

CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES BIOFÍSICAS EN LOS INCENDIOS FORESTALES MAYORES DE 25 HA DE LA ESPAÑA PENINSULAR (1991-2005)

Felipe Verdú y Javier Salas

Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá

RESUMEN

Se analiza la distribución de diversas variables biofísicas en la superficie quemada en incendios forestales mayores de 25 ha en la España Peninsular durante el período 1991-2005. Los resultados del análisis, realizado mediante tabulaciones cruzadas, muestran una clara relación de algunas de estas variables con la ocurrencia de incendios. Las variables más influyentes son las de ocupación del suelo, principalmente matorral y coníferas, seguidas de la temperatura máxima de verano y la pendiente.

Palabras clave: incendio forestal, tabulación cruzada, temperatura, pendiente, matorral, coníferas.

ABSTRACT

We analyze the distribution of various biophysical variables in the area burned in forest fires over 25 ha in Peninsular Spain during the period 1991-2005. The results of the analysis carried out by cross-tabulations showed a clear relationship between some of these variables to the occurrence of fires. The most influential variables were the land use cover, mainly shrubland and coniferous, followed by summer highest temperatures and slope.

Key words: forest fire, cross tabulation, temperature, slope, shrubland, coniferous.

Fecha de recepción: marzo 2010.

Fecha de aceptación: octubre 2011.

I. INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de los incendios forestales es un hecho conocido e inherente al clima mediterráneo, que se ha producido desde tiempos inmemoriales. La región mediterránea se caracteriza por la sucesión de períodos secos muy prolongados y períodos húmedos mucho más cortos, con altas temperaturas estivales, fuertes descensos de la humedad relativa y vientos desecantes que supone la acumulación de biomasa y carga de combustibles durante un período amplio de tiempo (Aguado y Rodríguez y Silva, 2004; Le Houerou, 1973; Moreno y Oechel, 1994; Ruiz De La Torre, 1999). Junto a las pérdidas humanas y económicas que conlleva, sus efectos devastadores tienen consecuencias ecológicas catastróficas; entre otras, la pérdida de biodiversidad, la pérdida de nutrientes (Neary *et al.*, 1996), la modificación de la estructura del paisaje y de la composición de la comunidad de plantas (Trabaud, 1994). En España, su recurrencia contribuye a que se asienten formaciones pirofíticas (Vélez, 2000), problema que se agrava cuando los ciclos de recurrencia del fuego se acortan. Estas modificaciones en la composición de especies favorece la ocurrencia de incendios forestales posteriores (Díaz-Delgado *et al.*, 2004; Turner y Romme, 1994).

La incidencia de los incendios forestales está condicionada por diversas variables del medio físico y humano, que determinan la probabilidad de inicio y/o la propagación del fuego. Estas variables pueden englobarse en cuatro grandes categorías: condiciones meteorológicas, tipo y estado de la vegetación, variables topográficas y actividades humanas (Salas y Chuvieco, 1994).

Las condiciones meteorológicas son determinantes en la incidencia y la severidad de los incendios forestales (Aguado y Rodríguez Y Silva, 2004). Diversos autores han utilizado la temperatura, precipitación y velocidad del viento para explicar la ocurrencia de incendios (Flannigan *et al.*, 2005). La temperatura y precipitación son las variables biofísicas más incidentes en la disponibilidad de agua para las plantas, variable de gran relevancia en el inicio y desarrollo del fuego. La temperatura es un indicador positivo, altas temperaturas facilitan que los combustibles se sequen y quemen más rápidamente. Por el contrario, la precipitación es un indicador negativo, menor ocurrencia de incendios con altos contenidos de humedad (Westerling y Bryant, 2008).

Los factores topográficos explican la variación en el clima local, proporcionan cortafuegos naturales e, indirectamente, influyen en factores tales como la humedad del combustible y la distribución de la vegetación (Whelan, 1995). Las variables topográficas de mayor peso en la ocurrencia de los incendios forestales son altitud, pendiente, orientación e insolación (Broncano y Retana, 2004; Díaz-Delgado *et al.*, 2004; Maingi y Henry, 2007; Mouillot *et al.*, 2003; Taylor y Skinner, 2003; Westerling *et al.*, 2002). La pendiente afecta a la velocidad y dirección de propagación del incendio, que se propaga más rápido cuesta arriba y con pendientes más pronunciadas (Rothermel, 1991). La orientación condiciona el estado del combustible, que se seca más rápidamente en las laderas de solana, apareciendo combustibles más secos y menos densos que los de la ladera de umbría (Anderson, 1982).

La vegetación es un elemento clave para establecer los patrones espaciales de los incendios forestales. Existen varios factores que determinan su ocurrencia, entre ellos, las características de los combustibles, como son el tipo, carga, humedad e inflamabilidad (Rothermel, 1983). La obtención de esta variable procede de distintas fuentes: mapas de ocupación del

suelo, modelos de combustibles y variables forestales biofísicas (Vázquez y Moreno, 2006). Algunos autores han encontrado relaciones significativas entre la ocurrencia de incendios forestales y la composición de especies y la densidad total (Minnich y Bahre, 1995). Un aumento en la cantidad de combustible supone un incremento en la inflamabilidad, que repercute en la extensión y severidad del incendio (Broncano y Retana, 2004). La ocurrencia de incendios forestales se ha relacionado con otros parámetros forestales, como la fracción total de cabida de la masa forestal, la proporción de coníferas y no-coníferas, y la no presencia de combustible (Flannigan *et al.*, 2005; Johnson, 1992).

Por otra parte, la intervención humana es una causa clave de los incendios forestales en España, ya que aproximadamente el 95% se deben directa o indirectamente a su acción. Los regímenes de incendios han sido alterados por la actividad del hombre a través de la acumulación de combustible (cambios en los modelos de energía) y el aumento en el número de incendios causados por éste (Syphard *et al.*, 2008; Vélez, 2000). Diversos trabajos han profundizado en el tema, resaltando la dificultad para valorar, modelizar y representar espacialmente la influencia humana en el inicio y propagación del fuego (Martínez y Martín, 2004). A veces se han utilizado aproximaciones sencillas, como la distancia a áreas urbanizadas o parámetros de accesibilidad (Badía-Perpinyà y Pallares-Barbera, 2006). Lo ideal sería poder identificar y representar todos los factores de riesgo que están vinculados a la actividad humana, tanto desde el punto de vista temporal como espacial. Se trata, principalmente, de variables socio-económicas muy diversas, asociadas a incendios de carácter intencionado (declaración de zonas protegidas, actividades cinegéticas, titularidad y gestión de los montes, piromanía, etc.) o no intencionado (abandono de actividades tradicionales en el monte, aumento de usos recreativos en áreas forestales, crecimiento de áreas urbanas, etc.) (Martínez *et al.*, 2009; Syphard *et al.*, 2007).

Explicar el patrón espacial de los incendios forestales es fundamental para el estudio de sus efectos en el medio natural, así como para comprender mejor su comportamiento. Mediante el análisis espacial de la ocurrencia de los incendios forestales se pueden determinar los daños provocados por el fuego en la vegetación y el paisaje, así como la relación de los incendios forestales con la topografía, los parámetros climáticos, la actividad humana o cualquier otra variable involucrada en su ocurrencia (Díaz-Delgado *et al.*, 2004), que facilitará la actuación frente a los incendios forestales y mejorará las medidas de restauración. Para llevar a cabo este análisis es fundamental contar con una buena cartografía de área quemada.

En España, se han realizado diversos estudios sobre la distribución espacial de los incendios a escala local o regional, utilizando como base la cartografía de los incendios forestales (Vázquez y Moreno, 2001; Díaz-Delgado *et al.*, 2004). A nivel nacional, al no contar con este tipo de cartografía, se han estudiado los regímenes de los incendios forestales a partir de las cuadrículas 10x10 km de la Base de Datos de Estadística General de Incendios Forestales —BDEGIF— (Vázquez, 1996). Estos estudios tienen el inconveniente de no contar con información espacial precisa de los incendios forestales, por lo que la asignación de las variables biofísicas y humanas que caracterizan este fenómeno son aproximaciones. En otros países, como Canadá, cuentan con una base cartográfica de incendios forestales muy extensa en el tiempo (desde 1959), que se ha utilizado, entre otros objetivos, para describir las características espaciales de esos incendios (Parisien *et al.*, 2006).

