

# LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA REGENERACIÓN VEGETAL TRAS EL FUEGO: APROXIMACIÓN METODOLÓGICA PARA LA CARTOGRAFÍA DE ZONAS SUSCEPTIBLES A LA EROSIÓN MEDIANTE SIG Y TELEDETECCIÓN

Fernando Pérez-Cabello, Juan de la Riva Fernández, Raquel Montorio Llovería, Alberto García-Martín

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 50009, España. E-mail: [fcabello@unizar.es](mailto:fcabello@unizar.es), [delariva@unizar.es](mailto:delariva@unizar.es), [montorio@unizar.es](mailto:montorio@unizar.es), [algarcia@unizar.es](mailto:algarcia@unizar.es)

## Resumen

La reactivación de los procesos de erosión como consecuencia de la eliminación de la cubierta vegetal constituye uno de los principales problemas derivados de los incendios forestales. A escala regional, la regeneración vegetal postincendio depende de una serie de factores humanos y físicos. Entre estos últimos destacan especialmente la severidad del fuego, las características topográficas de las zonas afectadas y el tipo de comunidad vegetal incendiada. En este marco, la resolución espacio-temporal y espectral de los productos de teledetección permite reconocer la distribución de los niveles de recuperación vegetal y, en consecuencia, la predisposición de los ecosistemas a presentar problemas de erosión severos en el tiempo. Asimismo, los SIG posibilitan el análisis de las relaciones entre los niveles de regeneración vegetal detectados mediante imágenes de satélite y los diferentes parámetros ambientales, permitiendo la elaboración de modelos regionales para identificar zonas de alta susceptibilidad erosiva postincendio. El objetivo del trabajo consiste en el análisis cartográfico de la regeneración vegetal en una zona quemada del Prepirineo oscense y en la identificación de los factores físicos explicativos de la distribución de las zonas de escasa recuperación vegetal. Metodológicamente, tras garantizar la consistencia radiométrica y geométrica de una colección de imágenes Landsat-TM, se procede a la cartografía de los perímetros y niveles de severidad correspondientes a una zona incendiada en 1990. Para la cartografía de la recuperación vegetal se ensaya la utilización de diferentes neocanales y compuestos multitemporales que, posteriormente, se relacionan con parámetros físicos estructurales referidos a las zonas quemadas: iluminación, orientación, pendiente, morfología topográfica, formaciones vegetales y parámetros climáticos. Mediante la utilización de modelos de regresión logística se concluye que las bandas espectrales 3 y 4 del sensor Thematic Mapper, la pendiente, la iluminación y el tipo de estrategia con que la vegetación dominante responde al fuego son los predictores más importantes para modelizar la variabilidad espacial de la regeneración vegetal tras el fuego, considerándolos en escenarios diferentes de severidad.

**Palabras Clave:** incendio forestal, regresión logística, *Landsat Thematic Mapper*, modelado cartográfico, severidad, Prepirineo oscense.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son uno de los principales factores que explican la configuración y la dinámica de los paisajes mediterráneos (TRABAUD, 2002). Las consecuencias ecológicas del fuego dependen de las interacciones entre diferentes factores ambientales de carácter local, así como del tipo de gestión que se aplique con posterioridad a la perturbación (NAVEH, 1990). Desde el punto de vista geomorfológico la combustión de la vegetación constituye la supresión del principal factor controlador de las pérdidas de suelo. En numerosos trabajos se ha descrito el incremento de las tasas de erosión después del fuego debido a la destrucción de las propiedades físico-químicas del suelo y a la alteración de la cubierta vegetal (SOTO *et al.*, 1991; SOLER Y SALA, 1992; DIECKMANN *et al.*, 1992). El decremento de los elementos que interceptan la precipitación hace que la lluvia encuentre menos obstáculos en su camino hacia el suelo, lo que comporta un importante incremento de la energía cinética y, como resultado, una mayor capacidad para destruir los agregados edáficos (MOODY y MARTIN, 2001). No obstante, el calcinamiento de la vegetación no es total ya que suelen salvarse las estructuras lignificadas de los árboles y arbustos que, junto a los sistemas radiculares subyacentes, reducen la velocidad del flujo y mejoran los parámetros de infiltración. Además, en los ecosistemas mediterráneos, la capacidad de respuesta al fuego de las principales especies vegetales reduce considerablemente el tiempo de exposición del suelo a los agentes

