

# LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADOS A LA PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES. PROPUESTA PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA QUEMA DE RASTROJOS EN LA COMARCA DE ARANDA DE DUERO (BURGOS)

María Flor Álvarez Taboada\* (dimmat@unileon.es)  
José Ramón Rodríguez Pérez\* (dimjrp@unileon.es)  
Noemí Fernández Ordóñez\*\* (noemifo@yahoo.es)  
Santiago Gil Díaz\*\* (santiago.gil@bu.jcyl.es)

\* Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría  
Universidad de León  
E.S.T. Ingeniería Agraria Avd. Astorga s/n  
24400 Ponferrada (León)

\*\* Sección de Protección de la Naturaleza  
Junta Castilla y León  
Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos  
Juan de Padilla s/n  
09006 Burgos

**Palabras clave:** SIG, incendios forestales, quemas controladas, gestión medio ambiental.

## **Resumen:**

Determinadas prácticas agrícolas pueden ser muy perjudiciales para el medio ambiente y, mientras se encuentran alternativas viables, se deben tomar medidas para disminuir su impacto. En esta ponencia se realiza una propuesta metodológica para reducir el riesgo de incendios que supone la quema de residuos de origen agrícola, con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Entre las medidas de prevención directa se propone un plan de silvicultura preventiva que tenga en cuenta las características de las masas forestales y de las parcelas agrícolas colindantes. Estas medidas se complementan con otras de tipo indirecto. La validación del modelo propuesto se desarrolla en la comarca de Aranda de Duero (Burgos), comprobándose la adecuación de los SIG en la prevención de los incendios forestales provocados por la quema de rastrojos.

## **1. Introducción**

La quema de rastrojos y restos de cosechas de forma incontrolada constituye un riesgo para las personas y los bienes y causa un deterioro del medio ambiente, favoreciendo a su vez los procesos de erosión. Se trata de una práctica agrícola que constituye una causa frecuente de incendios forestales en la Comunidad Autónoma de Castilla y León, que tiene efectos negativos constatados sobre la fauna silvestre y la conservación de los suelos, así como efectos ecológicos colaterales cuando por negligencia afecta a la vegetación circundante. A tal efecto, la Unión Europea ha excluido esta práctica de las superficies de las explotaciones acogidas a programas agroambientales y en aquellas cuyos titulares soliciten la indemnización compensatoria.

Concretamente, el número de incendios provocados por quema de rastrojos en la Provincia de Burgos es elevado, por lo que el Servicio Territorial de Medio Ambiente en Burgos planteó el crear una planificación de medidas preventivas para que un fuego provocado por las quemas de rastrojos no alcance las masas forestales.

La necesidad de armonizar en la medida de lo posible las autorizaciones de quemas de rastrojos excepcionales con las normas sobre incendios forestales y adaptar todo ello a las particularidades de cada zona, hace muy recomendable fijar el período de tiempo durante el cual realizar la quema y las condiciones en que deba llevarse a cabo.

## **2. Antecedentes**

Durante la última década el empleo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el manejo del fuego en el ámbito forestal (prevención, planificación de la extinción, seguimiento) ha experimentando un gran auge, y en la actualidad la geoinformación es una herramienta de indiscutible valor en este campo. Los SIG permiten la integración de variables topográficas, variables relacionadas con la vegetación y aspectos antrópicos en un mismo sistema, lo que posibilita la determinación de las zonas con más riesgo permanente de incendio, fundamental a la hora de establecer zonas de prevención prioritaria. La primera investigación publicada sobre el tema se centra en la construcción de un SIG para el manejo del fuego en California, en 1994 [1]. En España y Portugal destacan en este tema, por su carácter pionero, las aportaciones de Chuvieco [2] y de Almeida [3] a principios de la década de

los 90. En 1996 Chuvieco [4] y en 1998 Bajardí y Molina [5] ponen de manifiesto que la extinción resulta más eficaz al conocer las zonas con más riesgo y de este modo poder establecer la infraestructura defensiva (pistas, puntos de agua, bases). En planificación la integración del Grado Básico de Peligro y del Índice de Dificultad de Extinción en un SIG territorial permite seleccionar las ubicaciones más adecuadas de los medios de extinción móviles para una rápida detección e intervención, tal y como se ha comprobado en los trabajos desarrollados en la sierra de O Páramo (Lugo) [6].

Hawkes et al. [7] describen el sistema WTRS (*Wildfire Threat Rating System*), que emplea SIG para determinar cómo las prácticas de gestión influyen sobre el riesgo de incendio, cómo impacta el fuego sobre los recursos forestales y cómo reducir la probabilidad de un gran incendio en un área. Para estos análisis fue fundamental la superposición y las operaciones de análisis espacial que permite desarrollar un SIG. El sistema se diseñó para ser usado por los gestores forestales para la planificación de actuaciones encaminadas a reducir el riesgo de incendio. Farris et al. [8] establecen una comparación entre los mapas de riesgo de incendio obtenidos modelizando con los SIG y las técnicas de simulación directa, resultando muy adecuado el empleo del SIG.

En cuanto al empleo de los SIG en la planificación de quemas prescritas Rogeau y Pengelly [9] compararon dos métodos basados en atributos topográficos para cartografiar el riesgo de incendios en áreas montañosas empleando SIG. Con la información obtenida los gestores pueden planificar quemas prescritas que se asemejen al patrón de fuegos naturales. Muy similar a esta investigación es la llevada a cabo por Keifer et al. [10] para la planificación de quemas en el Parque Nacional King's Canyon y Sequoia (USA), considerando la diferencia existente entre el régimen natural de ocurrencia de incendios y el resultante de los tratamientos.

### 3. Problemática de la quema de rastrojos

Está demostrado que esta práctica es nociva para el medio natural ocasionando una serie de perjuicios al medio ambiente. Entre los aspectos más negativos se pueden destacar:

- Aspectos físicos: los suelos quedan expuestos a la erosión hídrica y eólica; se elimina una fuente de coloides orgánicos, que mejoran la estructura y estabilidad de los suelos; los rastrojos crean microclimas, aislando el suelo de bajas y altas temperaturas, lo que se traduce en una menor evaporación o pérdida de agua y, en general, en mejores condiciones fisiológicas para el desarrollo de las plantas.
- Aspectos químicos: la quema de rastrojos produce una rápida mineralización provocada por el fuego, que puede aumentar la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas durante un corto período de tiempo que genera elevadas pérdidas de materia orgánica y nitrógeno por gasificación, generando un daño más que un beneficio. Se producen emisiones superfluas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- Aspectos biológicos: con las quemas se eliminan agentes bióticos naturales, cuya disminución puede ocasionar un problema ecológico mayor que el beneficio eventual que se logre con la quema. Por supuesto que también se eliminan cobijo y alimento de especies propias del cultivo cerealista, especialmente las cinegéticas.
- Otros efectos: desertización a medio plazo de las zonas agrícolas de secano e incendios forestales derivados de una mala planificación de las quemas.