Para analizar algunas de las características biofísicas de la superficie quemada, el presente trabajo utiliza la cartografía de incendios forestales mayores de 25 ha de la España Peninsular en el período 1991-2005, generada en el proyecto «Elaboración y suministro de información relativa a la evaluación de las consecuencias de los incendios forestales» realizado por el Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá para la Dirección General de la Biodiversidad. En este proyecto, además, se recopiló la cartografía disponible a nivel nacional sobre diversas variables del medio físico: ocupación del suelo, climáticas y topográficas, principalmente. Debido a los objetivos, la escala de trabajo y el tiempo disponible, solo se obtuvieron algunas variables de carácter antropogénico (vías de comunicación y núcleos de población, principalmente), por lo que dada su pequeña representatividad en el conjunto de la causalidad de origen humano, no se han utilizado en el presente estudio, quedando éste circunscrito a las variables biofísicas.

II. OBJETIVOS

La disponibilidad de una cartografía de incendios forestales a nivel nacional posibilita el análisis de la incidencia espacial de los factores que determinan este fenómeno. Estudios previos señalan diversas variables del medio físico y humano, que condicionan el inicio y/o propagación del fuego, claves para explicar la incidencia histórica de los incendios forestales. Por las razones comentadas previamente, este trabajo se centra exclusivamente en el análisis de las variables de carácter físico. Atendiendo al medio físico, la extensión de la superficie quemada se ve favorecida por las condiciones de diversos factores naturales, tales como la disponibilidad de combustible, la temperatura, la precipitación, el viento y la pendiente del terreno. En este trabajo se quiere describir la superficie quemada en relación a algunas de esas variables biofísicas, siendo el objetivo principal del mismo el análisis de la distribución de algunas de estas variables en la superficie quemada en la España peninsular durante el período 1991-2005 para determinar los posibles patrones espaciales de este fenómeno.

III. FUENTES

1. Cartografía de incendios

La información base es la cartografía de áreas quemadas de la España peninsular para el período 1991-2005 obtenida a partir del análisis visual de imágenes de satélite, que denominaremos Base de Datos de Área Quemada —BDAQ— (Verdú y Salas, 2010) (figura 1). Esta cartografía recoge 1.004.502 ha de superficie quemada en un total de 3337 incendios mayores de 25 ha, de las que 910.268 ha afectaron a superficie forestal (90,6%). La distribución de estos incendios en función de su tamaño aparece en la tabla 1. Para su generación se utilizaron mosaicos de imágenes LANDSAT (1991, 1995, 1999 y 2000) y SPOT (2005), realizando un análisis visual mediante la comparación de dos fechas sucesivas (1991-1995, 1995-1999, 1999-2000 y 2000-2005). La eficacia de este producto se contrastó con los datos de la Base de Datos de Estadística General de Incendios Forestales de la Dirección General de la Biodiversidad, obteniendo una correlación del 73% entre ambos documentos.

Tabla 1
DISTRIBUCIÓN DE LA BDAQ POR TAMAÑO DEL INCENDIO

| Tamaño | Nº IF | BDAQ (ha) |
|------------------|-------|-----------|
| 25-100 | 2034 | 104950 |
| 100-250 | 753 | 116405 |
| 250-500 | 283 | 99194 |
| 500-1000 | 143 | 98305 |
| 1000-5000 | 105 | 221684 |
| >5000 | 19 | 363964 |
| Total | 3337 | 1004502 |

2. Variables biofísicas relacionadas con la superficie quemada

Para la selección de las variables biofísicas descriptivas y/o explicativas de los incendios forestales se han considerado todas aquellas variables disponibles que condicionan su inicio y/o propagación. Estas variables se agrupan en tres grandes factores: clima, relieve y vegetación (combustible).

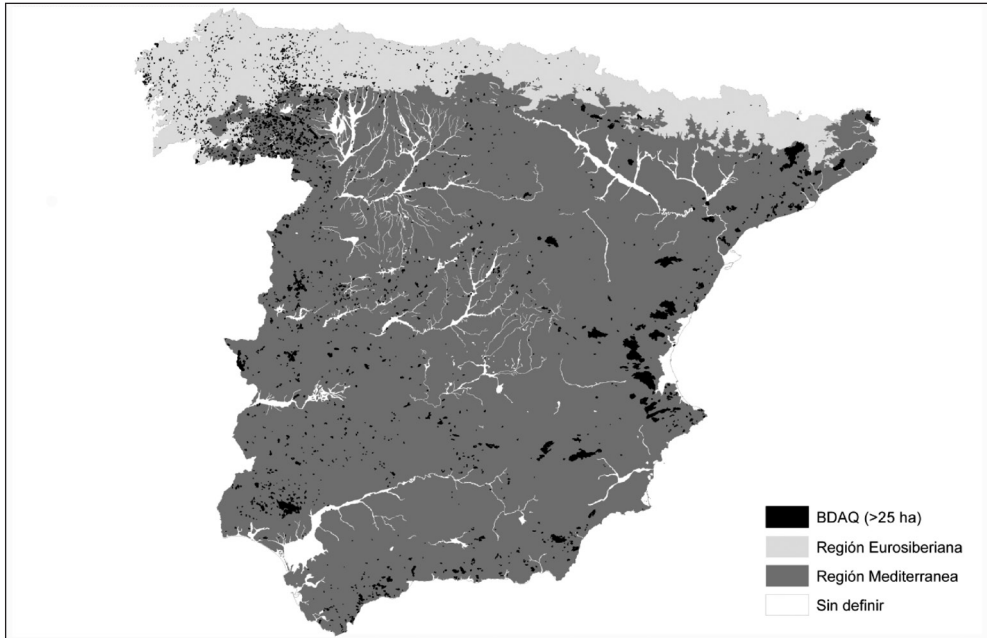
Las variables climáticas se han obtenido del Atlas climático de la Península Ibérica (Ninyerola *et al.*, 2005) con una resolución espacial de 200 m. El atlas incluye 13 mapas por variable (12 mensuales y el anual) a partir de una serie histórica entre 15 y 50 años. A partir de esta información se han obtenido las siguientes variables: precipitación media, temperatura media, temperatura máxima y radiación solar, todas ellas con carácter anual y para cada una de las estaciones del año. En total se generaron 20 mapas.

Las variables topográficas se han generado a partir del modelo digital del terreno 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional. Se trata de un modelo con un paso de malla de 25 metros. Se han seleccionado las variables más relacionadas con los incendios forestales: altitud, pendiente y orientación.

La ocupación del suelo se incluyó a partir de los mapas CORINE-Land Cover de los años 1990 y 2000. Dado el elevado número de categorías presentes en los documentos originales, estos mapas han sido simplificados en 11 clases temáticas mediante la reclasificación de las categorías originales: superficies artificiales (SA), cultivos de secano (CS), otras zonas cultivadas (OZC), dehesas (DEH), frondosas (FRO), coníferas (CON), bosques mixtos (BMX), matorral (MAT), pastizales (PAS), espacios de vegetación escasa (EVE) y otros usos (OU).

También se ha incluido en el estudio el mapa de las series de vegetación de Rivas-Martínez (1987), que sintetiza las características del clima y de la vegetación potencial de España. En esta cartografía, escala 1:400.000, la Península Ibérica se distribuye en dos regiones biogeográficas, la mediterránea y la eurosiberiana (figura 1). Para este estudio, de la primera se utilizaran los pisos termo, meso, supra y oromediterráneo, y de la segunda, los pisos colino y montano. Los pisos restantes no se utilizaron por ocupar extensiones muy reducidas.

Figura 1
MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA BDAQ POR REGIONES BIOGEOGRÁFICAS



Todas las variables utilizadas se registraron en un mismo sistema de referencia, el European Datum ED 1950 30N. Para eliminar posibles redundancias y seleccionar aquellas variables realmente relacionadas con la incidencia de los incendios forestales, se aplicaron criterios de colinealidad y coeficientes de correlación a las variables cuantitativas, quedando seleccionadas las siguientes variables: la pendiente, la altitud, la precipitación de invierno (PI) y la temperatura media de las máximas de verano (Tmax Verano). En el caso de las variables categóricas se emplearon tanto los pisos bioclimáticos como las clases de ocupación del suelo.

IV. METODOLOGÍA

3. Tabulación cruzada

Este trabajo se centra en la tabulación cruzada del mapa de incendios forestales con las variables seleccionadas, para obtener la distribución de estas variables en la superficie quemada, determinando las combinaciones más frecuentes y señalando posibles patrones espaciales.

En primer lugar, se ha realizado la tabulación cruzada del mapa de incendios forestales con cada una de las variables seleccionadas, clasificadas por quintiles las variables cuantitativas y por categorías las cualitativas. Mediante estas tabulaciones se obtiene el porcentaje

de área quemada que se encuentra en cada una de las categorías en las que se dividen las distintas variables. Estos porcentajes se comparan con la distribución de esa variable en el conjunto del territorio, observando si el porcentaje de lo quemado difiere del porcentaje del conjunto. Además, se ha utilizado el estadístico ji-cuadrado (χ^2) para comprobar si la distribución de la superficie quemada en las diversas categorías de las variables explicativas difiere de la distribución de estas categorías en el conjunto del territorio, es decir, si el área quemada observada se comporta de acuerdo a lo esperado. Si el valor del χ^2 es superior al valor crítico, calculado para un determinado número de grados de libertad (4 para variables cuantitativas y 10 para las categóricas) y al 99% de confianza, se asume que la distribución de área quemada en los rangos utilizados de una variable determinada es significativamente distinta a la distribución esperada (área susceptible de quemarse) y, por tanto, dicha variable tiene una clara relación con los incendios forestales.

