



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-436

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Incendios forestales en Cantabria: análisis del efecto de factores de diferente naturaleza a nivel municipal

MAESTRO-REQUENA, MG.¹, BUSQUÉ MARCOS, J.², OCTAVIO BOCIGAS, R.³ y MAREY-PÉREZ, FM.^{1, 4}

¹ GI-1716 PROEPLA, Proxectos e Planificación. Universidade de Santiago de Compostela.

² Centro de Investigación y Formación Agrarias de Cantabria (CIFA).

³ Servicio de Montes, Dirección General del Medio Natural de Cantabria - Grupo TRAGSA.

⁴ Centro Singular de Innovación y Tecnologías de la Información (CITIUS), Universidad de Santiago de Compostela.

⁴ Instituto de Estudos e Desenvolvimento de Galicia (IDEGA)

Resumen

La intencionalidad como una de las causas más frecuentes de los incendios forestales en Cantabria justifica la necesidad de diseñar una metodología robusta que permita acotar las motivaciones de este hecho. El objetivo es encontrar un criterio válido resultante de herramientas estadísticas en el que basar la toma de decisiones orientadas a la gestión. En este trabajo presentamos la metodología y los resultados de un modelo de regresión a partir de un análisis de componentes principales (ACP) para los 102 municipios de la región en base a variables seleccionadas por expertos de uso ganadero del territorio y vegetación existente, además de otras topográficas, climáticas y poblacionales. El dato de incendios utilizado es la proporción de superficie quemada acumulada en el periodo 2009-2014. Las tres primeras dimensiones ortogonales del análisis de componentes principales explican el 73% de la varianza total. Se obtienen un modelo de regresión en el que intervienen las tres dimensiones del ACP como variables explicativas.

Palabras clave

Causalidad, análisis de componentes principales, distribución Tweedie

1. Introducción

Los incendios forestales constituyen un grave problema en la Comunidad Autónoma de Cantabria, tanto por los daños que ocasionan de modo inmediato en las personas y bienes como por la grave repercusión que tiene la destrucción de extensas masas forestales sobre el medio ambiente (Infocant, Decreto 16/2007, de 15 de febrero, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil de la Comunidad Autónoma de Cantabria sobre Incendios Forestales). En el decenio 2006-2015 se quemaron de media casi 8000 ha anuales, con valores máximos que rondan las 16500 ha. Alrededor del 70% de toda esta superficie quemada pertenece a vegetación de tipo matorral o monte bajo (MAPAMA, 2006-2015).

La causa del 80,53% de los incendios para el periodo 1985-2014 es la intencionalidad, dato bastante mayor al de la media nacional (53,86%) (PEPLIF, 2017). La motivación de esta intencionalidad es, en el 70% de los casos, la regeneración de pasto y la eliminación de matorral. En las últimas décadas se ha llevado a cabo en todo el norte peninsular un cambio en los patrones de uso del suelo debido, principalmente, a un envejecimiento de la población y a un abandono del medio rural (MAREY-PÉREZ & RODRÍGUEZ-VICENTE, 2011). Las consecuencias de esta evolución son un descenso del número de ganaderos, un aumento del número de cabezas de ganado de cada rebaño y una composición diferente de los mismos que favorece al ganado mayor sobre ovejas y cabras (<http://www.ine.es>). Estos cambios llevan asociados una concentración del ganado y disminución de la capacidad de manejo que generan desequilibrios favorables a la matorralización (GARCÍA-RUIZ et al., 1996), aumentando el riesgo y la peligrosidad de los futuros incendios.

