



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-436

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009
ISBN: 978-84-936854-6-1
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Estudio de tratamientos preventivos de incendios sobre la estructura del complejo integral de combustible forestal en masas de *Pinus pinaster* Ait. de Castilla y León

VEGA HIDALGO, J.A.¹, REY VAN DEN BERCKEN, E.², RUIZ PÉREZ, I.², JIMÉNEZ CARMONA, E.¹ y PÉREZ SUÁREZ, J.R.¹

¹ Departamento de Protección Ambiental. Centro de Investigación e Información Ambiental de Galicia– Lourizán.

² Centro para la Defensa contra el Fuego (CDF). Consejería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León.

Resumen

Se presenta un análisis de la estructura del complejo integral de combustible forestal (estratos de suelo y superficie en sotobosque y del dosel arbóreo) en dos masas naturales de *Pinus pinaster* representativas dentro de Castilla y León: la Sierra de Guadarrama (Ávila) y la Sierra del Teleno (León), así como un estudio comparativo de la efectividad de dos tratamientos preventivos de incendios de diferente intensidad aplicados a las masas para la creación de áreas cortafuegos.

A partir de los inventarios destructivos del complejo de combustible en parcelas experimentales instaladas en las zonas anteriormente citadas, se construyeron modelos específicos de los complejos de combustibles, y se realizaron simulaciones del comportamiento del fuego con dichos modelos. Se revela una arquitectura compleja de los combustibles, muy diferente a la presente en los modelos estándar habituales para sotobosque, mientras que la caracterización del combustible del estrato de copa posibilita una evaluación más completa y realista de las intervenciones de silvicultura preventiva.

Se constató la alta susceptibilidad a los incendios de copa de los pinares de pino resinero de Castilla y León en masas densas de latizal bajo con presencia de matorral en el sotobosque. Se observó una gran eficiencia de los tratamientos preventivos para reducir la susceptibilidad a incendios de superficie y de copa.

Palabras clave

Prevención, áreas cortafuegos, incendios forestales, modelos de combustible, *Pinus pinaster*, Castilla y León

1. Introducción

Las fuertes pérdidas ocasionadas por los incendios forestales y las grandes inversiones exigidas para su extinción, hacen preciso profundizar en el conocimiento de la estructura de los combustibles forestales como un elemento clave en el comportamiento del incendio para mejorar la planificación de la gestión forestal del territorio, incluyendo los tratamientos preventivos más convenientes en cada tipo de masa (STEPHENS & MOGHADDAS, 2005). Uno de los procesos que precisa un mayor conocimiento es el de la transición de fuegos de superficie a fuegos de copa activos (SCOTT & REINHARDT, 2001). *Pinus pinaster* Ait., especie muy susceptible a los incendios de copa, es la más afectada recientemente por incendios en España. Entre 2000 y 2005 ardieron anualmente aproximadamente 12580 ha de la superficie poblada por esta especie en España (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 2005).

Un factor clave en el proceso de iniciación del fuego de copas es la determinación de la densidad aparente del dosel (VAN WAGNER, 1977), siendo igualmente un aspecto esencial

para la evaluación de medidas preventivas, así como para la implementación de los diferentes modelos de comportamiento del fuego (STEPHENS, 1998; SCOTT & REINHARDT, 2001; FULÉ et al., 2002; KEYES & O'HARA, 2002; REINHARDT et al., 2006; MITSOPOULOS & DIMITRAKOPOULOS, 2007a). Sin embargo, la caracterización de los complejos de combustible se ha limitado, hasta recientemente, a los estratos superficiales, siendo, en el ámbito europeo, muy reducido el número de estudios en los que se evalúa la estructura del combustible en la copa y su distribución por clases de tamaño (FERNANDES et al., 2002; MADRIGAL et al., 2006; MITSOPOULOS & DIMITRAKOPOULOS, 2007b).

Para una eficiente gestión de los ecosistemas representativos, y la prevención de los incendios forestales es esencial disponer de una caracterización detallada de los combustibles existentes (tanto de superficie como de copa) en áreas forestales tipo, así como conocer el efecto de tratamientos preventivos en la estructura de estos combustibles, analizando los costes económicos de su ejecución, así como su efectividad ante la ocurrencia de un incendio.

2. Objetivos

Los principales objetivos del estudio son: (1) Determinar la estructura del complejo integral de combustible forestal en dos masas de *Pinus pinaster* en Castilla y León, (2) Evaluar la modificación en la estructura del complejo de combustible tras la realización de dos tratamientos de claras de distinta intensidad, cuantificando su coste, (3) Analizar el efecto de los tratamientos preventivos en el comportamiento del fuego, mediante simulación, bajo diferentes escenarios meteorológicos.

3. Metodología

Áreas de estudio

Se eligieron como áreas de estudio dos localizaciones representativas de masas que ocupan una amplia superficie dentro de la Comunidad de Castilla y León, correspondiendo a pinares naturales, en estado de latizal bajo y densidad moderada/alta, procedentes ambos de regeneración natural tras incendio.

La primera, en el monte 'El Pinar', MUP 75, de Nogarejas, término municipal de Castrocontrigo, en la Sierra del Teleno (León) - 42°9'11" N 6°10'15" O, 1100 m sobre el nivel del mar -. La masa arbolada de *Pinus pinaster* ocupa cerca de 10.000 ha, con abundante matorral heliófilo. La zona presenta una precipitación de 650 mm anuales, una temperatura media de 10,8 °C, media de las mínimas del mes más frío de -1,8 °C y media del mes más cálido de 28,4 °C (datos procedentes de la estación meteorológica de Castrocontrigo, 36 años útiles). Los suelos son Regosoles dístricos derivados a partir de conglomerados y cuarcitas y areniscas silíceas, caracterizados por una escasa fertilidad y profundidad de suelo y elevada pedregosidad, también en los horizontes inferiores. Las especies principales de matorral del sotobosque son *Erica australis*, *Pterospartum tridentatum* y *Erica umbellata*, siendo también frecuente *Halimium alyssoides*.