En segundo lugar, se realizó una tabulación cruzada por combinación de variables. Dado el elevado número de variables de entrada, se seleccionaron las correspondientes al clima (temperatura y precipitación) y la ocupación del suelo (adaptación de (Westerling, 2008)). El objetivo era analizar el efecto conjunto de temperatura, precipitación y ocupación del suelo en la superficie quemada. Para ello, se utilizó el siguiente proceso:

1. Con la función combine de ArcGIS (Esri, 2009) se obtienen las posibles combinaciones de las dos variables climáticas divididas en quintiles; esto es, 25 posibles combinaciones.
2. Mediante tabulación cruzada se obtiene la cantidad de área que aparece en cada una de esas combinaciones para cada una de las categorías del mapa de ocupación del suelo (solo clases forestales, esto es, dehesas, frondosas, coníferas, bosques mixtos, pastizales y espacios de vegetación escasa). Esta operación se realiza para la superficie quemada y para el conjunto del territorio.
3. Representación gráfica de los resultados y comparación de la distribución del área quemada con respecto al total.

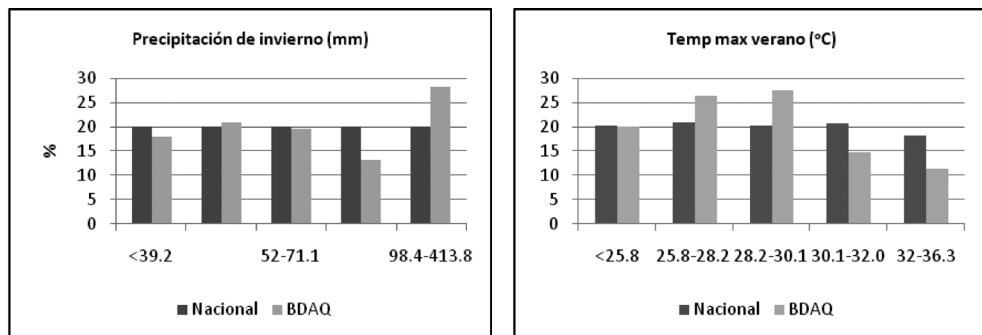
V. RESULTADOS

4. Tabulaciones cruzadas simples

1. Variables cuantitativas

En líneas generales, la superficie quemada no muestra una tendencia definida en su distribución en función de la precipitación de invierno, aunque refleja una ligera concentración en el último rango de ésta (precipitación superior a 98,4 mm) (figura 2). En éste se concentra el 28,2% de la superficie quemada, frente al 20% que supone este rango en el conjunto del territorio, lo que supone un valor observado mayor al esperado. El caso contrario se produce en el cuarto quintil (71,1-98,4 mm), donde la superficie quemada supone el 13,3%, frente al 20% del conjunto del territorio. Los tres primeros quintiles se comportan de manera similar entre sí y con respecto a la superficie total (en torno al 20%). El valor del estadístico χ^2 está por debajo del valor crítico (tabla 2), por lo que esta variable no muestra una clara relación con los incendios.

Figura 2
PRECIPITACIÓN DE INVIERNO Y TEMPERATURA MÁXIMA DE VERANO



Este resultado contrasta con el valor del coeficiente de Spearman (-0.66) entre estas dos variables, el mayor de todas las variables cuantitativas, por lo que la falta de relación en este caso se debe a la división en quintiles utilizada en el estudio. El valor del coeficiente de Spearman pone de manifiesto una relación inversa entre las dos variables, de manera que a mayor precipitación menor superficie quemada. Esta relación, que no se evidencia en la división en quintiles, es muy clara si se divide el último quintil en un mayor número de rangos.

En relación a la temperatura máxima de verano (coeficiente de Spearman, 0.31), la superficie quemada muestra una tendencia creciente hasta el quintil 3º (incremento al aumentar la temperatura), cuya temperatura máxima es $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, y una disminución a partir de éste (descenso al aumentar la temperatura). Se observa una concentración en los quintiles 2º y 3º, donde se registra el $53,8\%$ de la superficie quemada, frente al 41% que suponen estos rangos en el conjunto del territorio, con una clara diferencia entre valor observado y esperado (figura 2). Los últimos rangos, quintiles 4º y 5º, muestran la tendencia contraria, registrando el $26,1\%$ de la superficie quemada, frente al $38,8\%$ del conjunto del territorio. El valor del estadístico χ^2 (tabla 2) está por encima del valor crítico, reflejo de una clara relación entre ambas variables.

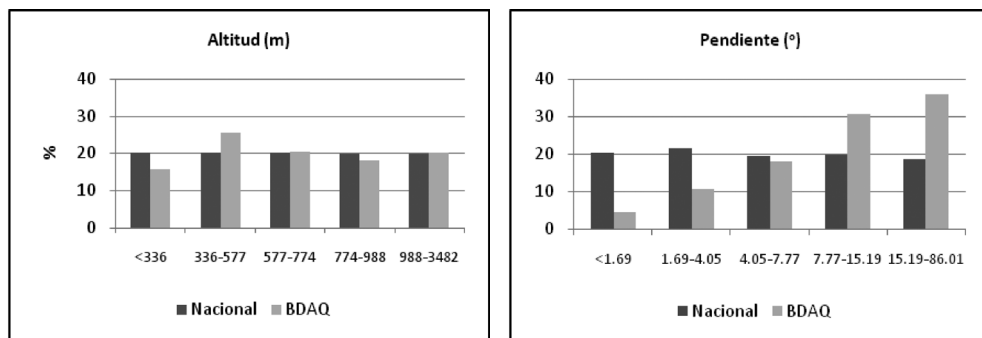
La superficie quemada no muestra una tendencia definida en su distribución en función de la altitud (coeficiente de Spearman, -0.17), aunque refleja una ligera concentración en el segundo quintil ($336\text{-}577\text{ m}$) (figura 3). En éste se concentra el $25,5\%$ de la superficie quemada, frente al 20% que supone este rango en el conjunto del territorio, lo que supone un valor observado mayor al esperado. El caso contrario se produce en el primer quintil ($< 336\text{ m}$), donde la superficie quemada supone el $15,8\%$, frente al 20% del conjunto del territorio. Los tres últimos quintiles se comportan de manera similar entre sí y con respecto a la superficie total (en torno al 20%). El valor del estadístico χ^2 está por debajo del valor crítico (tabla 2).

Como en el caso de la precipitación, la división en quintiles para la altitud no ofrece una relación entre estas variables, que podría quedar reflejada con el uso de otros rangos. Atendiendo a rangos más relacionados con la ocupación del suelo, en los sectores de menor altitud ($< 400\text{ m}$), ocupados principalmente por cultivos, se registra una proporción de superficie quemada inferior a la que suponen estos sectores en el conjunto del territorio; entre 400 y 1000 m de altitud, la proporción de superficie quemada es superior a la del conjunto del terri-

torio, y en los sectores de más de 1500 m de altitud la proporción de área quemada vuelve a ser inferior, ya que a partir de esta cota las coníferas y el matorral, formaciones más afectadas por los incendios, tienden a desaparecer paulatinamente a medida que aumenta la altitud.

La superficie quemada muestra una tendencia a aumentar con el incremento de la pendiente (coeficiente de Spearman es 0.15) (figura 3). En los primeros quintiles (pendientes inferiores a 4°) la superficie quemada es inferior a la que cabría esperar (16% frente a 42%), en el quintil 3° el valor observado y el esperado son similares y en los quintiles 4° y 5° (pendientes superiores a 7,7°) se registra una superficie quemada muy superior a la esperada (66,6% frente a 38,6%). El valor del estadístico χ^2 (tabla 2) está por encima del valor crítico, por lo que esta variable tiene una clara relación con la ocurrencia de incendios. Esta variable obtuvo el valor más elevado de este estadístico, lo que pone de manifiesto su importancia en la ocurrencia de incendios.

Figura 3
ALTITUD Y PENDIENTE



Considerando el conjunto de variables cuantitativas, se observa que la superficie quemada aparece principalmente en zonas con temperatura máxima de verano entre 25,8 y 30,1°C (el 54%), con precipitación de invierno entre 52 y 413 mm (el 62%), en sectores entre 336 y 774 m de altitud (62%), y con pendientes por encima de 7° (67%). De estas 4 variables, sólo la temperatura de verano y la pendiente obtuvieron un valor del estadístico χ^2 superior al valor crítico (tabla 2), lo que significa que la distribución de área quemada en los rangos utilizados es significativamente distinta a la distribución esperada (área susceptible de quemarse) y, por tanto, claramente relacionada con la incidencia de incendios forestales.