Las variables ambientales de la región bien merecen una breve descripción por su directa afección sobre el tema que nos ocupa. Cantabria se encuentra, con carácter general, bajo un clima atlántico templado con una estación seca y templada en verano (AEMET, 2011). Aún con esta premisa, un análisis de los datos del último decenio evidencia que la mayor incidencia se

corresponde con los meses de febrero, marzo y abril, concentrándose, en este intervalo, alrededor del 70% de los siniestros (PEPLIF, 2017). En cuanto a la distribución territorial de los incendios, aunque existe una notable afección en buena parte de los municipios de la zona, cabe destacar los municipios de Vega de Pas (VPs), Soba (Sob), Arredondo (Arr), Selaya (Sel) y San Roque de Riomiera (SRo) (Comarcas Forestales 8, 9 y 10, Figura 1). En estos 5 municipios se concentra más del 68% de la superficie incendiada en la zona y casi el 41% de la superficie afectada en toda la Comunidad (PEPLIF, 2017).

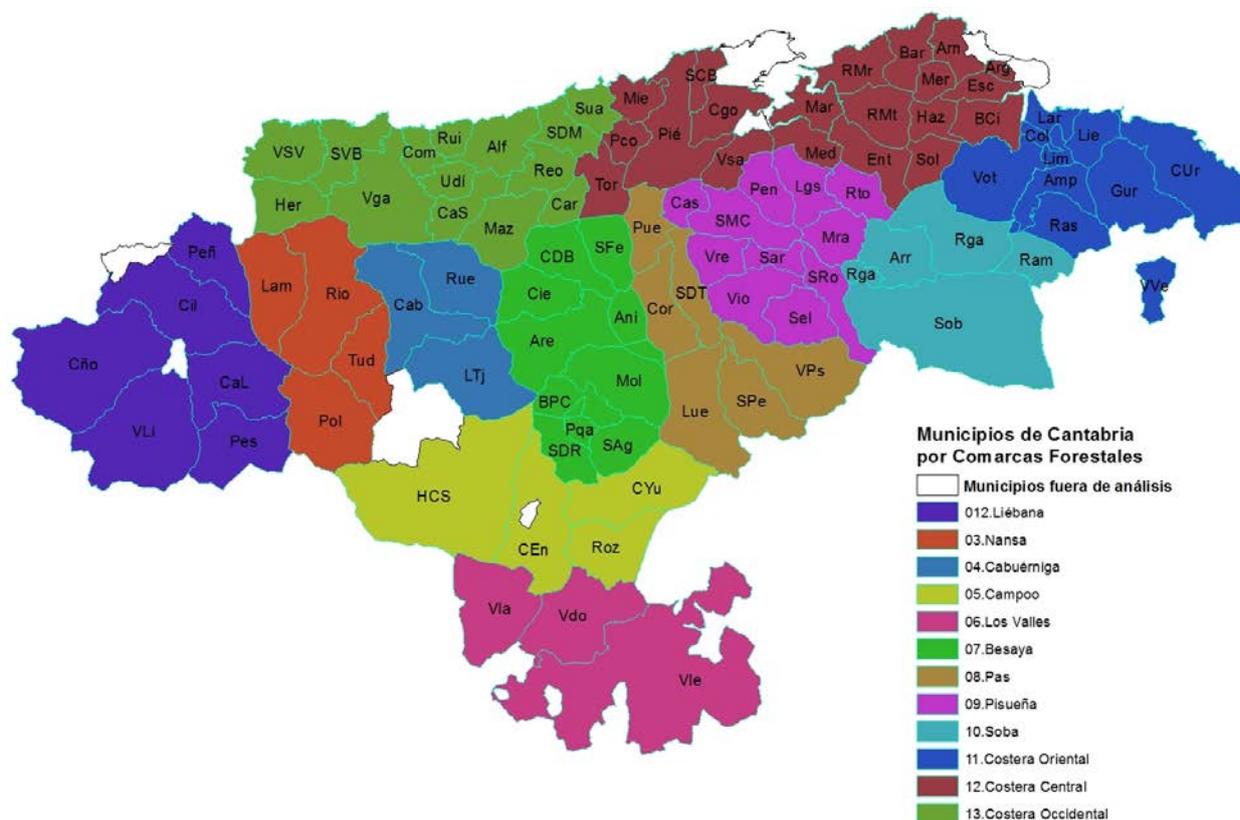


Figura 1. Comarcas forestales de Cantabria y municipios que las componen

El vigente Plan Forestal de Cantabria (2005-2019) determina que la distribución superficial del riesgo de incendio (determinada por la integración del riesgo estadístico y el riesgo de propagación) en el ámbito de Comunidad Autónoma de Cantabria, es en más de la mitad de la superficie un riesgo de incendios muy alto, mientras que un 27% del territorio presenta un riesgo de incendios extremo. Sólo la décima parte de la superficie regional presenta riesgo de incendios bajo a medio.