### 4. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es elaborar una propuesta de actuaciones para disminuir el número de incendios forestales provocados por quema de rastrojos, basada en las características de las masas forestales y las de las parcelas circundantes y el empleo de los SIG. Para ello se desarrolla una propuesta metodológica y su aplicación sobre una comarca de la provincia de Burgos.

Se pretende determinar qué actuaciones selvícolas con carácter preventivo son más adecuadas en cada una de las masas forestales de la zona de estudio teniendo en cuenta las características de la propia masa y los cultivos de las áreas colindantes, y las medidas a realizar en esas zonas circundantes a las masas forestales para prevenir los incendios, especialmente los causados por la quema de rastrojos. Finalmente se desea estimar el coste total de las actuaciones a desarrollar en una zona piloto.

Siendo este el objetivo primordial, existen otros objetivos complementarios, relacionados con la prevención indirecta, entre los que cabe destacar:

- Generar un sistema de información geográfica de la distribución del combustible, que es un condicionante básico para la propagación del incendio.
- Dotar a la Guardería de información sobre las parcelas catastrales (cultivo, propietario, etc.) que rodean cada masa, para favorecer el control sobre las mismas.

Otra cuestión fundamental es que todas estas propuestas se tienen que englobar dentro de una estrategia general que abarca toda la provincia de Burgos y que se basa en el establecimiento de una normativa para regular la quema de rastrojos y otros restos vegetales derivados de la actividad agraria, con el fin de controlar dicha práctica y poder optimizar la utilización de los medios de lucha contra incendios.

## 5. Caracterización de la zona de la zona de estudio

La elección de la comarca de Aranda de Duero como área piloto para aplicar el modelo planteado, se debe a que es una de las comarcas burgalesas donde se da la situación de cultivos agrícolas colindando con masas arboladas, sufriendo el problema de incendios forestales provocados por la quema de rastrojos.

Dentro de esta comarca se han seleccionado tres municipios representativos (Aranda de Duero, Villanueva de Gumiel y Nava de Roa) con superficie arbolada, problemática de incendios y con información gráfica y alfanumérica disponible.

### 5.1. Descripción de la comarca de Aranda de Duero

La Comarca de Aranda de Duero está situada en el sur de la provincia de Burgos y limita con las provincias de Soria, Segovia, Valladolid y Palencia (Figura 1). Está formada por 52 términos municipales, que componen el Partido Judicial de Aranda de Duero, abarcan un total de 150.748 ha, con un perímetro de 241,4 Km.

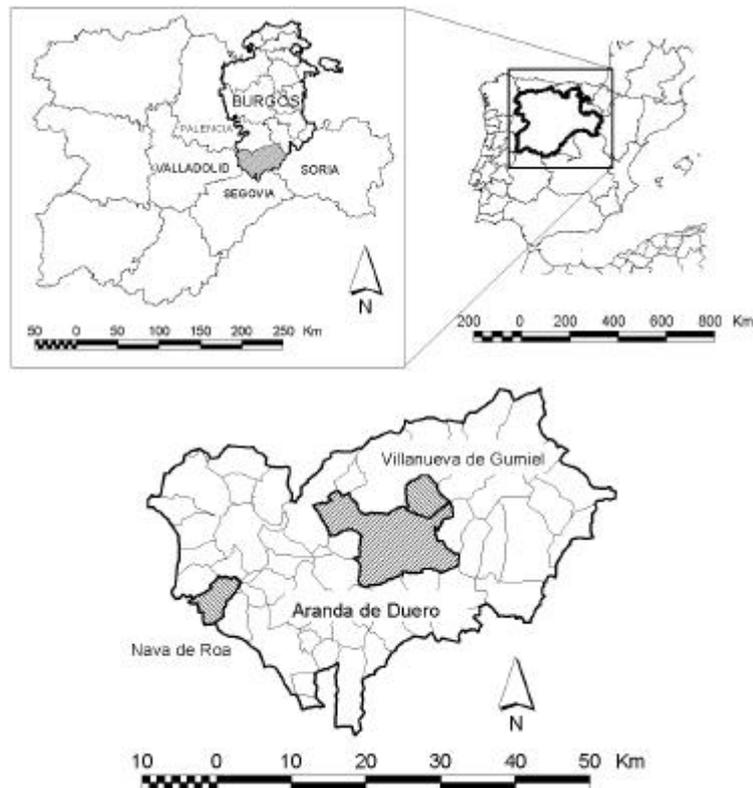


Figura 1: Localización de la zona de estudio

Geográficamente se puede considerar encuadrada entre los meridianos de longitudes  $4^{\circ} 0'$  y  $3^{\circ} 20'$  (Oeste) y entre los paralelos de latitudes  $41^{\circ} 50'4,6''$  y  $41^{\circ} 30'4,6''$  (Norte). Estas coordenadas definen un rectángulo de 37 x 56 kilómetros, en el que el municipio de Aranda de Duero se sitúa en su centro.

El clima y la meteorología condicionan enormemente la incidencia de los incendios por lo que se va a caracterizar climáticamente la comarca. La temperatura media anual es de  $11,51^{\circ}\text{C}$ , la temperatura media máxima ronda los  $35,4^{\circ}\text{C}$  en julio y mínima media se acerca a los  $-8,6^{\circ}\text{C}$  en enero. La precipitación total anual alcanza los 438,2 mm de los que 127 mm corresponden a las lluvias de primavera.

El intervalo de sequía y la intensidad de la sequedad son determinantes en la época de incendios, debido principalmente a que la vegetación va a contener un nivel de humedad más bajo, con lo que va a aumentar su inflamabilidad.

## 5.2. Definición y cuantificación del peligro de incendios forestales en la comarca de Aranda de Duero

En la Tabla 1 se muestra el número de incendios ocurridos durante el período 1988-2000 en la provincia de Burgos. De estos, 109 incendios se originaron en la comarca de Aranda de Duero, lo que supuso un total de 550 ha quemadas. Los datos han sido facilitados por la sección de Protección de la Naturaleza del Servicio Territorial de Medio Ambiente en Burgos (Junta de Castilla y León).