responsables de la actividad erosiva. Sin embargo, algunas localizaciones específicas pueden presentar cierto grado de dificultad para recomponer su cubierta vegetal debido a sus características estructurales o taxonómicas, al grado de impacto del fuego estimado en términos de severidad y al diferente papel que los condicionamientos topoclimáticos juegan en el tiempo. En este sentido, el desarrollo de metodologías que permitan predecir la variabilidad espacial del grado de recuperación de la vegetación, facilita la gestión de las áreas quemadas y el desarrollo de los programas de restauración edáfico-vegetal.

Así pues, el objetivo de este trabajo es proponer una metodología a escala regional que permita la identificación de la variabilidad espacial de la regeneración vegetal tras el fuego. Desde el punto de vista estadístico se ensaya la utilización de modelos no paramétricos de regresión logística. Este tipo de ajustes se han aplicado satisfactoriamente en la identificación de los factores explicativos de la aparición de movimientos en masa (GORSEVSKI *et al.*, 2000; OHLMACHER y DAVIS, 2003), del riesgo de incendios forestal debido a causa humana (CHUVIECO *et al.*, 2004) y de la distribución de tipos de vegetación (ASPINALL, 2002), entre otros temas. Como hipótesis de partida se parte del hecho de que mediante la utilización conjunta de datos de teledetección, informaciones ambientales consideradas en el marco de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la aplicación de modelos de regresión logística se puede detectar el impacto causado por el fuego y predecir la variabilidad espacial de los procesos de regeneración. En esta misma línea se pueden encontrar algunas propuestas en la bibliografía (BOBBE *et al.*, 2001; ESCUIN *et al.*, 2002; RUIZ-GALLARDO *et al.*, 2004).

## **METODOLOGÍA**

### **Área de estudio**

El área de estudio se corresponde con el incendio de la Pardina Nofuentes, localizado en la cabecera del Barranco del mismo nombre, al norte de la Sierra de Santo Domingo (municipio de Las Peñas de Riglos, Huesca) (Figura 1). El siniestro tuvo como origen un rayo y fue detectado el 21 de agosto de 1990, extinguiéndose al día siguiente. La superficie quemada fue de 400 ha, de las cuales 350 estaban arboladas. Desde el punto de vista hipsométrico el sector afectado se encuentra entre los 920 y 1150 m s.n.m. Presenta una gran diversidad morfotopográfica como consecuencia de la variedad de los dominios litológicos que afloran: calizas cretácicas en la zona meridional, margas eocenas y formaciones superficiales en la zona central y molasas oligocenas en la zona septentrional. Desde la perspectiva climática la zona presenta un carácter submediterráneo semihúmedo de montaña. La precipitación media registrada al año es de unos 800 mm, mostrando una clara distribución equinoccial y siendo habituales durante el verano episodios lluviosos de carácter tormentoso. La temperatura media se sitúa en torno a los 10°C, los veranos son calurosos y durante el invierno el riesgo de heladas es elevado. Desde el punto de vista edáfico, sobre un sustrato de lutitas y areniscas se reconocen diferentes grupos de suelos siendo los cambisoles y los regosoles los más característicos, con espesores oscilantes entre los 40-75 cm. La cubierta vegetal antes del fuego estaba compuesta de diferentes facies de pinar de silvestre (*Pinus sylvestris*), tanto puro como mezclado con carrasca, quejigo y haya (*Quercus rotundifoliae*, *Quercus gr. cerrroides* y *Fagus sylvatica*, respectivamente) y fruticedas de boj, erizón y aliaga (*Buxus sempervirens*, *Echinopartum horridum* y *Genista scorpius*, respectivamente), en un sector quemado en la década de los setenta y posteriormente repoblado con pino silvestre.