En este trabajo se presentan los primeros resultados sobre el análisis de la causa de los incendios forestales en la comunidad de Cantabria.

2. Objetivos

La complejidad de la situación descrita anteriormente, hace necesaria la confección de una herramienta que permita vislumbrar las causas de mayor peso y su relación, de tal forma que podamos realizar un análisis del riesgo de incendio preciso y cuantificado geográficamente. Con ello dispondremos de la base para obtener una herramienta que permita, mediante un criterio técnico, abordar acciones de gestión sobre el territorio y facilitar el proceso de análisis de la vulnerabilidad del mismo. En este ejercicio combinamos variables topográficas, sociales, de vegetación, ganaderas y

climáticas para buscar su relación con el número de incendios y la proporción de superficie quemada acumulada a nivel municipal en Cantabria.

3. Metodología

La metodología se divide en tres fases: (i) elección de variables explicativas (ii) un análisis de componentes principales (PCA) de las variables explicativas y (iii) un modelo de regresión con la proporción de superficie quemada acumulada a nivel municipal como variable respuesta.

Elección de variables

Las variables elegidas como explicativas fueron seleccionadas por un grupo de expertos, teniendo en cuenta las premisas sobre la singularidad casuística de incendios en la comunidad de Cantabria expuestas en el apartado introductorio. Así, se confecciona una base de datos inicial que incluye 15 variables divididas en cinco grupos (Tabla 1): sociales, topográficas, de vegetación, ganaderas y climáticas. Se escogió el municipio como unidad de observación por ser una unidad administrativa independiente y por permitir una primera interpretación de las particularidades locales que causan los incendios forestales en la región.

Tabla 1. Variables explicativas seleccionadas para el análisis. Elaboración propia a partir de la fuente citada. INE: Instituto Nacional de Estadística; IGN: Instituto Geográfico Nacional; GC: Gobierno de Cantabria (datos no publicados); SITRAN: Sistema de Trazabilidad Animal del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente; UC: Universidad de Cantabria

Grupo	Variable	Descripción	Unidades	Fuente
Sociales	DenExpl	Densidad de explotaciones ganaderas	Explotaciones/km ²	INE
	DenEmpr	Densidad de empresas	Empresas/habitante	INE
	DenPob	Densidad de población en cada municipio	Habitantes/km ²	INE
Topográficas	pntesd	Desviación estándar de la pendiente	%	IGN
	Rugos	Índice de rugosidad	m/Km	IGN
Vegetación	pMAT	Porcentaje de matorral sobre superficie municipal	%	GC
	pHER	Porcentaje de herbáceo sobre superficie municipal	%	GC
	p1CAD	Porcentaje de caducifolias sobre superficie arbolada	%	GC
	p1CON	Porcentaje de coníferas sobre superficie arbolada	%	GC
	p1HBF	Porcentaje de herbáceas buenas forrajeras sobre superficie herbácea	%	GC
	p1ESP	Porcentaje de leguminosas espinosas sobre superficie de matorral	%	GC
Ganaderas	CGGM	Carga ganadera de ganado mayor (vacuno y equino) sobre superficie herbácea	unidad	SITRAN
	CGGm	Carga ganadera de ganado mayor (vacuno y equino) sobre superficie herbácea en cada municipio	unidad	SITRAN
Climáticas	Prec	Precipitación media anual por municipio	mm	UC
	ΔT	Diferencia entre la temperatura media de las máximas y la media de las mínimas	°C	UC

Las variables de tipo social son la densidad de explotaciones ganaderas, la densidad de empresas y la densidad poblacional. Un valor alto en el número de explotaciones ganaderas y bajo en el número de habitantes caracterizan, a priori, zonas rurales y poco pobladas, con gran actividad ganadera pero poco intensificada. En cambio, un elevado número de empresas podría ser indicativo de zonas más industrializadas y, por lo tanto, más urbanas.