Tabla 2
ESTADÍSTICO χ^2 , DF=4

| Variable | χ^2 | P<0,1 | Valor crítico (99,9% de confianza) |
|---------------------------|----------|-------|------------------------------------|
| Temp máx de verano | 8.3 | 0.079 | 7,779 |
| Pendiente | 39.9 | 0.000 | |
| Altitud | 2.6 | 0.622 | |
| Precipitación de invierno | 5.9 | 0.204 | |

2. Variables categóricas

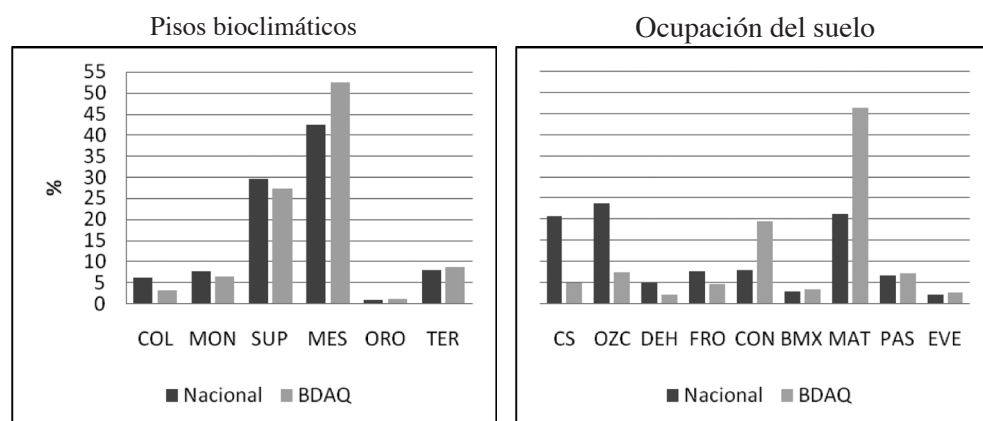
En el caso de las regiones bioclimáticas, se observa que la superficie quemada se concentra en las regiones mediterráneas (89,6%), especialmente en los pisos supra y mesomediterráneo, si bien éstas suponen el 81% del conjunto del territorio. En las regiones eurosiberianas (pisos colino y montano) se registra el 10% de la superficie quemada, porcentaje algo inferior al que suponen estas regiones en el conjunto nacional (14%). En la región mediterránea, todos los pisos registran un porcentaje superior de área quemada que la que detentan en el conjunto del territorio, a excepción del supramediterráneo. En esta región destaca el piso mesomediterráneo, donde se registra el 52% de la superficie quemada, pese a que sólo supone el 42% del conjunto del territorio. El valor del estadístico χ^2 está por debajo del valor crítico (tabla 3), por lo que esta variable no muestra una clara relación con la dinámica de los incendios.

Tabla 3
ESTADÍSTICO χ^2 , DF=10

| Variable | χ^2 | P<0,1 | Valor crítico (99% de confianza) |
|---------------------------------|----------|-------|----------------------------------|
| Ocupación de suelo (CLC) | 74.3 | 0.000 | 15,99 |
| Pisos Bioclimáticos (PB) | 8.2 | 0.609 | |

En el caso de la ocupación del suelo (figura 4), el 86% de la superficie quemada se produce en zonas forestales y el 12,2% en zonas de cultivos. La superficie forestal supone el 53% del territorio nacional. En las zonas forestales, todas las clases registran un porcentaje superior de área quemada que la que detentan en el conjunto del territorio, a excepción del bosque mixto y de las dehesas. En este sector destacan el matorral, donde se registra el 46,3% de la superficie quemada, pese a que sólo supone el 21,2% del conjunto del territorio, y las coníferas, con 19,5% y 7,9%, respectivamente. El valor del estadístico χ^2 es superior al valor crítico (tabla 3), lo que pone de manifiesto la estrecha relación entre estas variables.

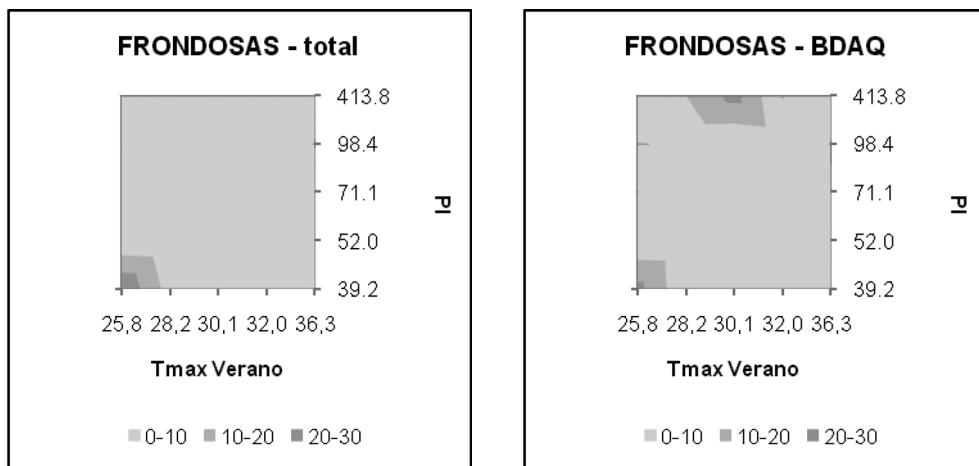
Figura 4
DISTRIBUCIÓN DE LA BDAQ Y SUPERFICIE TOTAL (%) POR PISOS BIOCLIMÁTICOS Y OCUPACIÓN DEL SUELO



5. Tabulaciones cruzadas combinadas

Atendiendo al espacio bidimensional creado por la combinación de la temperatura máxima de verano y la precipitación de invierno, en el conjunto del territorio, las frondosas se extienden de manera homogénea por todas las categorías, con una pequeña concentración en el sector de los valores mínimos de temperatura y precipitación —primer quintil— (figura 5).

Figura 5
DISTRIBUCIÓN DE LAS FRONDOSAS (%) EN RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DE INVIERNO (PI) Y LA TEMPERATURA MÁXIMA DE VERANO (Tmax verano)



Esta distribución tan homogénea está relacionada con la gran diversidad de especies que componen esta categoría, que engloba perennifolias y quejigales, junto a caducifolias y rebollares. La concentración que aparece en el primer quintil se corresponde principalmente con perennifolias esclerófilas y quejigales, principalmente localizadas en el Norte de Cataluña, Noroeste de Valencia y, en menor medida, en la Rioja. En el caso del área quemada, también aparece una concentración en ese primer quintil, que se corresponde con la mayor presencia de esta formación, pero destaca especialmente la superficie quemada de frondosas en sectores con valores altos de precipitación y valores medios de temperatura, en una proporción muy superior a la que representa esta formación en esos sectores. En este caso se trata también de especies perennifolias esclerófilas y quejigales, principalmente localizadas en la provincia de Cádiz.

La distribución del bosque mixto con respecto a las variables climáticas es muy similar a la de las frondosas, homogénea para todas las categorías, con una pequeña concentración en el sector de los valores mínimos de temperatura y precipitación (figura 6), que se ubica en las mismas regiones que las frondosas. En cuanto al área quemada, presenta esa misma distribución, con la excepción de un pequeño sector de baja precipitación y temperatura media donde la proporción de superficie quemada de bosque mixto es algo superior a la de esta formación

Figura 6
DISTRIBUCIÓN DE LOS BOSQUES MIXTOS (%) EN RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DE INVIERNO (PI) Y LA TEMPERATURA MÁXIMA DE VERANO (Tmax verano)