Año	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Nº Incendios	30	250	133	101	106	82	127	162	90	166	204	193	338

Tabla 1: Incendios anuales en la provincia de Burgos en el periodo 1988-2000

Según los datos estadísticos se puede afirmar que en la comarca se producen poco más de 8 incendios al año, habiéndose declarado un total de 109 incendios en estos últimos 13 años (4,44 % del total provincial). El uso del fuego más frecuente y peligroso en la comarca de Aranda de Duero es la quema de rastrojos. El hecho de que las posibilidades ganaderas sean casi nulas hace que los fuegos provocados por quema de pastos sean escasos y poco importantes. La baja densidad de población ejerce una influencia indirecta sobre el peligro de incendios, que se traduce en un aumento de la cantidad de combustible en el monte como consecuencia de la disminución de los aprovechamientos de leñas y ganaderos.

El peligro de incendio en el espacio queda definido por la frecuencia y causalidad de los incendios forestales y la inflamabilidad y combustibilidad de los diversos tipos de vegetación. El número de incendios de cada año es bajo ( $2 < F < 4$ ), aunque puede considerarse un problema considerable debido a la poca superficie forestal comarcal. La mayor parte de los incendios producidos se deben a negligencias y, dentro de estas un 30 % es provocado por la quema de rastrojos, cifra muy importante si se tiene en cuenta que un 17% de los incendios son provocados. La época de mayor peligro se corresponde con los meses de verano (julio, agosto y septiembre), con un total de 74 incendios (29 en agosto). Este es un resultado lógico pues la época de incendios está íntimamente ligada con las condiciones meteorológicas, coincidiendo con el período de sequía estival. Los incendios de septiembre están ligados con la quema de rastrojos.

Por otra parte, la distribución del número de incendios por días de la semana en el período 1988-2000, resalta la escasa importancia de la incidencia de la población visitante, con un número de incendios en días festivos no destacable frente al correspondiente a días laborables, en los que tiene lugar 75 de los 109 totales.

La superficie arbolada que se quema por incendio en la comarca es elevada en términos relativos. En valores absolutos la superficie arbolada quemada por incendio es de 2,07 ha, frente a las 3,89 ha que ardieron en la provincia durante el mismo periodo de tiempo. La superficie arbolada media quemada por incendio no presenta una tendencia clara: hasta el año 1994 la superficie arbolada quemada casi equiparaba a la superficie total quemada; a partir de 1995 la superficie arbolada ha descendido dando paso a superficies no arboladas. El tamaño medio del incendio es de 3,15 ha, frente a las 15,7 ha del respectivo provincial.

## 6. Material y métodos

### 6.1. Material

Para la elaboración de los planos y mapas se ha contado con cartografía digital a diversas escalas, además de otra cartografía en papel (Hojas del MTN números 314, 315, 345, 346, 347, 374, 375 y 376). Entre este material cabe resaltar la Base de Datos Municipal y ortofotografías digitales, cuyas características se detallan en la Tabla 2.

Parámetros cartográficos	Ortofotografías digitales
Fecha del vuelo fotogramétrico	Septiembre y octubre de 2000
Escala del vuelo	1:33.000
Superficie por mapa/foto	3.187 – 3.184 ha
Sistema de Referencia	ED-50. Elipsoide Internacional de Hayford 1924
Sistema Geodésico de Referencia	RE 50
Sistema cartográfico de Representación	UTM. Huso 30
Malla para generación MDT	40 m
Resolución espacial	Píxel de 0,7 m
Fuente	Servicio de Planificación e Información Geográfica. Dirección General de Desarrollo Rural. Consejería de Agricultura y Ganadería.

Tabla 2: caracterización cartográfica de las ortofotografías

Para la gestión, análisis y presentación de los resultados se ha utilizado el software ArcView™.

### 6.2. Delimitación y caracterización de las masas forestales de la zona de estudio

Las masas forestales arboladas elegidas pertenecen a los tres municipios objeto de estudio del proyecto. En Aranda de Duero se seleccionan cinco masas, en Villanueva de Gumiel cuatro masas y en Nava de Roa tres masas. Su delimitación se realiza con el programa ArcView™ sobre las ortofotografías descritas anteriormente. A efectos de planificación no se establecen diferencias entre montes de Utilidad Pública y Particulares, ya que los tratamientos serán propuestos sin atender a este criterio. Ninguna de estas masas tiene una superficie menor de 20 hectáreas, ya que éste es el límite mínimo establecido en este trabajo para proponer los tratamientos.

Para cada una de las masas forestales se rellena un estadillo, para facilitar el trabajo de campo y poder analizar con más exactitud los datos que sobre las ortofotografías no se pueden detallar, como por ejemplo el modelo de combustible. En este estadillo se inventarían la superficie y perímetro (calculadas con el software GIS) y la pertenencia de la masa. Se realiza una descripción cuantitativa y cualitativa de la masa (forma fundamental de masa, especies arbóreas que componen la masa, clases naturales de edad, edad, distribución porcentual de especies, índice de espesura, distribución en edad) y se determina el modelo o modelos de combustible existentes (ver Tabla 3). Se realiza en campo un croquis de la masa, así como de los cultivos que la rodean. Se anotan las fechas aproximadas para la quema de rastrojos y cómo se organiza ésta (si procede) y el número de incendios que han afectado a la masa y que tienen como causa la quema de rastrojos.

Grupo	Nº modelo	Descripción
Pastos	1	Pasto fino, seco y bajo, que cubre completamente el suelo. Leñosas < 1/3 superficie
	2	Pasto fino, seco y bajo, que cubre completamente el suelo. Leñosas > 1/3 superficie
	3	Pasto grueso, denso, seco y alto (> 1m). Campos de cereales representativos
Matorral	4	Matorral o plantación joven densa (> 2m), con ramas muertas en interior. Fuego de copas
	5	Matorral denso y fuerte (1m). Propagación del fuego por hojarasca y pasto.
	6	Como el 5 pero especies más inflamables o con restos de corta y con plantas de mayor talla.
	7	Matorral con especies muy inflamables, 0,5 m a 2 m de altura, situado como sotobosque en masas de coníferas
Hojarasca bajo arbolado	8	Bosque denso, sin matorral. Fuego por hojarasca muy compacta. Ejemplo: pino silvestre y haya
	9	Como el 8, pero hojarasca menos compacta. Ejemplo: pino pinaster, castaño o melojo.
	10	Bosque de gran cantidad de leña y árboles caídos
Restos de corta y op. selvícolas	11	Bosque claro o aclarado. Restos de poda y aclarado, con plantas herbáceas rebrotando
	12	Predominio de los restos sobre el arbolado. Restos de poda o aclareo cubriendo todo el terreno.
	13	Grandes acumulaciones de restos gruesos y pesados, cubriendo todo el suelo.