En el grupo de variables topográficas se incluyen la desviación típica de la pendiente y el índice de rugosidad del terreno, características ambas de la irregularidad o accidentalidad del medio. Estas características topográficas determinarán, en parte, la propagación del fuego en un incendio, además del tipo de combustible (vegetación) que pueda desarrollarse.

Como variables de vegetación se eligen aquellas que tengan una clara interpretación: de manera más general, la proporción de la superficie municipal ocupada por matorral o por vegetación herbácea, y a nivel más específico, proporción de leguminosas espinosas (*Ulex galli* y *Genista hispánica* subsp. *occidentalis* principalmente) sobre superficie de matorral, proporción de arbolado caducifolio, coníferas y eucaliptos sobre superficie arbolada y proporción de herbáceas buenas forrajeras (vegetación herbácea eliminando aquellas zonas dominadas por *Molinia caerulea*, *Brachypodium pinnatum*...) sobre superficie herbácea. La interpretación de la relación de los incendios forestales con estas variables puede ayudarnos a comprender si las comunidades vegetales que entendemos como las de mayor riesgo de incendio lo son en realidad.

El uso ganadero del terreno condiciona, en parte, el estado del mismo. Se incluyen como variables de este grupo la carga ganadera de ganado mayor (vacuno y equino) y menor (ovino y caprino) expresadas en UGM (Unidad de Ganado Mayor) en cada municipio.

Por último, se incorporan variables de tipo climático: precipitación media anual y diferencia entre las temperaturas media de las máximas y media de las mínimas. Estos datos se obtienen del trabajo de GUTIÉRREZ et al. (2010), en el que, tomando de referencia el periodo 1973-2003 y aplicando técnicas geoestadísticas estiman datos diarios de temperaturas y precipitaciones a una escala fina (1 km²).

Una vez la base de datos está completa se hace una evaluación gráfica de los valores municipales para cada par de variables respuesta con el objetivo de conocer su distribución y cómo se relacionan entre ellas.

Las variables explicativas expresadas en proporciones (variables de vegetación) se transforman mediante la función arcoseno del valor absoluto de la raíz cuadrada.

Análisis de componentes principales

Se realiza un análisis de componentes principales (ACP; HAIR et al. 2007) a partir de la base de datos que contiene las 15 variables para cada uno de los registros municipales. Para ello se normalizan las variables mediante la transformación de Box-Cox (1964) y se estandarizan las variables transformadas, comprobando la normalidad de las mismas mediante el test de Shapiro (1965). Se determina el número óptimo de ejes mediante los criterios de Kaiser-Gutman y de "Broken stick".

Modelo de regresión

Se utiliza una distribución de tipo Tweedie para la elaboración de un modelo (Modelo Lineal Generalizado, MLG) probabilístico que explique la proporción de superficie quemada acumulada a nivel municipal (SUPqa) a partir de los ejes resultantes del PCA (nuevas variables explicativas) y sus interacciones, evaluando el mejor modelo de acuerdo al parámetro de desviación residual.

Todos los análisis geoestadísticos se realizaron con los programas R (<http://www.R-project.org>) y ArcGIS (<https://www.arcgis.com>).

4. Resultados

Después de analizar gráficamente los valores municipales para cada variable se observan comportamientos extremos de algunos municipios. Se eliminan de la base de datos Santander, Potes, Reinosa, Santoña, Tresviso, Noja y Astillero, reduciéndose la base de datos a 95 registros (municipios).