### **Materiales y métodos**

El proceso metodológico se articula en tres fases: (1) modelización de las variables independientes y tratamiento digital de las imágenes de satélite; (2) modelización de la variable dependiente; (3) aplicación de los modelos no paramétricos de regresión logística.

#### *Modelización de las variables independientes*

En esta primera fase metodológica se recogen los procedimientos para la espacialización de los predictores ambientales considerados y el análisis de las imágenes de satélite para detectar el área quemada y los niveles de severidad.

En lo referente a la utilización de las imágenes de satélite, la metodología se enmarca en el contexto de las técnicas de detección de cambios a partir de la realización de comparaciones -píxel a

píxel- de los niveles digitales (ND) de diferentes imágenes. En consecuencia, se hace imprescindible garantizar la consistencia radiométrica y geométrica de las imágenes utilizadas, con el propósito de eliminar cualquier modificación en los ND que no sea debida a cambios reales (CHUVIECO, 2002). Para la selección de imágenes se han considerado argumentos técnico-metodológicos entre los que destacan: evitar superficies enmascaradas por sombras topográficas; buscar la semejanza en las condiciones de iluminación entre las diferentes fechas y la homogeneidad fenológica en la vegetación; y, especialmente, ajustar las imágenes a la fecha del incendio. Finalmente se han seleccionado dos imágenes de verano para evitar la aparición de sombras topográficas -típicas de los meses de otoño e invierno- y disminuir los problemas relacionados con las características geométricas de la iluminación. La primera -2 de julio de 1990- recoge las características previas al fuego y la segunda -24 de agosto de 1991- se sitúa un año después del fuego. Para la corrección de las distorsiones geométricas se ha aplicado un proceso de tipo no orbital, utilizándose un polinomio de segundo orden -dada la complejidad topográfica de la zona- y el método del vecino más próximo en la reubicación de la imagen original a la nueva malla georeferenciada de píxeles de 25 m. Para la corrección radiométrica se ha optado por la homogeneización de las imágenes mediante la calibración de los ND de modo absoluto, convirtiéndolos a medidas de reflectividad espectral. El procedimiento utilizado, basado en PONS & SOLÉ (1994), integra en el mismo algoritmo la conversión de los ND a valores de reflectividad y la normalización de los efectos de la topografía y de la atmósfera. Garantizada la consistencia radiométrica y geométrica de la colección de imágenes se ha delimitado el perímetro de la zona quemada siguiendo la metodología aplicada en PÉREZ-CABELLO (2002). Para detectar los niveles de severidad producidos por el fuego a partir de las imágenes de satélite se ha aplicado el *Normalized Burnt Ratio* (NBR) en cada imagen. Posteriormente mediante la resta de los NBR correspondientes a cada fecha se ha obtenido la imagen de cambio ambiental debido al fuego (dNBR) (KEY & BENSON, 1999; KEY *et al.*, 2002) y, de acuerdo con los valores de la imagen resultante, se han considerado dos categorías de severidad: (1) baja severidad (valores comprendidos entre 0.1 y 0.35) y (2) severidad moderada (valores entre 0.35 y 0.5122).