Tabla 3: Descripción de los modelos de combustible

El modelo de combustible dentro de una masa arbórea puede ser diferente del de su mismo borde, esto es debido al llamado "efecto borde". Esta es la condición que se crea cuando se encuentran dos hábitats diferentes uno al lado de otro (ejemplo: bosque + pastizal) aumentando en estas zonas de borde la riqueza y densidad de vida. Algunos de los efectos borde más importantes incluyen cambios en la luz, temperatura, viento y la incidencia del fuego. Respecto al fuego, si el límite es muy extenso la zona que este delimita es más susceptible al fuego debido al acumulo de árboles muertos o derribados por el viento.

### 6.3. Prevención directa: tratamientos selvícolas preventivos. Planificación para una zona piloto

La selvicultura preventiva tiene como finalidad conseguir estructuras de masa con menor grado de combustibilidad, es decir, con mayor resistencia a la propagación del fuego, para lo que un Plan de Selvicultura Preventiva contempla las siguientes acciones: romper la continuidad horizontal y vertical de los combustibles vegetales, la eliminación total del combustible (en determinadas zonas), variar de una manera progresiva la estructura de las formaciones vegetales, de tal manera que éstas presenten una mayor resistencia al avance del fuego, promover la presencia en el paisaje forestal de discontinuidades y actuaciones que faciliten y aseguren las labores de extinción. Para los montes de Utilidad Pública, los tratamientos serán realizados por la Administración, según las propuestas del Jefe de la Sección Territorial a la que corresponda la masa. Para los montes de propiedad particular se les recomendará la realización de dichos tratamientos a los propietarios de los montes. Según la ley de Incendios Forestales se pueden dictar actuaciones desde la Administración para aminorar el riesgo de incendio forestal.

Para elaborar el Plan de Selvicultura Preventiva es preciso analizar las distintas combinaciones de modelos de combustibles existentes en las formaciones arbóreas y su colindancia con cultivos u otras formaciones no arbóreas. A partir de aquí, dependiendo del tipo de combustible de la masa y los cultivos colindantes que tenga, se proponen unos

tratamientos selvícolas preventivos, para evitar que un posible fuego provocado por la quema de rastrojos u otros motivos pueda propagarse por la masa. Para ello se selecciona una zona piloto, en este trabajo la zona número 3 de Aranda de Duero, en la que, además de la propia masa forestal, se identifican y digitalizan sobre la ortofotografía los cultivos colindantes. La colindancia se ha estudiado hasta un perímetro de 400 m alrededor de la masa, porque legalmente es competencia del Servicio Territorial de Medio Ambiente, siendo el de más de 400 m competencia de la Consejería de Agricultura y Ganadería. La Orden de 21 de junio de 2002 de la Consejería de Medio Ambiente fija la época de peligro estival y de peligro máximo de Incendios Forestales en la Comunidad de Castilla y León establece normas sobre la utilización del fuego para el año 2002 en todos los montes y franja de 400 metros de ancho que los circunda, como perímetro de protección, y es este perímetro el considerado como área de trabajo en este estudio.

Los tratamientos selvícolas se propondrán según los diferentes tipos de cultivos mediante la división de la vegetación en 5 franjas: Franja A: parcela cultivada; Franja B: pastizal o terreno abandonado colindante con la franja A; Franja C: últimos dos metros de la franja B (o los 2 anteriores a la franja D); Franja D: los diez primeros metros de la masa arbolada colindante con la franja C, con todos los modelos de combustible; Franja E: resto de la masa forestal con todos los modelos de combustible.

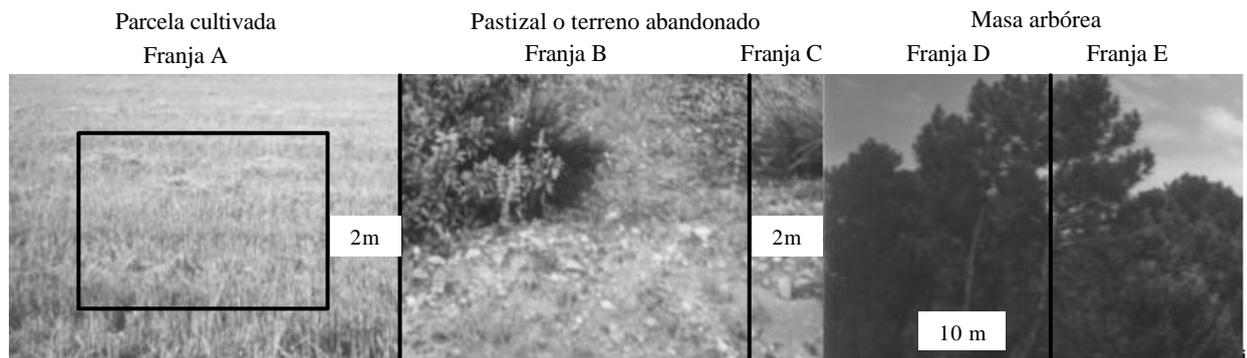


Figura 2: Franjas definidas para la realización de tratamientos de selvicultura preventiva. Secuencia completa: franjas A, B, C, D y E. Cultivo colindante con la masa forestal: pastizal o terreno abandonado

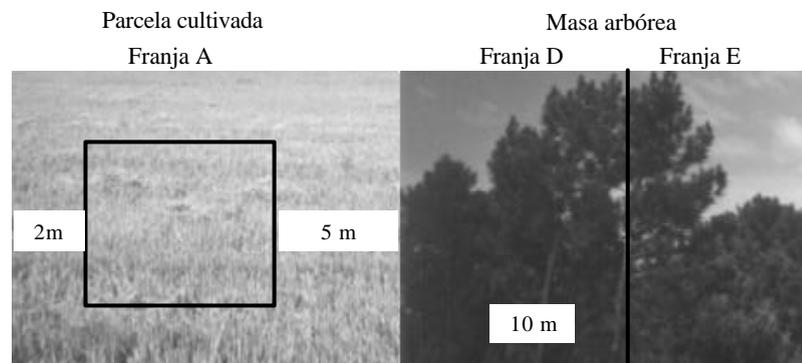


Figura 3: Franjas definidas para la realización de tratamientos de selvicultura preventiva. Cultivo colindante con la masa forestal: parcela cultivada