Tras la realización del PCA, el criterio de Kaiser-Gutman recomienda la elección de los cuatro primeros ejes, con una varianza acumulada explicada del 80,11%. El criterio de "Broken stick", sin

embargo, favorece la elección de los dos primeros ejes del PCA (62,53% de varianza acumulada explicada). La decisión final es la selección de los tres primeros ejes del PCA, ya que explican una varianza acumulada suficiente (73,15%: 43,64% el primer eje, 18,89% el segundo y 10,62% el tercero). Esta alternativa está justificada, además, por la mayor comprensibilidad de describir el comportamiento de las variables explicativas en un espacio de tres dimensiones. La mayoría de las variables de partida tuvieron cargas altas (mayores de 0,85 o menores de -0,85) en uno solo de los componentes del ACP (Figura 2), exceptuando la carga ganadera de ganado mayor (CGGM) y la densidad de empresas (DenEmpr). El primer eje (PC1) está relacionado positivamente con el índice de rugosidad (Rugos=1,25), el porcentaje de matorral en el municipio (pMAT=1,38), porcentaje de caducifolias sobre superficie forestal municipal (p1CAD=1,33) y con la diferencia entre la temperatura media de las máximas y la media de las mínimas ($\Delta T=1,34$), y negativamente con la densidad de explotaciones ganaderas (DenExpl=-1,36), densidad de población (DenPob=-1,42), porcentaje de coníferas sobre superficie arbolada (p1CON=-1,38) y con porcentaje de herbáceas buenas forrajeras sobre superficie herbácea (pHBF=-1,05). El segundo eje (PC2) se relaciona positivamente con la desviación estándar de la pendiente (pntesd=1,16) y con la precipitación media anual (Prec=1,28), y de manera negativa con ninguna variable de manera destacada. El tercer eje (PC3) se relaciona de manera positiva con la carga ganadera de ganado menor (CGGm=1,04) y negativamente con porcentaje de herbáceas en el municipio (pHER=-1,07). Estos resultados permiten hacer una descripción genérica de la naturaleza de cada uno de los ejes. PC1 describe zonas escasamente pobladas y aprovechadas, con superficies de matorral y arbolado autóctono y pocas repoblaciones (coníferas y eucalipto). Valores altos de PC1 podrían relacionarse con zonas rurales tendentes al abandono. El PC2 tiene una interpretación más compleja; de este eje sólo se puede decir que caracteriza zonas abruptas y con elevadas precipitaciones, relacionado, probablemente, con aquellos municipios que se encuentren en las cabeceras de los valles (zonas más montañosas). PC3 define aquellos municipios con gran cantidad de UGM de ovejas y cabras y poca superficie de pasto herbáceo. Por lo general el ganado menor es capaz de aprovechar comunidades de vegetación leñosas mucho mejor que el ganado mayor, por lo que parece coherente que estos rebaños aparezcan en zonas donde el aprovechamiento en extensivo está se realiza sobre comunidades vegetales no herbáceas.