Respecto a las variables físicas introducidas en el SIG, se han considerado las siguientes: tipos de vegetación, litología, iluminación, pendiente, exposición y variables climáticas. Los tipos de vegetación se extraen a partir de la información del mapa forestal de Aragón (RUIZ DE LA TORRE, 1992) y de un proceso de clasificación supervisada. Las diferentes teselas de vegetación resultantes se agrupan en dos categorías: las dominadas por especies cuya estrategia de regeneración tras el fuego es la germinación (1) y las dominadas por especies rebrotadoras (0). También desde el punto de vista fisonómico-estructural se distinguen dos categorías: arboledas y matorrales. La distribución de los materiales se realiza a partir del mapa geológico de España (IGME) agrupando los diferentes complejos litológicos en dos categorías: (1) rocas blandas -arcillas y lutitas- y (0) rocas duras -conglomerados y calizas-. La pendiente topográfica, orientación e iluminación se extraen a partir de un modelo digital de elevaciones aplicando diferentes algoritmos implementados en el programa ERDAS Imagine v.7. Asimismo los diferentes ángulos de orientación se agrupan en dos categorías: (1) NW, N y NE y (0) E, W, SE, SW y S. Finalmente, se consideran diferentes variables climáticas -temperatura y precipitación media anual e índices de Patterson y Fournier- espacializadas mediante modelos multivariantes (PÉREZ-CABELLO, 2002).

### *Modelización de la variable dependiente y aplicación de modelos de regresión logística*

La modelización de la variable dependiente, la distribución espacial de las zonas con escasa vegetación tras el fuego, se realiza a partir de procesos de clasificación no supervisada y de un análisis de fotointerpretación utilizando las ortofotos del SIG Oleícola Español (MAPA). La Figura 2 muestra en negro las áreas sin cubierta vegetal tras el fuego, mientras que en blanco se proyectan las zonas donde la regeneración vegetal postincendio ha sido notable. Las zonas de escasa vegetación se localizan básicamente en las solanas y en zonas próximas a pistas forestales y terrazas de reforestación. Las zonas blancas, por su parte, ocupan especialmente las umbrías de la mitad meridional de la zona quemada.

A partir de la aplicación de modelos de Regresión Logística se extrae la participación con la que las variables independientes explican, en términos de probabilidad, la regeneración vegetal en las zonas incendiadas. El principio de los modelos de regresión logística (LR) es que una variable

dependiente, expresada como una variable dicotómica (0 y 1), se determina mediante uno o más factores independientes (MENARD, 1995). La expresión matemática se resuelve en los siguientes términos:

$$Y = \text{logit}(p) = \ln(p(1-p)) \\ = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

donde  $p$  es la probabilidad de que la variable ( $Y$ ) sea 1,  $p/(1-p)$  es la ratio de la probabilidad,  $C_0$  es la constante, y  $C_1, C_2, \dots, C_n$  son los coeficientes que miden la contribución de los factores ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) en las variaciones de la variable dependiente.

En este caso el objetivo de los modelos de regresión logística es encontrar el mejor ajuste que describa las relaciones entre las variables independientes consideradas y dos niveles de regeneración vegetal cartografiados mediante el concurso de la ortoimagen: (1) zonas de mala regeneración, y (0) zonas con buena regeneración. Para validar el resultado se selecciona sólo el 60% de la muestra para ajustar el modelo, dejando el 40% restante para su verificación. Se ha aplicado la regresión logística por pasos “hacia delante”, más exigente que la de pasos “hacia atrás”. Los píxeles con escasa vegetación antes del fuego se eliminan de la muestra mediante la aplicación del *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) en la imagen previa al fuego. Este índice, basado en las diferencias entre los canales del rojo -0.63 a 0.69  $\mu\text{m}$ , banda 3 Landsat TM- y del infrarrojo cercano -0.78 a 0.90  $\mu\text{m}$ , banda 4 Landsat TM-, presenta una alta correlación con algunas propiedades bióticas como la biomasa, la fracción de cabida cubierta o el índice de superficie foliar (LAI).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación con los escenarios de severidad considerados, en la Tabla 1 se recogen las estadísticas generales de los modelos seleccionados (el de baja severidad obtenido en el cuarto paso de la regresión, el de moderada en el quinto). Los índices de *Nagelkerke* ( $r^2$  0.64 y 0.714 para las áreas de baja y moderada severidad, respectivamente) indican una buena correlación entre los predictores y la variable dependiente. El test de *Hosmer-Lemeshow* indica que ambos modelos se ajustan adecuadamente a los datos ( $p$ -value = 0.909 y 0.409, respectivamente) y el valor de *Kappa* en el proceso de verificación sugiere un nivel notable de acierto ( $Kappa = 0.6$ ).