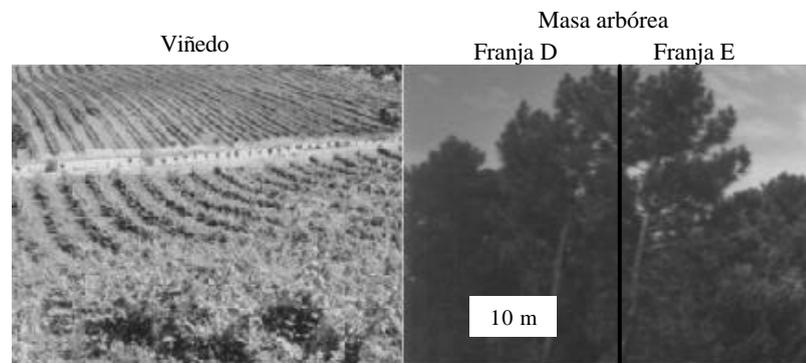


Figura 4: Franjas definidas para la realización de tratamientos de selvicultura preventiva. Cultivo colindante con la masa forestal: viñedo

La secuencia de franjas puede existir de forma completa o sólo parte, según la distribución de los usos del suelo colindantes con la masa. La Figura 2 muestra la secuencia completa: parcela cultivada-pastizal-masa forestal; la Figura 3 la secuencia cuando la parcela colindante con la masa se dedica a cultivo. La Figura 4 representa la situación cuando el viñedo es el uso del suelo con el que limita la masa forestal. Estas secuencias condicionan el tipo de tratamiento a aplicar. La Tabla 4 resume las actuaciones a desarrollar en las diferentes franjas según el cultivo colindante, teniendo en cuenta los usos del suelo en la zona piloto.

El barbecho y el cereal se agrupan porque ambos pertenecen al mismo tipo de combustible, actuando de la misma manera ante un incendio. Una parcela de cereal, dependiendo de la época en la que se encuentre, puede pertenecer a dos modelos de combustibles diferentes: al modelo 1 cuando está cosechada y al modelo 3 cuando está sin cosechar. No se va a tener en cuenta la posibilidad de que la parcela se encuentre en un modelo 3 de combustible, ya que los incendios en estas circunstancias son casi nulos. Esto es debido a que al propio agricultor tiene un cuidado excepcional en que no se produzca un incendio, ya que un posible fuego acabaría con toda la cosecha. Por lo tanto, se parte de que una parcela de cereal o barbecho pertenecen a un modelo de combustible 1, con el inconveniente añadido de que tienen más posibilidad de propagar un incendio a los terrenos forestales por la quema de rastrojos.

Aunque el girasol y la remolacha son cultivos que no propagan fácilmente el fuego, se deben aplicar en los terrenos forestales colindantes a estos dos cultivos los mismos planes de tratamientos selvícolas que se aplicaban a fincas de cereal y barbecho. Esto es debido a que son cultivos que tienen un turno de rotación muy corto, lo que provoca que alternen los cultivos casi anualmente. Por lo tanto se deben aplicar los tratamientos correspondientes a la situación más desfavorable, que en este caso es la de cereal.

En los terrenos forestales colindantes a parcelas de viñedo, los tratamientos selvícolas serán menos intensos. Esto se debe a que los viñedos actúan como cortafuegos naturales y no propagan el fuego. En los terrenos forestales, donde su perímetro con un viñedo sea superior a 500 m consecutivos, no se actuará sobre la masa.

Franjas	Modelo	Actuación
<b>Cultivo colindante: Parcela agrícola (cereal, barbecho, girasol o remolacha)</b>		
A	Parcela agrícola	Faja labrada perimetral de 5 m de anchura en el perímetro de colindancia con la superficie forestal, y de 2 m en el resto de perímetros
D	Modelo 6 (monte bajo de encina)	Resalveo selectivo y por lo bajo, comenzando a eliminar los pies de crecimiento defectuoso, de menor tamaño o con puntiseado importante. Dejando matas aisladas y separadas 3 m entre sí ó eliminando un 40% de la biomasa en pie y triturando los restos. También se efectuará un desbroce.
E		Fajas auxiliares a ambos lados de las pistas, con una anchura de 2 m por cada lado; mejora de pistas con repaso de cunetas, limpieza de cortafuegos con derribo de cordones laterales, desbroce en cortafuegos, área de seguridad alrededor de zonas urbanizadas y habitables.
<b>Cultivo colindante: Pastizal o terreno abandonado</b>		
A	Parcela agrícola	Faja labrada perimetral de 2 m de anchura en todo el perímetro
B	Pastizal o terreno abandonado	Desbroce mecanizado sobre un 70% de la superficie, con una desbrozadora de martillos con un tractor de más de 170 CV.
C	Actuación en los 2 últimos metros de la franja B	Decapado con bulldózer de más de 190 CV con pala angledózer de 3,4 m de largo y 1.500 kg de peso. Si va vegetación es muy abundante y alta, previamente desbroce mecanizado a hecho con desbrozadora de martillos.
D	Modelo 6 (monte bajo de encina)	Resalveo selectivo y por lo bajo, comenzando a eliminar los pies de crecimiento defectuoso, de menor tamaño o con puntiseado importante. Dejando matas aisladas y separadas 3 m entre sí ó eliminando un 40% de la biomasa en pie y triturando los restos. También se efectuará un desbroce.
E		Fajas auxiliares a ambos lados de las pistas, con una anchura de 2 m por cada lado; mejora de pistas con repaso de cunetas, limpieza de cortafuegos con derribo de cordones laterales, desbroce en cortafuegos, área de seguridad alrededor de zonas urbanizadas y habitables.
<b>Cultivo colindante: viñedo</b>		
D	Modelo 6 (monte bajo de encina)	Resalveo selectivo y por lo bajo, comenzando a eliminar los pies de crecimiento defectuoso, de menor tamaño o con puntiseado importante. Dejando matas aisladas y separadas 3 m entre sí ó eliminando un 40% de la biomasa en pie y triturando los restos. También se efectuará desbroce.
E		Cuando el perímetro con un viñedo sea superior a 500 m consecutivos, no se actuará sobre la masa; en caso contrario: fajas auxiliares a ambos lados de las pistas, con una anchura de 2 m por cada lado; mejora de pistas con repaso de cunetas, limpieza de cortafuegos con derribo de cordones laterales, desbroce en cortafuegos, área de seguridad alrededor de zonas urbanizadas y habitables.

Tabla 4: Resumen de las actuaciones a desarrollar en las diferentes franjas según el cultivo colindante.

Fuente: Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos

La Tabla 5 muestra de forma orientativa los costes medios de los tratamientos selvícolas anteriormente descritos, pues dependen del estado de las infraestructuras y unidades de obra a ejecutar.