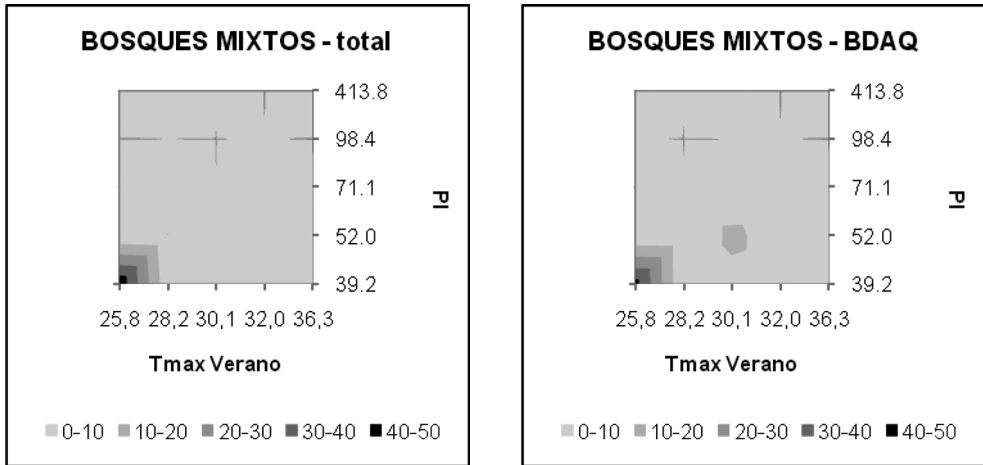
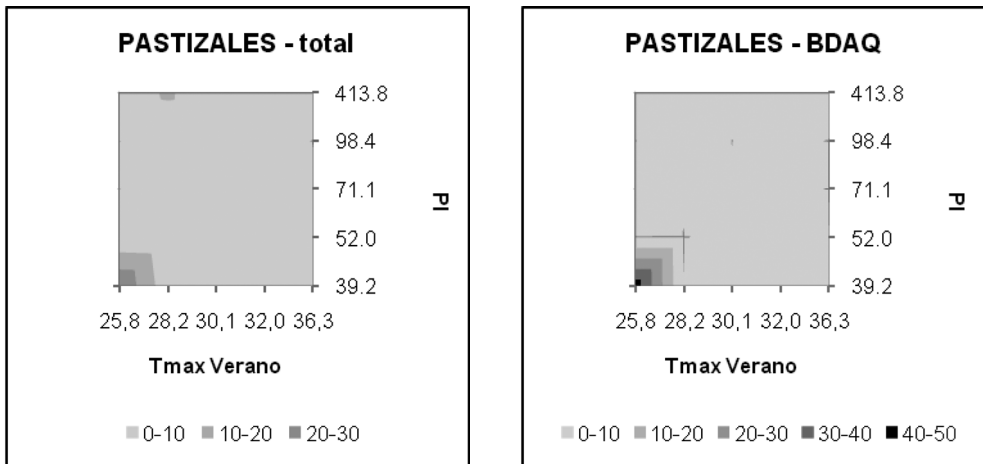


Figura 7
DISTRIBUCIÓN DE LOS PASTIZALES (%) EN RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DE INVIERNO (PI) Y LA TEMPERATURA MÁXIMA DE VERANO (Tmax verano)



en ese sector, localizada espacialmente en la parte más septentrional de la provincia de Murcia. En líneas generales, la proporción de superficie quemada de bosque mixto es similar a la que representa esta categoría en el conjunto territorial.

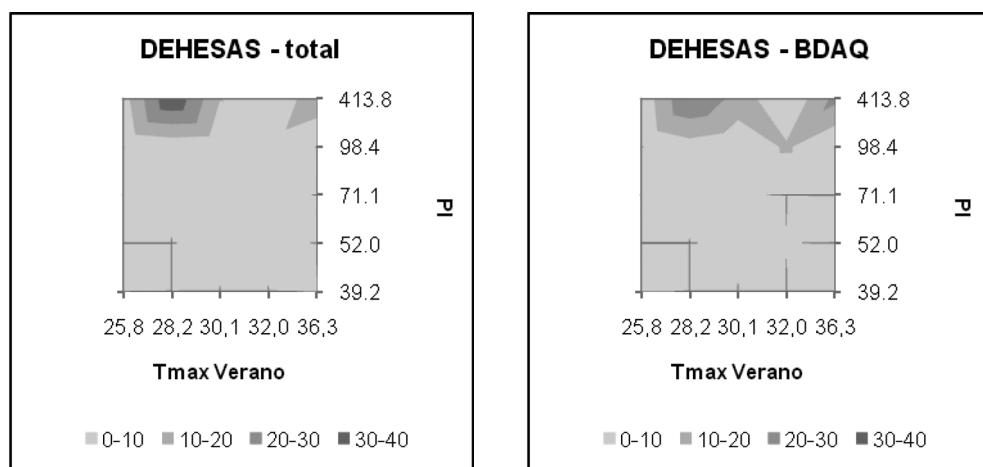
El caso del pastizal es muy similar a los dos anteriores, con una distribución homogénea para todas las categorías y una pequeña concentración en el sector de los valores mínimos de temperatura y precipitación (figura 7), localizada principalmente en el Sur de Aragón y

Norte de Cataluña. En cuanto al área quemada, presenta esa misma distribución, por lo que la proporción de superficie quemada de pastizal es similar a la que representa esta categoría en todas las condiciones climáticas.

Las dehesas se extienden de manera homogénea por todos los rangos climáticos, con una pequeña concentración en torno al sector de valores altos de precipitación, tanto con valores bajos/medios como altos de temperatura (figura 8). Estos sectores se ubican, principalmente, en los sectores de Zamora, Salamanca y Cádiz. En cuanto al área quemada, presenta esa misma distribución, es decir, se produce en las mismas condiciones climáticas que el conjunto de las dehesas, aunque la proporción de superficie quemada en el primer quintil es muy superior, pudiendo llegar a duplicar, a la que representa esta categoría en ese sector.

Figura 8

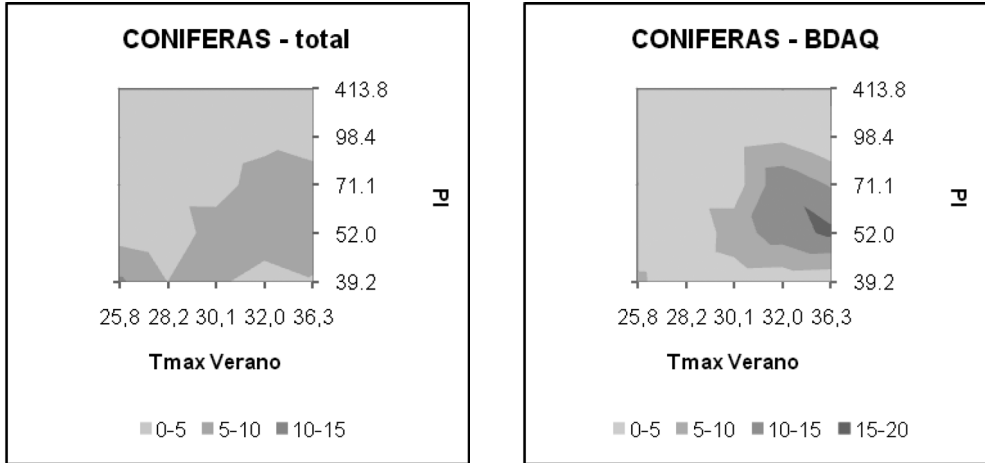
DISTRIBUCIÓN DE LAS DEHESAS (%) EN RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DE INVIERNO (PI) Y LA TEMPERATURA MÁXIMA DE VERANO (Tmax verano)



Las coníferas se concentran principalmente en el cuadrante de medias a altas temperaturas de verano y bajas a medias precipitaciones de invierno, localizado principalmente en Castilla-La Mancha, Este de Andalucía y sector central de Valencia, aunque también aparece una pequeña concentración en el primer quintil —bajas temperaturas y precipitaciones— (figura 9), ubicado en el sur de Aragón y Norte de Cataluña. En el área quemada se observa una tendencia similar en el primer sector, aunque la proporción de superficie quemada es muy superior, pudiendo llegar a duplicar, a la que representa esta categoría en dicho sector. Sin embargo, la distribución del área quemada no refleja la concentración que aparece en la distribución global de esta categoría en el primer quintil. Por tanto, se observa claramente una mayor ocurrencia de incendios en las formaciones de coníferas que se ubican en regiones con mayores temperaturas. En este sector de mayor temperatura, también se observa una mayor proporción de incendios en los sectores de menor precipitación.