Las variables consideradas en ambos modelos coinciden, excepto la variable tipo de vegetación, que sólo ha sido considerada en el modelo de las áreas de moderada severidad. (Tabla 2). Pendiente, iluminación y las bandas 4 y 3 TM de la imagen previa al fuego son las variables comunes, y orientación, litología y las variables climáticas son las variables no consideradas.

La importancia de las variables incluidas en los respectivos modelos puede ser evaluada mediante los coeficientes  $\beta$  and  $Exp(\beta)$  (Tabla 2). Por una parte, todos los coeficientes excepto los correspondientes a la banda 4 presentan signos positivos; por tanto, iluminación, pendiente, la banda 3 TM y las zonas ocupadas por especies germinadoras están relacionadas positivamente con la probabilidad de escasa regeneración vegetal tras el fuego.

Los valores correspondientes al  $Exp(\beta)$  de la iluminación y la pendiente son indicativos del escaso impacto de estos predictores sobre la variable dependiente (cerca de 1). En relación con las variables espectrales, el signo y la importancia de los coeficientes confirman el papel de la vegetación previa en la determinación de las discontinuidades espaciales de los procesos de regeneración vegetal. Por su parte, la banda 3-TM es el mejor predictor en ambos modelos, siendo el tipo de vegetación un factor relevante sólo en los sectores de moderada severidad.

Finalmente, a partir de las funciones resultantes se espacializa la probabilidad de procesos de mala regeneración en las zonas quemadas (Figura 3). Por un lado, las zonas con mayor probabilidad de presentar una baja regeneración vegetal tras el fuego se distribuyen esencialmente por los sectores con menor recubrimiento vegetal previo al fuego (matorrales de boj y pastizales de *Brachipodium*) relacionados con una antigua repoblación forestal. Por otra parte, las zonas con mayor probabilidad de un buen proceso de regeneración vegetal se proyectan sobre las zonas arboladas antes del fuego.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se concluye que el tratamiento de la información ambiental en el contexto de los SIG y la aplicación de modelos no paramétricos –regresión logística- se presentan como técnicas

adecuadas en la detección de zonas susceptibles de presentar problemas de pérdidas de suelo. Asimismo, se pone de manifiesto la gran capacidad predictiva de las bandas 3 y 4 del sensor *Thematic Mapper* para analizar las discontinuidades espaciales que presentan los procesos de regeneración vegetal en zonas incendiadas.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio Español de Ciencia y Tecnología (proyecto EROFUEGO, Ren2002-00133).