Unidad	Concepto	Precio* (€)
ha	Labrado con cultivador	85
ha	Desbroce mecanizado	330
ha	Paso de buldózer decapando	220
ha	Resalveo y desbroce mecanizado	1.195

Tabla 5: Resumen costes medios de los tratamientos selvícolas. Fuente: Servicio Territorial de Medio Ambiente de Burgos

En la zona piloto se establecen mediante la herramienta de análisis espacial del SIG de creación de zonas influencia las diferentes franjas respecto a la masa principal (masa nº3). Se calcula la superficie afectada para cada tipo de uso, para de este modo planificar y presupuestar de forma aproximada las actuaciones a realizar, de acuerdo con las Tablas 4 y 5.

#### 6.4. Prevención indirecta: control de las parcelas a menos de 400 m de una masa forestal

En este apartado se localizan las parcelas catastrales que están a menos de 400 m de las masas forestales estudiadas, puesto que según la legislación los terrenos agrícolas situados a menos de 400 m de terreno forestal son competencia del Servicio de Medio Ambiente. La finalidad es el crear un listado con los propietarios y los usos de las parcelas a menos de 400 metros como herramienta de planificación y control facilitárselo a Guardería Forestal de la comarca, y en caso de producirse un incendio por quema de rastrojos, poder tener controlados a los propietarios de las parcelas.

Se ha realizado para las masas objeto de estudio de los términos municipales de Villanueva de Gumiél y Nava de Roa empleando la herramienta SIG de análisis espacial de creación de áreas de influencia. El municipio de Aranda de Duero no se ha podido analizar porque no se dispone de la información catastral.

## 7. Resultados y discusión

### 7.1. Delimitación y caracterización de las masas forestales de la zona de estudio

En la Figura 5 se muestra la localización de las diferentes masas arboladas estudiadas en cada uno de los términos municipales. La numeración de las masas forestales se ha hecho de forma independiente para cada uno de los municipios. La Tabla 6 resume las características más importantes de cada una de las masas. En ninguna de ellas se realizan trabajos de selvicultura preventiva en la actualidad, pero en la masa 1 de Aranda de Duero hace cuatro años se realizaron unas fajas auxiliares en el interior de la masa, reforzando así un cortafuegos.

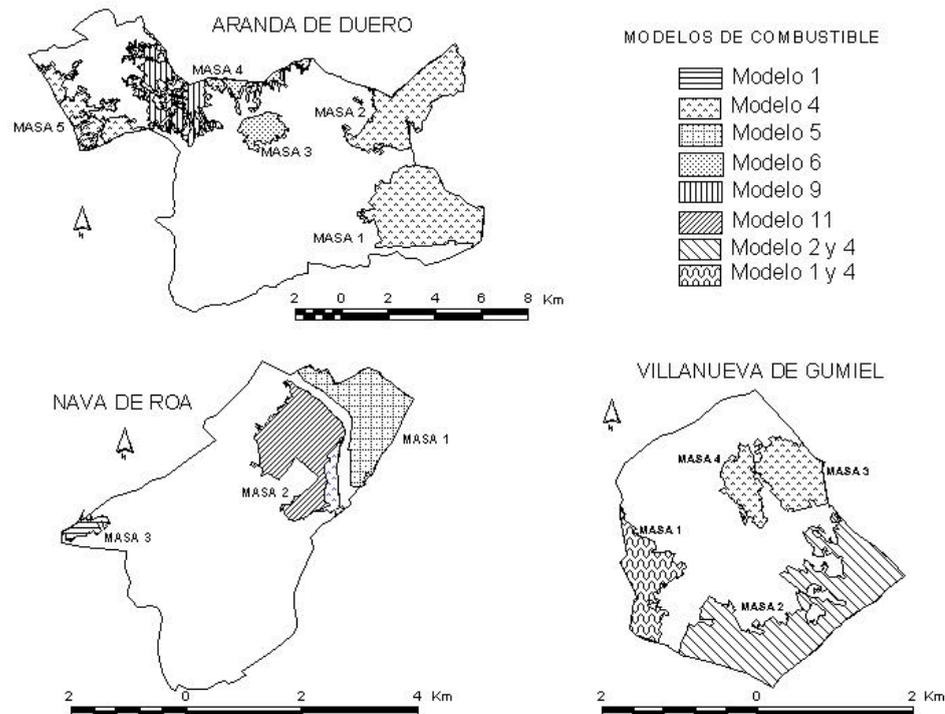


Figura 5: Representación de las masas arboladas según el modelo de combustible que presentan

Municipio	Nº	Descripción forestal	Superficie (ha)	Perímetro (m)	Fechas quema de rastrojos
Aranda de Duero	1	Monte bajo de <i>Quercus ilex ssp. rotundifolia</i> (estrato inferior) de alta espesura Estrato superior de <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i> con poca espesura.	1.272,170	18.904,00	De forma individual a finales de septiembre, aunque con tendencia a no quemar
	2	Monte alto regular de <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i> en estado de latizal	937,000	25.757,00	De forma individual a finales de septiembre
	3	Monte bajo de <i>Quercus ilex ssp. rotundifolia</i> y <i>Quercus faginea</i> .	210,796	9.264,73	No existe una fecha concreta
	4	Monte alto irregular de <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i> , con un estrato inferior de <i>Quercus ilex ssp. rotundifolia</i> y <i>Quercus faginea</i> . Monte alto regular de <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i> en estado de fustal.	821,167	113.070,40	No se quema
	5	Monte alto regular de <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i> , con un estrato inferior de <i>Quercus ilex ssp. rotundifolia</i> y <i>Quercus faginea</i>	440,980	46.287,83	No se quema
Nava de Roa	1	Monte alto regular de <i>Pinus Pinaster ssp. Mesogeensis</i> . Monte alto regular de <i>Pinus pinea</i> en estado de fustal.	226,556	8.377,11	De forma individual a finales de septiembre
	2	Monte alto regular proveniente de una repoblación de <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i> de 27 años. Monte bravo y espesura completa. Monte bajo de <i>Quercus ilex ssp. Rotundifolia</i> con alta espesura.	286,900	12.151,00	De forma individual a finales de septiembre
	3	Monte alto regular con especie principal de <i>Pinus pinea</i> y especie secundaria <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i>	23,490	3.598,96	De forma individual y en octubre como muy tarde
Villanueva de Gumiel	1	Monte alto irregular de <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i> , que tiene un estrato inferior de regenerado.	160,500	9.949,50	No hay quemas (a excepción de un propietario)
	2	Monte alto irregular de <i>Pinus pinaster ssp. mesogeensis</i> con algún pie de <i>Pinus pinea</i> , y también algún brote de <i>Quercus ilex ssp. Rotundifolia</i> .	550,700	29.546,00	No hay quemas (a excepción de un propietario)
	3		155,200	6.891,80	No se quema
	4		86,000	6.751,70	No se quema

Tabla 6: Caracterización de las masas arboladas

De acuerdo con la Tabla 3 de modelos de combustible se clasifican las masas arboladas del estudio, cuya representación se muestra en la Figura 5.