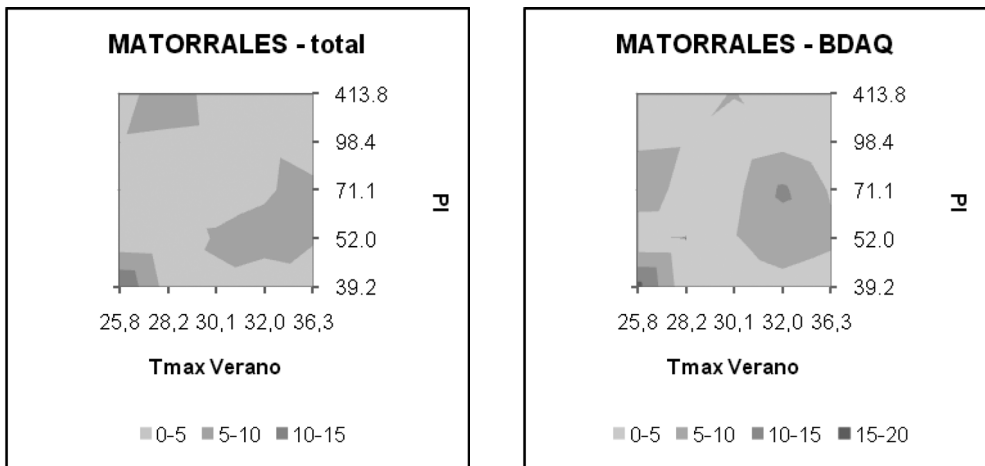
Los matorrales se concentran principalmente en sectores de precipitaciones de invierno bajas a medias, destacando un sector con temperaturas bajas, que se ubica principalmente en

Figura 9
 DISTRIBUCIÓN DE LAS CONÍFERAS (%) EN RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DE INVIERNO (PI) Y LA TEMPERATURA MÁXIMA DE VERANO (Tmax verano)



el Noreste de Castilla-León, Sur de Aragón, Norte de la Comunidad Valenciana y Cataluña, y otro con temperaturas medias a altas, localizado, principalmente, en el Oeste de Castilla-La Mancha, Sur de Extremadura y Comunidad Valenciana. También existe un sector en el que se combinan altas precipitaciones con temperaturas bajas a medias (figura 10), localizado en la cornisa Cantábrica. Esta distribución está relacionada con la gran diversidad de especies que componen esta categoría. La concentración que aparece en el primer quintil se corresponde, principalmente, con matorrales boscosos de transición; en el sector de altas temperaturas

Figura 10
 DISTRIBUCIÓN DE LOS MATORRALES (%) EN RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DE INVIERNO (PI) Y LA TEMPERATURA MÁXIMA DE VERANO (Tmax verano)

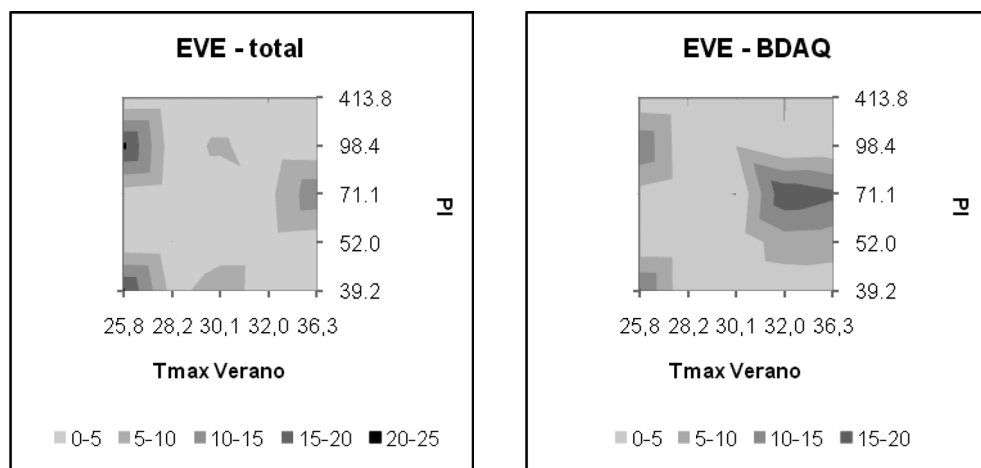


destacan matorrales subarbusivos o arbustivos muy poco densos y en el sector de altas precipitaciones destacan las landas y matorrales oceánicos y el matorral boscoso de transición.

En el caso del área quemada, aparecen las concentraciones en los sectores de precipitaciones bajas a medias, pero no la del sector de altas precipitaciones. Este último sector, que se localiza en la cornisa Cantábrica, muestra una proporción de área quemada de matorral menor a la que detenta esta formación en dicho sector. El sector de bajas precipitaciones y temperaturas muestra un comportamiento similar entre ambas superficies (matorral y matorral quemado); sin embargo, en el sector de precipitaciones bajas a medias y temperaturas medias a altas, con predominio de matorrales subarbusivos o arbustivos muy poco densos, la superficie quemada de matorral aumenta considerablemente con respecto a la que representa esta categoría en ese sector, especialmente localizada en la Comunidad Valenciana. En general, en estos sectores de bajas/medias precipitaciones se observa una mayor ocurrencia de incendios en las formaciones de matorral que se ubican en regiones con mayores temperaturas. Por último, en la distribución de la superficie quemada aparece un sector con temperaturas bajas y precipitaciones medias, que no aparecía en la distribución global del matorral, que se corresponde con grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso y matorral boscoso de transición. En este caso, se observa una proporción de superficie quemada de matorral superior a la que representa esta categoría en ese sector, localizada en regiones del Nordeste de Cataluña, Valencia, Álava, Burgos y León.

Los espacios de vegetación escasa se corresponden en su mayoría con zonas de matorral bajo ralo tanto en los Pirineos como en la Subbética, en zonas por encima de los 1000 m. Estos espacios se concentran principalmente en tres sectores, dos de ellos registran temperaturas bajas, uno con precipitaciones bajas y otro con precipitaciones medias altas, y el tercero temperaturas altas y precipitaciones bajas/medias (figura 11). Como en el caso de los matorrales, esta distribución está relacionada con la diversidad de espacios que componen

Figura 11
DISTRIBUCIÓN DE LOS ESPACIOS DE VEGETACIÓN ESCASA (%) EN RELACIÓN CON LA PRECIPITACIÓN DE INVIERNO (PI) Y LA TEMPERATURA MÁXIMA DE VERANO (Tmax verano)



esta categoría. En cuanto a la distribución del área quemada, se observa una tendencia similar en estos tres sectores, aunque la proporción de superficie quemada es muy superior en el sector de altas temperaturas e inferior en los sectores de baja temperatura a la que representa esta categoría en estos sectores. Como en las categorías anteriores, coníferas y matorral, se observa una mayor proporción de incendios en los sectores de mayor temperatura y menor precipitación.

VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De las variables utilizadas en el análisis, en función del estadístico χ^2 , sólo la temperatura de verano, la pendiente y la ocupación del suelo aparecen como explicativas de la distribución de la superficie quemada, considerando la división en quintiles utilizada. La precipitación de invierno, la altitud y los pisos bioclimáticos no ofrecen valores significativos.

En líneas generales, la temperatura de verano muestra una relación directa con la superficie quemada, con mayor proporción de ésta en los rangos de mayor temperatura, excepto para el rango de temperaturas más altas. Esta relación es acorde a la obtenida en estudios realizados en varias regiones de Estados Unidos y Canadá (Flannigan y Harrington, 1988; Swetnam, 1993; Westerling *et al.*, 2003; Westerling y Bryant, 2008; Westerling *et al.*, 2006), donde se obtuvieron correlaciones positivas entre área quemada y temperatura de verano. Este comportamiento se asocia a la desecación del combustible, que favorece tanto el inicio como la propagación del incendio y, por tanto, la superficie total quemada.

En el caso de la precipitación de invierno, los resultados obtenidos no son coherentes con los obtenidos por otros autores, que si encontraron una correlación consistente, de signo negativo, entre esta variable y el área quemada (Flannigan y Harrington, 1988; Swetnam, 1993). En nuestro caso, hay que considerar que el resultado obtenido se debe a la división en quintiles utilizada en el estudio, ya que la correlación entre ambas variables sin la división en rangos ofrece un valor de -0,66, acorde al de los estudios anteriormente citados. Por otra parte, algunos estudios han encontrado correlaciones de signo contrario, siendo mayor la superficie quemada cuanto mayor es la precipitación de invierno-primavera, ya que ésta contribuye al desarrollo de la vegetación y determina mayor cantidad de combustible disponible para el incendio (Westerling *et al.*, 2003; Westerling *et al.*, 2006). Esta última tendencia podría ser la causa de que en el último quintil de la precipitación de invierno se registre el 28,2% de la superficie quemada pese a que este rango de precipitación sólo suponga el 19,9% del territorio.

La pendiente muestra una relación directa con la superficie quemada, siendo mayor la proporción de área quemada en las zonas de mayor pendiente. Este dato está relacionado con varios factores, entre los que destacan, la ocupación por cultivos de las zonas más planas y que la pendiente favorece la propagación del incendio y dificulta su extinción. Otros estudios muestran resultados similares a los aquí obtenidos para zonas de montaña de la región mediterránea (Lozano *et al.*, 2008).

La altitud no ha mostrado una relación clara con la superficie quemada, si bien hay que reconocer su repercusión en los incendios forestales, ya que ésta condiciona otras variables que si la tienen, como las climáticas o las de ocupación del suelo. Este último hecho explica que en el primer quintil de la altitud se registre el 15,7% de la superficie quemada pese a que

este rango de altitud supone el 20,1% del territorio, ya que en estas zonas predominan los cultivos. En el caso de cubiertas forestales, en los pisos altitudinales inferiores las condiciones secas y cálidas pueden afectar sobremanera a los combustibles más finos, como pastizales y algunos tipos de matorrales, favoreciendo los incendios forestales. Esta relación ha sido puesta de manifiesto en un estudio realizado en la costa Oeste de EEUU (Westerling, 2008).