### **BIBLIOGRAFÍA**

- ASPINALL, R.J. 2002. Use of logistic regression for validation of maps of the spatial distribution of vegetation species derived from high spatial resolution hyperspectral remotely sensed data. *Ecological Modelling* 157: 301-312
- BOBBE, T., LACHOWSKI, H., MAUS, P., GREER, J. & DULL, C. 2001. A primer on mapping vegetation using remote sensing. *International Journal of Wildland Fire* 10: 277-287.
- CHUVIECO, E.; 2002. Teledetección ambiental: *la observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel. Barcelona.
- CHUVIECO, E., SALAS, F.J., DE LA RIVA, J., PÉREZ-CABELLO, F. y LANA-RENAULT, N.; 2004. Métodos para la integración de variables de riesgo: el papel de los sistemas de información geográfica (SIG). En Chuvieco, E. (Ed.) *Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales*. I.E.G. (CSIC). Madrid: 143-183
- DIECKMANN, H., MOTZER, H., HARRES, H.P. & SEUFFERT, O.; 1992. Vegetation and erosion. Investigations on erosion plots in Southern Sardinia. *Geoko-plus* 3: 139-149.
- ESCUIN S., FERNÁNDEZ-REBOLLO P. y NAVARRO, R.M.; 2002. Aplicación de escenas Landsat a la asignación de grados de afectación producidos por incendios forestales. *Revista de Teledetección* 1: 25-36.
- GORSEVSKI, P.V., GESSLER, P. & FOLTZ, R.B.; 2000. Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and GIS. *4th Int. Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling*. Alberta, Canada: 9 pp.
- IGME. *Mapa Geológico de España E. 1: 50.000 (208 Uncastillo)*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- KEY, C.H. & BENSON, N.C.; 1999. Measuring and remote sensing of burn severity. In L. F. Neuenschwander, & K. C. Ryan (Eds.), *Proceedings Joint Fire Science Conference and Workshop*. Vol. II. Moscow ID. University of Idaho and International Association of Wildland Fire.
- KEY, C., BENSON, N., SORBEL, B., ZHU, Z., OHLEN, D., HOWARD, S. & CLEMENT, B.; 2002. National Park Service-U.S. Geological Survey National Burn Severity Mapping Project. Retrieved September 30, 2002 from USGS EROS Data Center archive and web site: [http://burnseverity.cr.usgs.gov/fire\\_main.asp](http://burnseverity.cr.usgs.gov/fire_main.asp).
- MENARD, S.; 1995. *Applied logistic regression analysis*. Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, vol. 106. Sage Publ.. Thousand Oaks, CA.
- MOODY, J.A. & MARTIN, D.A.; 2001. Post-fire, rainfall intensity-peak discharge relations for three mountainous watersheds in the western USA. *Hydrol. Process*, 15: 2981-2993.
- NAVEH, Z.; 1990. Fire in the Mediterranean—A landscape ecological perspective. In: Goldammer, J.G., Jenkins, M.J. (Eds.) *Fire in Ecosystem Dynamics*. SPB Academic Publ.: 1-20.
- OHLMACHER, G.C. & DAVIS, J.D.; 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69: 331-343.
- PÉREZ-CABELLO, F.; 2002. *Paisajes forestales y fuego en el Prepirineo occidental oscense. Un modelo regional de reconstrucción ambiental*. Serie Investigación, 33. Zaragoza. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón.
- PONS, X. & SOLÉ-SUGRAÑES. L.; 1994. A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 48: 191-204.
- RUIZ DE LA TORRE, J. (Dir.); 1992. *Mapa Forestal de Aragón: Huesca (hoja 8-3)*. ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- RUIZ-GALLARDO, J.R., CASTAÑO, S. & CALERA, A.; 2004. Application of remote sensing and

GIS to locate priority intervention areas after wildland fires in Mediterranean systems: a case study from south-eastern Spain. *International Journal of Wildland Fire* 13: 241-252.

SOLER, M. & SALA, M.; 1992. Effects of fire and of clearing in a Mediterranean *Quercus ilex* woodland: an experimental approach. *Catena* 19: 321-332.

SOTO, B., BENITO, E., BASANTA, R. & DIAZ-FIERROS, F.; 1991. Influence of antecedent soil moisture on pedological effects of fire. In Sala, M., Rubio, J.L. (Eds.) *Soil Erosion and Degradation as a Consequence of Forest Fires*. Barcelona.

TRABAUD L.; 2002. Post-fire vegetation recovery and dynamics in the Mediterranean area. In Pardini G., Pinto J. (Eds.) *Fire, landscape and biodiversity: an appraisal of the effects and effectiveness*. Girona. Diversitas UdG, 20: 39-55.

