOR1		0,931		
A IVERDORF1		0,911		
A NDVI1	<b>0,512</b>	0,799		
A NDVIF1	<b>0,519</b>	0,784		
NUBES1	<b>0,680</b>	0,549		
IVERDOR2	<b>0,910</b>			
IVERDORF2	<b>0,791</b>	0,478		
NDVI2	<b>0,936</b>			
NDVIF2				0,998
A IVERDOR2	<b>0,895</b>			
A IVERDORF2	<b>0,790</b>			
A NDVI2	<b>0,854</b>			
A NDVIF2				0,991
NUBES2	<b>0,794</b>	0,527		

Figura 6. Componentes Principales de las variables del estado de la vegetación del Año 1995. El Factor 1 es el seleccionado por la RLM con los componentes tanto en el análisis de la SQ como del número de incendios.

## CONCLUSIONES

De un conjunto considerable de variables, pertenecientes a los períodos definidos y para diferentes usos del suelo, se ha constatado la mayor relevancia en la explicación de las variaciones de superficie quemada y número de incendios de las **variables de la época estival** correspondientes a **todos los usos del suelo**.

De todas ellas destacan **NDVI e Índice de Verdor estivales** y las **anomalías estivales del Índice de Verdor** por su mencionada capacidad explicativa de la variación espacial, comarcal en este caso, de la superficie quemada y el número de incendios. Se constata así que los espacios, donde existen formaciones vegetales con altos valores estivales de NDVI o Índice de Verdor o bien cuyas formaciones vegetales atraviesan un período

estival crítico en su desarrollo, sufren una mayor incidencia de incendios.

Los  $R^2$  ajustados se sitúan entorno a 0,4 para los espacios comarcales y período analizados, siendo mejores para la variable número de incendios que para la superficie quemada. Este tipo de resultados han sido también obtenidos en otras investigaciones con variables meteorológicas (Flannigan y Harrington 1988).

Se ha comprobado que el cálculo de estos índices para las áreas forestales no muestra mayor capacidad explicativa que los extraídos para el conjunto total de usos del suelo.

Por otra parte, se aprecia que los espacios con un gran número de superficie quemada por **grandes incendios** presentan altos valores de NDVI, pero con significación estadística menor

## BIBLIOGRAFÍA

- CHUVIECO, E., MARTÍN, M. P., MARTÍNEZ, J., SALAS, F. J. (1998), Geografía e incendios forestales, *Serie Geográfica* vol. 7 pp11-77 ISSN 1136-5277.
- FLANNIGAN, M. D., HARRINGTON, J. B. (1988), A Study of the Relation of Meteorological Variables to Monthly Provincial Area Burned by Wildfire in Canada (1953-80). *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 27, pp. 441-451.
- VÁZQUEZ DE LA CUEVA, A. (1996), Régimen de incendios en España peninsular:1974-94. Relaciones con la climatología y el paisaje. Departamento de Ecología, Facultad de CC Biológicas. Universidad Complutense de Madrid (Tesis doctoral).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado gracias a la financiación de la Fundación Caja Madrid y a la información suministrada por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León y la Dirección General para la Conservación de la Naturaleza del Ministerio de Medio Ambiente.