La ocupación del suelo muestra una clara influencia sobre la distribución de la superficie quemada. Los matorrales y las coníferas son las categorías que más superficie quemada presentan para toda la España peninsular, el 66%, pese a que estas categorías suponen el 29% del territorio. Este dato coincide con el obtenido en otros estudios de la Península Ibérica, donde el matorral es la especie vegetal más afectada (Icona, 1996; Lloret *et al.*, 2002), seguida de las coníferas (Pausas *et al.*, 2008). También es consistente con lo que sucede en el resto de los países mediterráneos del sur de Europa (Sebastián-López *et al.*, 2008). El caso opuesto lo presentan las categorías de cultivo, que suponen el 44% del territorio, pero sólo registran el 12% de la superficie quemada.

Los pisos bioclimáticos no han mostrado relaciones significativas con la superficie quemada. No obstante, parece mostrarse una ligera diferencia entre las regiones más frías y húmedas (pisos colino, montano y supramediterráneo), con proporciones de área quemada inferiores a las que estas regiones representan en el conjunto del territorio, y las regiones más cálidas y secas (termo y mesomediterráneo), donde la proporción de área quemada es superior a la del conjunto del territorio. Como en el caso de la altitud, aunque no se haya obtenido una relación clara con la superficie quemada, hay que tener en cuenta el interés de esta variable en los incendios forestales, ya que engloba variables que si la tienen, como las climáticas o las de ocupación del suelo.

La temperatura y la precipitación determinan la distribución espacial de las formaciones vegetales. Estas variables, junto a la duración de la estación seca, son las utilizadas para la clasificación de los bosques mediterráneos desarrollada por la FAO (M'herit, 1999). Además, temperatura y precipitación condicionan la disponibilidad e inflamabilidad de los combustibles en el ecosistema. La vegetación presente en un lugar determinado se rige por la disponibilidad de humedad, que es una función de la precipitación (a través de su efecto sobre el suministro de agua) y la temperatura (a través de su efecto sobre la evaporación de agua), de manera que la distribución espacial de la vegetación y de la ocurrencia de incendios está estrechamente relacionada con estas variables climáticas (Westerling, 2008).

En función de las categorías de ocupación del suelo utilizadas en este estudio, la temperatura aparece como un factor más determinante que la precipitación, con una mayor proporción de frondosas, bosques mixtos y pastizales en los sectores de temperatura más baja, en tanto que los matorrales y las coníferas lo hacen en los de valores más elevados. Atendiendo a la combinación de las variables climáticas y las categorías de ocupación del suelo, se observa, en líneas generales, una mayor proporción de superficie quemada de las diversas formaciones en los sectores de mayor temperatura y menor precipitación, aunque con algunas matizaciones dependiendo de la categoría. Este dato apunta a que posibles aumentos de temperatura podrían suponer un aumento de la superficie quemada, tal como señalan algunos autores (Piñol *et al.*, 1998).

Las tres formaciones que mejor responden a ese patrón son las coníferas, el matorral y los espacios de vegetación escasa. En los tres casos es evidente un aumento de la proporción de

área quemada con respecto a la proporción que detenta la formación en los sectores de mayor temperatura, en tanto que es menor en los de temperaturas más bajas. En el caso de las coníferas, en los sectores de altas temperaturas también se observa un aumento de la proporción de superficie quemada cuando las precipitaciones son menores, ya que las precipitaciones de invierno funcionan como un regulador de la humedad del suelo y por tanto es un controlador del crecimiento de estas formaciones (Swetnam y Betancourt, 1998) que repercute sobre manera en la mayor inflamabilidad de las coníferas en la temporada de incendios (Van Wagner, 1983). En el caso del matorral, la tendencia con respecto a la precipitación se invierte, mayor proporción de superficie quemada con valores más altos de precipitación. Esta tendencia se relaciona con el aumento de la carga de combustible disponible en la estación de incendios cuando la precipitación de invierno es mayor, lo que facilita la propagación y, por tanto, la extensión de los incendios, confirmando lo que otros autores han constatado en Portugal (Viegas, 1994) y en el Oeste de EE.UU. (Westerling, 2008). Los espacios de vegetación escasa también manifiestan este comportamiento, aunque en menor medida. Conviene tener en cuenta que estas tres formaciones son las más importantes en la ocurrencia de incendios forestales, ya que suponen el 68,5% de la superficie quemada, frente a un 31,3% de la superficie total.

Las cuatro formaciones restantes (frondosas, bosques mixtos, dehesas y pastizal), atendiendo a las variables climáticas, no muestran diferencias significativas entre la distribución de su superficie quemada y la de la categoría en conjunto. Por otra parte, cabe señalar que estas formaciones no son las más importantes en la ocurrencia de los incendios forestales, ya que suponen el 17,5% de la superficie quemada, frente a un 22% de la superficie total.

VII. CONCLUSIONES

Los análisis realizados muestran el grado de relación entre las variables biofísicas seleccionadas y la superficie quemada en la España Peninsular en el período 1991-2005, señalando aquellas en las que esta relación es estadísticamente significativa. Estas variables incluían diversos factores climáticos, topográficos y de ocupación del suelo, que condicionan el inicio y/o propagación de los incendios forestales. Las variables con mayor relación han sido ocupación del suelo, pendiente y temperatura máxima de verano. Las categorías de ocupación del suelo más influyentes en la ocurrencia de los incendios forestales de la zona de estudio son matorral y coníferas, que son las formaciones vegetales más afectadas por este fenómeno.

Los resultados apuntan a que la proporción de superficie quemada aumenta con el aumento de la temperatura, especialmente en el matorral y las coníferas, en tanto que la precipitación tiene un comportamiento diferente según la formación vegetal, con una relación directa con las coníferas (menor contenido de humedad) e inversa con el matorral (mayor carga de combustible).

La tabulación cruzada, simple o para combinaciones de variables, es una técnica útil en el análisis de la distribución de determinadas variables en un fenómeno territorial determinado, en este caso, la caracterización de diversas variables biofísicas en los incendios forestales mayores de 25 ha ocurridos en la España Peninsular entre 1991 y 2005. En este estudio se han obtenido resultados interesantes, que pueden ser útiles para establecer patrones espacia-

les, que determinen la superficie susceptible de quemarse en una región, bajo unas determinadas premisas. Además, los resultados obtenidos mejoran nuestro conocimiento sobre la distribución espacial de los incendios forestales. Al contar con todas las variables de entrada espacializadas para todo el territorio, su aplicación es sencilla y, por tanto, operativa. Su efectividad dependerá de la actualización de las variables y de la modificación de los patrones espaciales en el tiempo.

El uso de la información obtenida mediante estas técnicas de análisis puede ser utilizado en los planes de defensa/prevención contra incendios forestales, ya que, en cierta medida, permite conocer la influencia de estas variables biofísicas en el desarrollo de este fenómeno.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Dirección General para la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) la colaboración prestada para el uso de los datos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- AGUADO, I. y RODRÍGUEZ Y SILVA, F. (2004): «El factor meteorológico en los incendios forestales». en (Ed.): *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Madrid, CSIC. Instituto de Economía y Geografía, pp. 190.
- ANDERSON, H. E. (1982): *Aids to Determining Fuel Models For Estimating Fire Behavior*. Ogden (Utah). USDA.
- BADÍA-PERPINYÀ, A. y PALLARES-BARBERA, M. (2006): «Spatial distribution of ignitions in Mediterranean periurban and rural areas: the case of Catalonia». *International Journal of Wildland Fire*, 15, pp. 187-196.
- BRONCANO, M. J. y RETANA, J. (2004): «Topography and forest composition affecting the variability in fire severity and post-fire regeneration occurring after a large fire in the Mediterranean basin». *International Journal of Wildland Fire*, 13, pp. 209-216.
- DÍAZ-DELGADO, R., LLORET, F. y PONS, X. (2004): «Spatial patterns of fire occurrence in Catalonia, NE, Spain». *Landscape Ecology*, 19, pp. 731-745.
- ESRI (2009): *ArcGIS 9.3*. Redlands (CA). Environmental Systems Research Institute.
- FLANNIGAN, M. D. y HARRINGTON, J. B. (1988): «A Study of the Relation of Meteorological Variables to Monthly Provincial Area Burned by Wildfire in Canada (1953-1980)». *Journal of Applied Meteorology*, 27, 4, pp. 441-452.
- FLANNIGAN, M. D., LOGAN, K. A., AMIRO, B. D., SKINNER, W. R. y STOCKS, B. J. (2005): «Future Area Burned in Canada». *Climatic Change*, 72, 1, pp. 1-16.
- ICONA (1996): *Los incendios forestales en España durante el decenio 1986-1995*. Madrid. Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- JOHNSON, E. A. (1992): *Fire and vegetation dynamics: studies from the North American boreal forest*. Cambridge, United Kingdom. Cambridge University Press.
- LE HOUEROU, H. N. (1973): «Fire and vegetation in the Mediterranean basin». *Tall Timber Fire Ecology Conference*. Tallahassee, Florida (USA), pp. 237-255.