Figura 1. Localización del área de estudio (incendio de Nofuentes) y fotografía aérea de la zona quemada 7 años después del fuego.

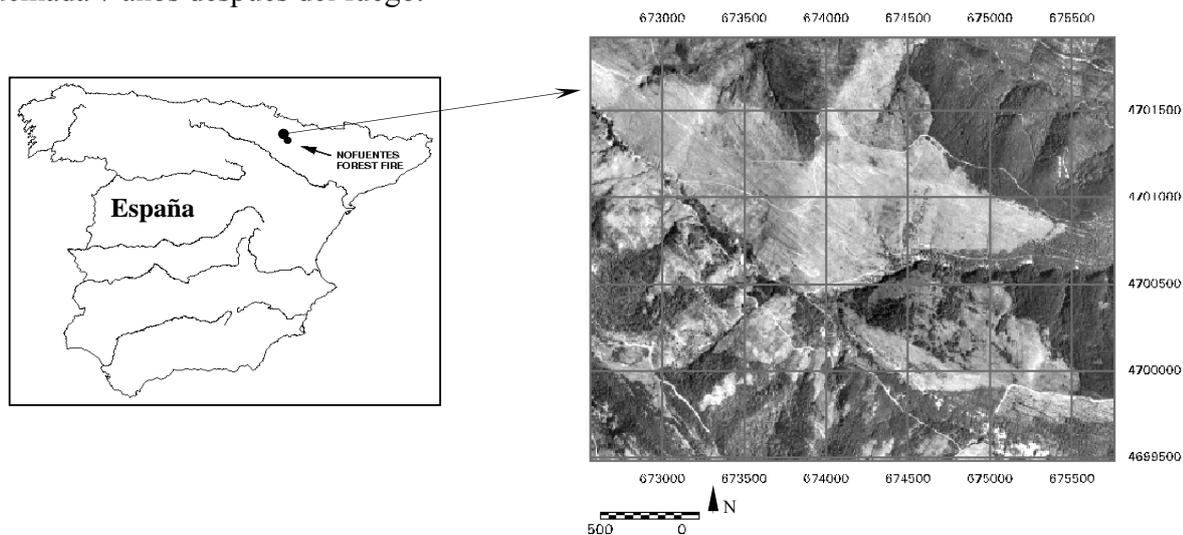


Figura 2. Variable dependiente: en negro (1), áreas sin cubierta vegetal tras el fuego; en blanco (0), zonas de notable regeneración vegetal postincendio; en gris, áreas no incluidas en la regresión logística.