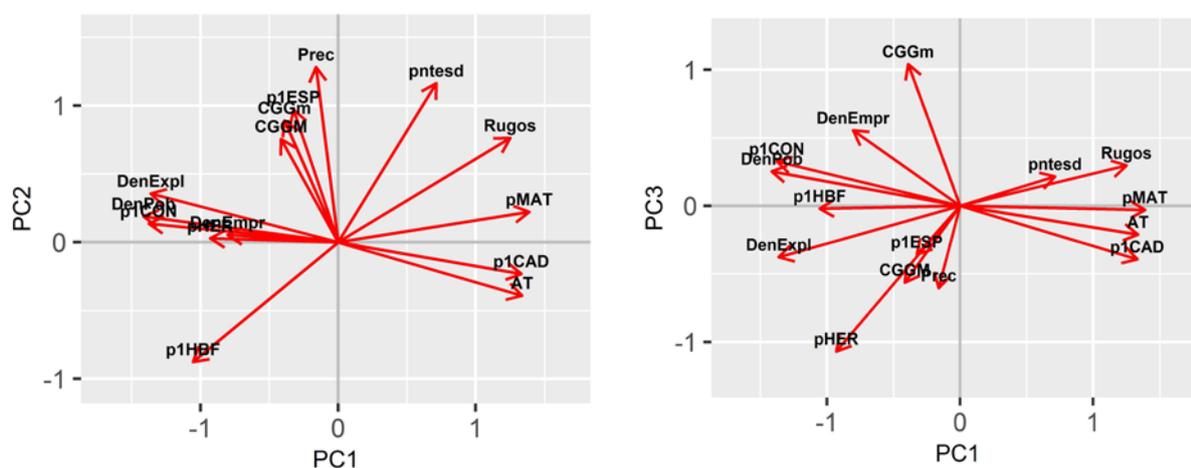


Figura 2. Puntuación de las variables de partida en los tres primeros ejes del análisis de componentes principales.

Las puntuaciones de los municipios de Cantabria para estos tres ejes se representan gráficamente agrupadas por comarcas forestales en la Figura 3. En general, parece que la distribución de los municipios que componen cada comarca forestal está bastante concentrada dentro de este espacio de tres dimensiones. Fijándose en las filas de los gráficos de esta figura, las comarcas forestales que la componen tienen un sentido espacial: son comarcas próximas ordenadas de oeste a este (en la primera fila Liébana está al oeste de Nansa y esta al oeste de Cabuérniga). En

cuanto a la distribución municipal en PC1, parece haber una tendencia en la que las comarcas forestales más orientales se sitúan más a la derecha del eje y las más occidentales tienden a desplazarse a la izquierda del eje. Los municipios costeros son, evidentemente, los que toman los valores más negativos en esta medida por ser los que presentan una mayor densidad de la población y donde se concentran principalmente las repoblaciones forestales y los prados de siega. Otra apreciación es que según la tendencia anterior, la SUPqa va a amentado en este sentido del eje. Su explicación también parece sencilla: zonas menos antropizadas y con menos manejo del terreno están, en general, relacionadas con superficies en las que se acumula combustible. La excepción a esta observación es la zona de Valles Pasiegos y Soba (Pas, Pisueña y Soba), en las que todas presentan municipios con una SUPqa mayor del 80% (en estas comarcas los incendios forestales suelen ser en superficies herbáceas para regeneración de pasto y con recurrencia anual). Respecto al PC2, los municipios con mayor SUPqa tienden a ir hacia valores más altos de este eje. Solamente Campoo-Los Valles tiende a valores negativos de esta dimensión: son zonas relativamente llanas y con un clima bastante más continental al del resto de la comunidad. Las zonas pasiega y sobana son las que, de manera más global, se inclinan a tomar valores negativos de PC3. La comarca lebaniega (Liébana) y la Costera Oriental tienden a valores positivos del eje; son muchos de los municipios que conforman estas comarcas los que presentan valores más altos de ganado menor a nivel regional. El resto de municipios se mantienen en valores en torno al origen de este eje.