### 7.2. Prevención directa: tratamientos selvícolas preventivos. Planificación para una zona piloto.

La Figura 6 muestra para la masa piloto los usos del suelo en las parcelas en un perímetro de 400 metros. Los cultivos identificados han sido: cereal o barbecho, pastizal o terreno abandonado y viñedo. Para la delimitación de las diferentes franjas ha sido fundamental la capacidad del SIG para realizar operaciones de análisis espacial.

Uso del suelo	Situación	Sup (ha)	Actuación	Sup (ha)	Coste (€)
Parcela agrícola/barbecho	Colindante	72,946	Faja labrada perimetral de 5 m de anchura	2,7477	233,55
	No colindante	78,997	Faja labrada perimetral de 2 m de anchura	3,2455	275,86
			Faja labrada perimetral de 2 m de anchura	5,4950	467,07
Pastizal/ terreno abandonado	Colindante	8,336	Franja de 2 m con decapado y desbroce mecanizado a hecho con desbrozadora de martillos	0,1127	61,46
			Desbroce mecanizado sobre un 70% de la superficie, con una desbrozadora de martillos	8,2242	2.713,98
	No colindante	43,369	Ninguna		0,00
Viñedo		59,526	Ninguna		0,00
Masa arbolada	Franja D	9,144	Resalveo selectivo y por lo bajo y desbroce.		10.927,08
	Franja E	201,651	Las descritas en la Tabla 2		-
<b>TOTAL</b>		<b>473,969</b>			<b>14.169,59</b>

Tabla 5: Superficies afectadas por las actuaciones preventivas y presupuesto

Para la zona piloto se han calculado con ArcView™ las superficies correspondientes a los usos del suelo agrícolas en la franja perimetral de 400 m; estas se han separado según se corresponda con parcelas colindantes con la masa arbolada o no, puesto que los tratamientos a efectuar son diferentes (salvo en el caso del viñedo, en el que es indiferente). La superficie total de las parcelas y la afectada por las actuaciones previstas en la Tabla 4 se recoge en la Tabla 5. Además se incluye un presupuesto aproximado de las mismas, si bien no se incluyen los costes de las actuaciones a desarrollar en la masa en la franja E, al no disponer de información suficiente.