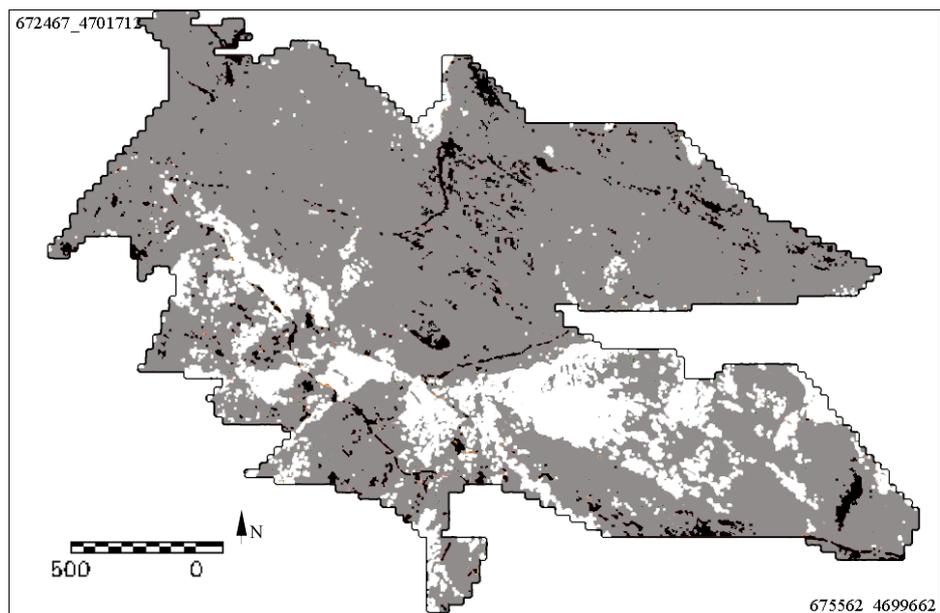


Figura 3. Cartografía predictiva sobre la probabilidad de la regeneración vegetal tras el fuego: (1) alta y (0) baja.

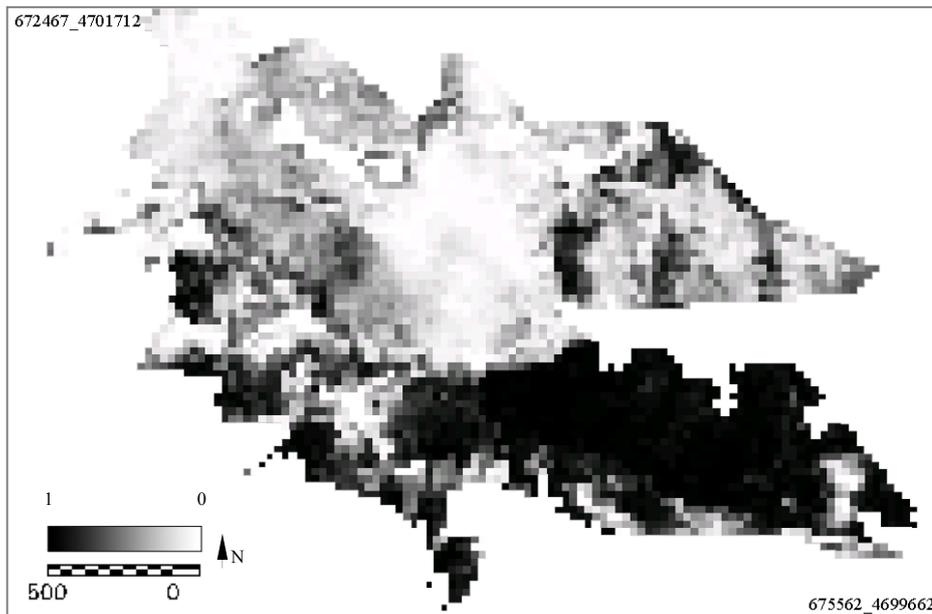


Tabla 1. Resumen de los modelos.

Áreas dNBR	paso	-2 log-likelihood	Cox y Snell R <sup>2</sup>	Nagelkerke R <sup>2</sup>
Baja severidad	4 <sup>th</sup>	410,817	0,484	0,645
Moderada severidad	5 <sup>th</sup>	89,159	0,535	0,714

Tabla 2. Variables en los modelos y significación estadística.

Áreas dNBR	Predictores	$\beta$	E.T.	Wald	$\sigma$	Exp( $\beta$ )
Baja severidad	Pendiente	0,0538	0,019	8,184	0,004	1,055
	Iluminación	0,1551	0,018	70,958	0,000	1,168
	TM band 4	-0,1388	0,046	9,205	0,002	0,870
	TM band 3	1,0943	0,107	105,303	0,000	2,987
	Constante	-14,7746	1,926	58,876	0,000	0,000
Moderada severidad	Pendiente	0,11017	0,045	5,894	0,015	1,116
	Iluminación	0,15540	0,033	21,609	0,000	1,168
	Tipos de vegetación	2,05962	0,828	6,195	0,013	7,843
	TM banda 4	-0,22434	0,106	4,510	0,034	0,799
	TM banda 3	2,97040	0,658	20,381	0,000	19,500
	Constante	-18,4086	3,941	21,816	0,000	0,000