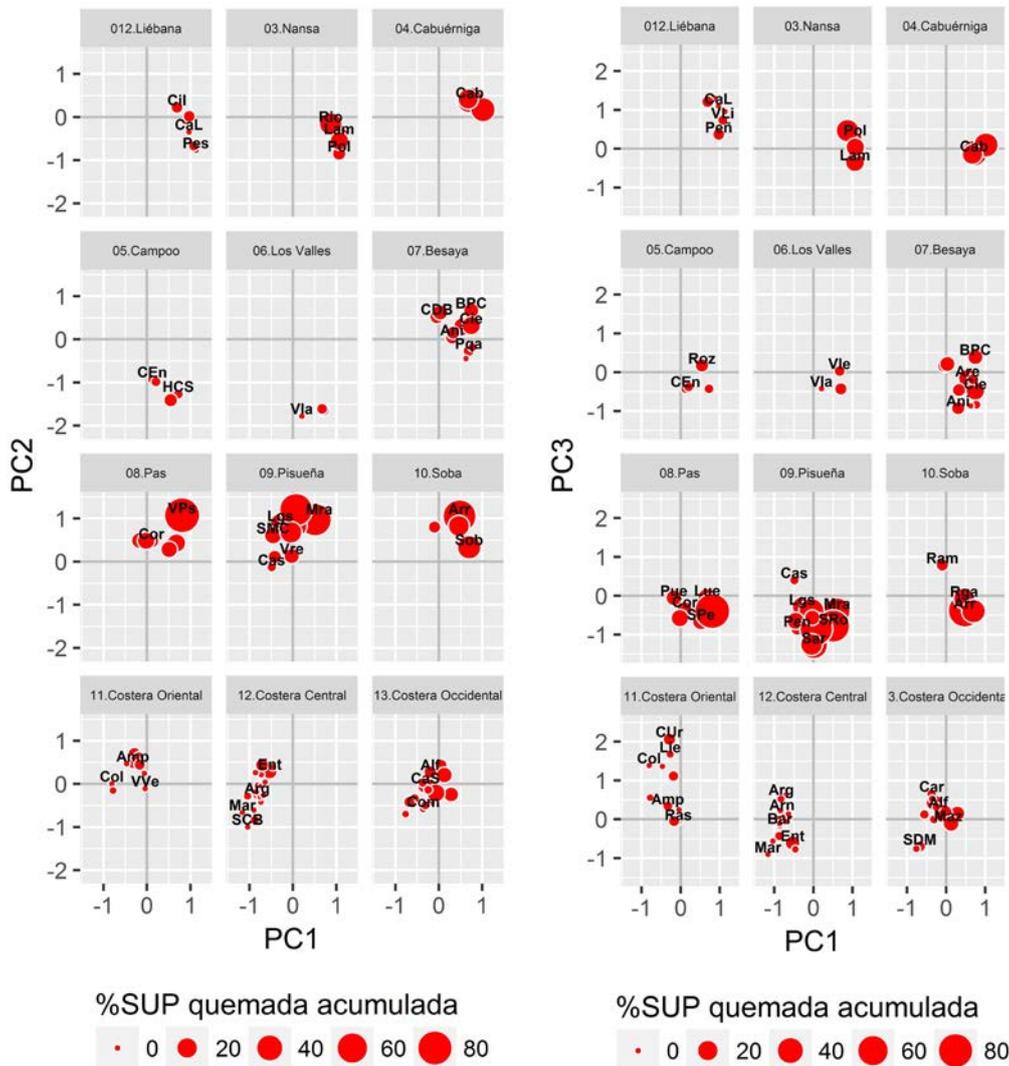


Figura 3. Puntuaciones de las variables de partida para los municipios pertenecientes a las comarcas forestales para los tres primeros ejes del análisis de componentes principales. El tamaño de los puntos rojos indica el porcentaje de superficie quemada acumulada.

La función resultante del modelo que relaciona los tres primeros ejes del ACP con la SUPqa es la siguiente:

$$\text{SUPqa} = 1,12 + 1,67 * \text{PC1} + 1,57 * \text{PC2} - 0,85 * \text{PC3}$$

Los tres ejes estudiados presentan una significancia de $p > 0.05$, incluyéndose en el modelo final, no así sus interacciones. Puede observarse de manera rápida que son PC1 y PC2 los ejes que tienen una relación positiva con la variable dependiente, mientras que con PC3 esta relación es negativa. El orden de los factores que acompañan a los tres ejes va decreciendo, de manera que el más relacionado con SUPqa es PC1. El valor de desviación residual es el más bajo de todas las pruebas realizadas (218 sobre 723 de desviación nula).

5. Discusión

Podría decirse que las variables seleccionadas inicialmente como explicativas cumplen su función relacionándose bien con la variable respuesta.