- LLORET, F., CALVO, E., PONS, X. y DÍAZ-DELGADO, R. (2002): «Wildfires and landscape patterns in the Eastern Iberian Peninsula». *Landscape Ecology*, 17, 8, pp. 745-759.
- LOZANO, F. J., SUÁREZ-SEOANE, S., KELLY, M. y LUIS, E. (2008): «A multi-scale approach for modelling fire occurrence probability using satellite data and classification trees: A case study in a mountainous Mediterranean region». *Remote Sensing of Environment*, 112, 3, pp. 708-719.
- M'HIRIT, O. (1999): «El bosque mediterráneo: espacio ecológico, riqueza económica y bien social». *Unasylva - Los Bosques del Mediterráneo - No 197*, 50, 2, pp. 1-10.
- MAINGI, J. K. y HENRY, M. C. (2007): «Factors influencing wildfire occurrence and distribution in eastern Kentucky, USA». *International Journal of Wildland Fire*, 16, 1, pp. 23-33.
- MARTÍNEZ, J. y MARTÍN, M. P. (2004): «Los incendios forestales en España. Análisis de incidencia y causalidad». en (Ed.): *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. Madrid, CSIC. Instituto de Economía y Geografía, pp. 12-22.
- MARTÍNEZ, J., VEGA-GARCÍA, C. y CHUVIECO, E. (2009): «Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain». *Journal of Environmental Management*, 90, pp. 1241-1252.
- MINNICH, R. A. y BAHRE, C. J. (1995): «Wildland fire and chaparral succession along the California-Baja California boundary». *International Journal of Wildland Fire*, 5, 1, pp. 13-24.
- MORENO, J. M. y OECHEL, W. C. (1994): *The role of fire in Mediterranean-type ecosystems*. Springer-Verlag. Vol. 107.
- MOUILLOT, F., RATTE, J. P., JOFFRE, R., MORENO, J. M. y RAMBAL, S. (2003): «Some determinants of the spatio-temporal fire cycle in a mediterranean landscape (Corsica, France)». *Landscape Ecology*, 18, pp. 665-674.
- NEARY, D. G., OVERBY, S. T., GOTTFRIED, G. J. y PERRY, H. M. (1996): *Nutrients in fire dominated ecosystems*. Fort Collins (CO). General Technical Report RM-289. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- NINYEROLA, M., PONS, X. y ROURE, J. M. (2005): *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. ISBN 932860-8-7. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.
- PARISIEN, M. A., VERNON, S. P., WANG, Y., LITTLE, J. M., BOSCH, E. M. y STOCKS, B. J. (2006): «Spatial Patterns of forest fires in Canada, 1980-1999». *International Journal of Wildland fire*, 15, pp. 361-374.
- PAUSAS, J. G., LLOVET, J., RODRIGO, A. y VALLEJO, R. (2008): «Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? - A review». *International Journal of Wildland Fire*, 17, 6, pp. 713-723.
- PIÑOL, J., TERRADAS, J. y LLORET, F. (1998): «Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain». *Climatic Change*, 38, pp. 345-357.
- ROTHERMEL, R. C. (1983): «How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires». *USDA Forest Service*, INT-143, pp.
- ROTHERMEL, R. C. (1991): «Predicting behaviour and size of crown fires in the northern Rocky Mountains». *USDA Forest Service*, Res. Pap. INT-115, pp.

- RUIZ DE LA TORRE, J. (1999): *Mapa forestal de España. Escala 1:1.000.000*. MMA. Secretaría General de Medio Ambiente. DGCN. Madrid, España
- SALAS, J. y CHUVIECO, E. (1994): «GIS applications for forest fire risk mapping». *Wildfire*, 3, pp. 7-13.
- SEBASTIÁN-LÓPEZ, A., SALVADOR-CIVIL, R., GONZALO-JIMÉNEZ, J. y SANMIGUEL-AYANZ, J. (2008): «Integration of socio-economic and environmental variables for modelling long-term fire danger in Southern Europe». *European Journal of Forest Research*, 127, 2, pp. 149-163.
- SWETNAM, T. W. (1993): «Fire History and Climate Change in Giant Sequoia Groves». *Science*, 262, 5135, pp. 885-889.
- SWETNAM, T. W. y BETANCOURT, J. L. (1998): «Mesoscale Disturbance and Ecological Response to Decadal Climatic Variability in the American Southwest». *Journal of Climate*, 11, 12, pp. 3128-3147.
- SYPHARD, A. D., RADELOFF, V. C., KEELEY, J. E., HAWBAKER, T. J., CLAYTON, M. K., STEWART, S. I. y HAMMER, R. B. (2007): «Human influence on California fire regimes». *Ecological Applications*, 17, 5, pp. 1388-1402.
- SYPHARD, A. D., RADELOFF, V. C., KEULER, N. S., TAYLOR, R. S., HAWBAKER, T. J., STEWART, S. I. y CLAYTON, M. K. (2008): «Predicting spatial patterns of fire on a southern California landscape». *International Journal of Wildland Fire*, 17, pp. 602-613.
- TAYLOR, A. H. y SKINNER, C. N. (2003): «Spatial Patterns and controls on historical fire regimes and forest structure in The Klamath Mountains». *Ecological Applications by the Ecological Society of America*, 13, 3, pp. 704-719.
- TRABAUD, L. (1994): «Post-fire Plant Community Dynamics in the Mediterranean Basin». en (Ed.): *The role of fire in Mediterranean-type ecosystems*, Springer-Verlag, pp. 1-15.
- TURNER, M. G. y ROMME, W. H. (1994): «Landscape dynamics in crown fire ecosystems». *Landscape Ecology*, 9, 1, pp. 59-77.
- VAN WAGNER, C. E. (1983): «Fire behaviour in northern conifer forests and shrublands». en (Ed.): *The role of fire in northern circumpolar ecosystems*. New York, New York, USA, John Wiley and Sons, pp. 65-80.
- VÁZQUEZ, A. (1996): «Régimen de incendios en España peninsular: 1974-94. Relaciones con la climatología y el paisaje. Tesis Doctoral.» *Universidad Complutense - Madrid*, pp. 295.
- VÁZQUEZ, A. y MORENO, J. M. (2001): «Spatial distribution of forest fires in Sierra de Gredos (Central Spain)». *Forest Ecology and Management*, 147, 1, pp. 55-65.
- VÁZQUEZ, A. y MORENO, J. M. (2006): «Recent fire regime in peninsular Spain in relation to forest potential productivity and population density». *International Journal of Wildland fire*, 15, pp. 397-405.
- VÉLEZ, R. (2000): *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. Madrid. McGraw-Hill.
- VERDÚ, F. y SALAS, J. (2010): «Cartografía de áreas quemadas mediante análisis visual de imágenes de satélite en la España peninsular para el periodo 1991-2005». *Geofocus*, 10, pp. 54-81.
- VIEGAS, D. X. (1994): «Some Thoughts on the Wind and Slope Effects on Fire Propagation». *International Journal of Wildland Fire*, 4, 2, pp. 63-64.

- WESTERLING, A. L. (2008): *Climate and Wildfire in the Western United States*. California. Scripps Institution of Oceanography. NOAA Regional Integrated Science and Assessment Program.
- WESTERLING, A. L., BROWN, T. J., GERSHUNOV, A., CAYAN, D. R. y DETTINGER, M. D. (2003): «Climate and Wildfire in the Western United States». *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84, 5, pp. 585-604.
- WESTERLING, A. L. y BRYANT, B. P. (2008): «Climate change and wildfire in California». *Climate Change*, 87 (Suppl 1), pp. 231-249.
- WESTERLING, A. L., GERSHUNOV, A., CAYAN, D. R. y BARNETT, T. P. (2002): «Long lead statistical forecasts of area burned in western U. S. wildfires by ecosystem province». *International Journal of Wildland Fire*, 11, pp. 257-266.
- WESTERLING, A. L., HIDALGO, H. G., CAYAN, D. R. y SWETNAM, T. W. (2006): «Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity». *Science*, 313, 5789, pp. 940-943.
- WHELAN, R. J. (1995): *The ecology of fire*. Cambridge University Press.