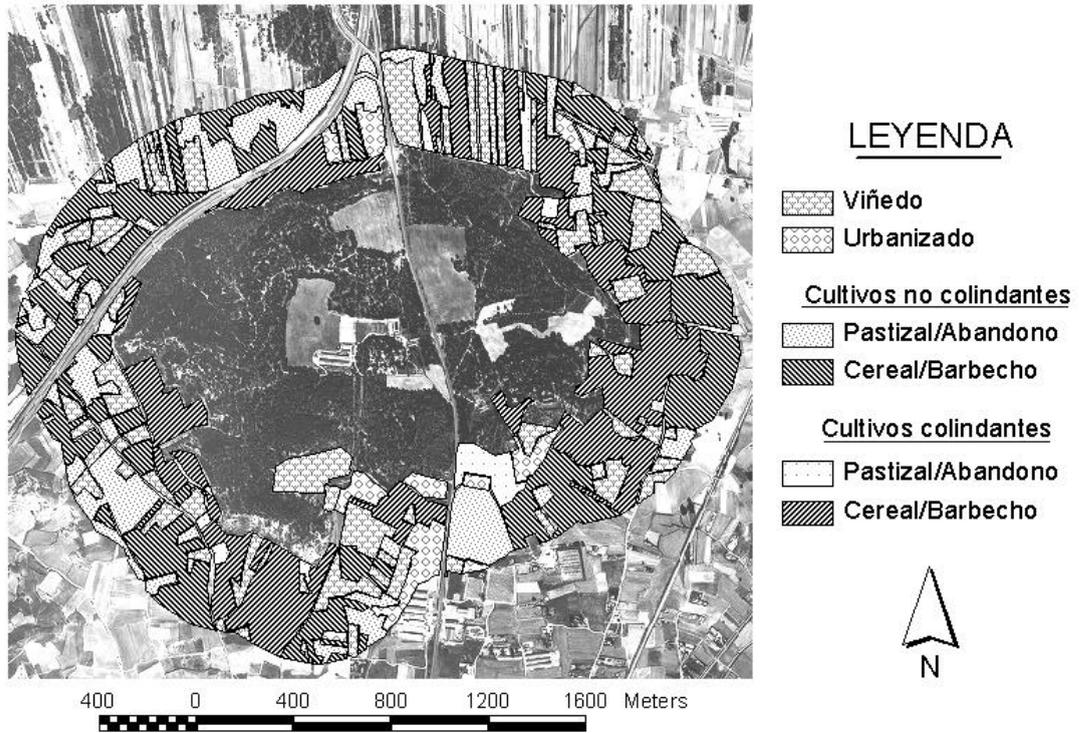


Figura 6: Parcelas agrícolas a menos de 400 m de la masa arbolada

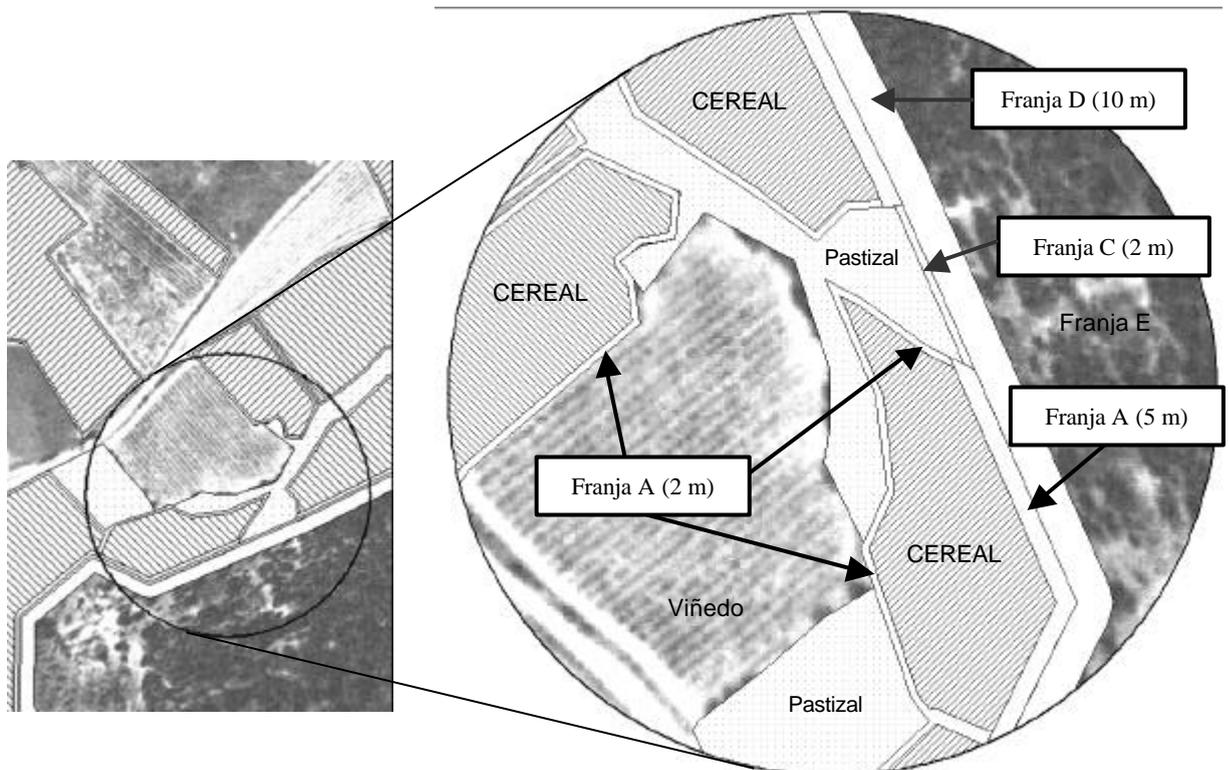


Figura 7: Delimitación de las diferentes franjas de actuación

La Figura 7 representa con un mayor nivel de detalle lo que ocurre en las parcelas agrícolas colindantes, donde se deben realizar diferentes tratamientos según la franja de que se trate. En el ejemplo se puede ver una parcela de cereal colindante con la masa arbolada y con una zona de pastizal, por lo que las franjas perimetrales a realizar tendrán diferente anchura (5 y 2 m, respectivamente).

### 7.3. Prevención indirecta: control de las parcelas a menos de 400 m de una masa forestal

La Figura 8 muestra la localización de las parcelas catastrales en un perímetro de 400 metros de la masa 3 del término municipal de Villanueva de Gumiel. En la tabla asociada se pueden observar sombreadas las filas que contienen la información catastral correspondiente a estas parcelas, que permitiría a la Guardería ejercer un mayor control sobre sus propietarios.



Figura 8: Parcelas catastrales a menos de 400 m de la masa 3 de Villanueva de Gumiel

## 8. Conclusiones

El sistema de información desarrollado permite conocer, representar y analizar en las áreas cerealistas, donde la quema de rastrojos es una práctica difícil de reemplazar, las características dasonómicas y dasométricas de las masas arboladas, el modelo de combustible al que se ajustan y los cultivos colindantes. De este modo se determina cuál es la medida preventiva más adecuada, dónde realizarla y su coste asociado.

La escala de trabajo permite desarrollar estrategias ajustadas a las características dasonómicas de la masa arbolada y a la distribución espacial de los cultivos agrícolas circundantes, optimizando de este modo los recursos dedicados a la prevención, consiguiendo de este modo planes selvícolas “a la carta”.

Por otro lado el SIG dota a la Guardería de una relación de las parcelas susceptibles de quema e identifica a sus propietarios, con objeto de comprobar que se realizan todas las labores preventivas exigidas cuando se autoriza una quema.

Se valida la utilidad de los SIG para la planificación espacial y temporal de la quema de rastrojos en áreas cerealistas extensivas de Castilla y León. Por tanto se recomienda la utilización de la metodología propuesta en este trabajo para ejecutar la normativa que regula esta actividad en todas las áreas cerealistas de la Comunidad Autónoma.

Asimismo estas herramientas geoinformáticas permiten realizar la estimación económica de los costes derivados de la aplicación de un plan de silvicultura preventiva y de las actuaciones complementarias sobre las parcelas agrícolas en el área de influencia establecida. Los resultados obtenidos para la zona piloto ponen de manifiesto la rentabilidad de estas actuaciones, puesto que las posibles pérdidas originadas por un incendio forestal superan ampliamente los gastos originados por las medidas preventivas propuestas.

Se propone como mejora del modelo incorporar al sistema variables de tipo fisiográfico y climático que permitan optimizar la programación de la quema de rastrojos y estimar el riesgo potencial de incendio con mayor precisión.

## 9. Referencias

- [1]. Chou, Yue-Hung., 1991. Building a spatial of fire occurrence for wildland fire management. Research Report PSW-900004CA, U.S. Forest Service. Riverside, California: Department of Earth Sciences.
- [2]. Chuvieco, E. y Salas, J., 1992. ¿Dónde arderá el bosque? Prevención de incendios forestales mediante un SIG. Actas del I Congreso Español de Sistemas de Información Geográfica. AESIG, pp. 330-341. Madrid.
- [3]. Almedida, R., 1994. Forest fire risk areas and definition of the prevention priority planning actions using GIS. (<http://www.sgi.ursus.maine.edu/gisweb/spatdb/egis/eg94193.html>)
- [4]. Chuvieco, E., 1996. Mapping the spatial distribution of forest fire dangrt using GIS. Geographical Information Systems 10(3): 333.
- [5]. Bardají, M. y Molina, D.M., 1998. Índice de dificultad de extinción de incendios: reflexiones. Revista Montes, N° 53, pp.5-15, Madrid.
- [6]. Novo Lodeiro, N.; Marey Pérez, M.F. y Ruiz González, A.D., 2001. Índices territoriales de peligro de incendio forestal. Aplicación a la sierra del Páramo (Lugo). Revista Montes, N° 64, pp. 50-59, Madrid.
- [7]. Hawkes, Brad, and Judi Beck. 1999. A wildfire threat rating system. Fire Management Notes 55(2): 25-30.
- [8]. Farris, C.A., C. Pezeshki, and Leon F. Neuenschwander. 1999. A comparison of fire probability maps derived from GIS modelling and direct simulation techniques. In Proceedings from the Joint Fire Science Conference and Workshop, vol. 2. Moscow, Idaho: University of Idaho. pp. 130-137.
- [9]. Rogeau, Marie-Pierre and Ian Pengelly. 1999. Estimating risks of burning in mountain landscapes: A GIS application. In Proceedings from the Joint Fire Science Conference and Workshop, vol. 2. Moscow, Idaho: University of Idaho. pp. 228-232.
- [10]. Keifer, MaryBeth, Anthony Caprio, Pat Lineback, and Karen Folger. 1999. Incorporating a GIS model of ecological need into fire management planning. In Proceedings from the Joint Fire Science Conference and Workshop, vol. 1. pp. 122-129.