Los modelos probabilísticos han sido tradicionalmente utilizados para relacionar variables relativas a incendios forestales con variables explicativas de diferente naturaleza. Entre otros, PREISLER & WESSTERLINGS (2007) y COSTAFAEDRA et al. (2013) han demostrado que puede utilizarse MLG para obtener buenas predicciones sobre la probabilidad de incendios forestales. La divergencia en sus trabajos viene, entre otras, en la selección de las variables explicativas: antropogénicas (PRASAD et al., 2008), de vegetación (GONZÁLEZ & PUKALA, 2007)..., pero raramente se encuentran referencias a la utilización de variables de tipo puramente ganadero.

La metodología descrita puede recomendarse como primer análisis en un procedimiento estadístico en la selección de variables para la elaboración de modelos probabilísticos de riesgo de incendio forestal.

6. Conclusiones

El análisis de componentes principales realizado ha permitido ratificar la influencia de la colección de variables consideradas como posibles explicativas de una variable respuesta.

Esta parece ser una técnica estadística recomendada en este tipo de análisis, ya que ordena las variables iniciales descartando, si fuera necesario, correlaciones entre las mismas u otras poco correlacionadas.

El modelo con distribución Tweedie ha permitido elaborar una regresión con unos datos de partida que presentaban una distribución asimétrica (el 23% de los datos presentaba valores 0 de SUPqa).

Sería interesante comparar los resultados obtenidos en este trabajo con un análisis paralelo en el que se tomase como variable respuesta la proporción de superficie quemada absoluta a nivel municipal, pudiendo observar el efecto de las variables explicativas sobre la recurrencia de incendios.

Por último, podría pensarse en incluir otras variables relacionadas con el uso del suelo incorpora el nuevo concepto del Coeficiente de Admisibilidad de Pastos (Reglamento Delegado de la UE 640/2014 Artículo 10.1).

7. Bibliografía

AEMET; 2011. Atlas climático ibérico/Iberian climate atlas. Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Rural y Marino. 15-18. Madrid.
 BOX, G.E.P.; COX, D.R.; (1964). An analysis of transformations. J R Stat Soc 211-234.

- GARCÍA-RUIZ, J.M.; LASANTA, T.; RUIZ-FLANO, P.; ORTIGOSA, L.; WHITE, S.; GONZÁLEZ, C.; MARTÍ, C.; 1996. Land-use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landsc Ecol* 11(5): 267-277.
- GONZÁLEZ, J.R.; PUKALA, T.; 2007. Characterization of wildfire events in Catalonia (north-east Spain). *Eur J Forest Res* 126: 421-429.
- COSTAFAEDRA, S.; GARCÍA, A.; VEGA, C.; 2013. The relationship between landscape patterns and human-caused fire occurrence in Spain. *For Syst* 22(1): 71-81.
- GUTIÉRREZ, J.M.; SAN MARTÍN, D.; FERNÁNDEZ, J.; PONS, M.R.; 2010. Escenarios regionales probabilísticos de cambio climático en Cantabria: termopluviometría. Gobierno de Cantabria-Universidad de Cantabria. 108 pp. Santander.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.L.; BLACK, W.C.; 2007. Análisis multivariante. Prentice Hall Iberia. Madrid.
- MAPAMA; 2006-2015. Estadística General de Incendios Forestales. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.
- MAREY-PÉREZ, F.M. & RODRÍGUEZ-VICENTE, V.; 2011. Factors determining forest management by farmers in northwest Spain: application of discriminant analysis. *For Policy Econ* 13: 318-327
- PEPLIF; 2017. Plan Estratégico de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales. Consejería de Medio Rural, Pesca y Alimentación, Gobierno de Cantabria. Santander. (En edición).
- PRASAD. V.K.; BADARINATH, K.V.S.; EATURU, A.; 2008. Biophysical and anthropogenic controls of forest fires in the Deccan Plateau, India. *J Environ Manage* 86(1): 1-13.
- PREISLER, H.K.; WESTERLING, A.L.; 2007. Statistical model for forecasting monthly large wildfire events in western United States. *J Appl Meteorol* 46(7): 1020-1030.
- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B.; 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591-611