La segunda área de estudio se encuentra en el monte 'El Quintanar', MUP 84, en el término municipal de San Bartolomé de Pinares, en la Sierra de Guadarrama (Ávila) - 40°37'58" N 4°25'10" O, 600 m sobre el nivel del mar -. Forma parte de una masa de unas 14.000 ha, en una comarca de transición entre Gredos y la Meseta Castellana. El clima de la zona está caracterizado por una precipitación de 731 mm anuales, temperatura media de 10,3 °C, media de las mínimas del mes más frío de -0,9 °C y media del mes más cálido de 27,5 °C.

(datos procedentes de la estación meteorológica de las Navas del Marqués – “Fábrica de Resinas” -, 22 años útiles). Los suelos son Regosoles eútricos, pobres en nutrientes y muy permeables, desarrollados sobre granitos. Las principales especies de matorral presentes en el área de estudio son *Cistus ladanifer* y *Cistus laurifolius*.

Diseño experimental

El diseño incluyó seis parcelas de 30 m x 40 m en cada sitio de estudio. Tres tratamientos fueron asignados al conjunto de parcelas de cada sitio, cada uno con dos réplicas: testigo (masa sin ninguna intervención), clara de intensidad moderada (CD) con una densidad final de unos 700 pies ha⁻¹ y clara de intensidad fuerte (CF) con una densidad final de unos 300 pies ha⁻¹. Los árboles fueron marcados y extraídos con el criterio de una clara por lo bajo, en una sola intervención. Se hizo un desbroce manual del matorral alrededor de cada árbol y una trituración mecánica final. De estas operaciones se tomaron datos del número de horas invertidas por los operarios y maquinaria utilizada.

Determinación de la estructura de los combustibles

Para la estimación de las cargas de los combustibles del estrato de superficie antes y después de los tratamientos (mantillo, hojarasca y matorral, y restos triturados después de los tratamientos) y su distribución espacial, se utilizó la técnica de doble muestreo, con inventario destructivo en una serie de puntos en cada parcela (MARDSEN-SMEDLEY & CATCHPOLE, 1995), con traslado de las muestras al laboratorio, donde se llevó a cabo la correspondiente clasificación en fracciones de tamaño (0 - 6 mm, 6 - 25 mm, 25 - 75 mm y > 75 mm) y por categorías vivo y muerto, y su determinación de materia seca en estufa a 105 °C hasta peso constante. Este muestreo se combinó con mediciones de coberturas y espesores en transectos lineales a lo largo de las parcelas. Se consideró combustible disponible (kg m⁻²) para el fuego; antes de los tratamientos: la capa L, los restos de 1 hora de retardo, y las fracciones vivas y secas del grupo 1 (GI < 6 mm) del matorral en pie; después de los tratamientos: los restos triturados (principalmente acículas y fracciones leñosas de 1 hora) de la capa L, y los restos leñosos del grupo 1. La densidad aparente (kg m⁻³) se calculó mediante la relación entre la carga disponible y su altura o espesor.

En cuanto al arbolado, en cada área de estudio, se realizaron inventarios destructivos de un conjunto de individuos representando el rango de clases diamétricas presente en dichas áreas, efectuándose las mismas determinaciones en laboratorio que en los combustibles en superficie. Para la cuantificación de la carga de estos, así como su distribución en el perfil vertical por estratos de un metro, se siguió la metodología de ALEXANDER et al., (2004). Los perfiles verticales de carga de combustible por parcela, así como la densidad de copa aparente eficiente del dosel, se hallaron aplicando ecuaciones obtenidas por esas metodologías a todos los individuos de la parcela. Se consideró combustible disponible a las fracciones de biomasa de acículas, ramillas y el 50% del peso seco de las ramas finas. La altura de inicio de copa se definió en base a una mínima cantidad de densidad de copa, tomándose como valor límite 0,04 kg m⁻³ (CRUZ, 2004). La densidad aparente del dosel efectiva se estimó mediante el método de la “máxima media móvil” (SCOTT & REINHARDT, 2001) obteniéndose a partir del valor de densidad aparente del dosel máximo observado en intervalos de 3 m de altura del dosel

Análisis estadístico

Antes de los tratamientos se analizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) la existencia de diferencias significativas en las variables dasonómicas y dendrométricas de arbolado, cargas de combustible del estrato de copas disponible y densidad aparente del dosel

efectiva, entre las dos áreas de estudio y entre las parcelas en función de los tratamientos a que iban a ser sometidas. Después de los tratamientos se analizó la existencia de diferencias significativas en estas variables en función de los tratamientos para cada una de las áreas de estudio.

Se realizaron simulaciones para cada una de las parcelas mediante los programas NEXUS 2.0 y CFIS (Simulation of Crown Fire Initiation and Spread). De los parámetros que aportan los programas se utilizó el tipo de fuego (superficie, de copas pasivo, de copas activo y condicional: no se dan las condiciones necesarias para que el fuego pase a copas pero si ocurriese, el incendio sería capaz de propagarse por las copas como un fuego activo). Los análisis se realizaron considerando tres escenarios meteorológicos (Tabla 1). Las condiciones extremas están en el límite de las utilizadas en el programa CFIS, y corresponden a un marco meteorológico muy desfavorable. Condiciones más extremas, en las áreas de estudio, darían lugar a unos resultados sobre-estimados.

Tabla 1. Diferentes escenarios meteorológicos para la simulación del comportamiento del fuego.

Humedad combustible (%)	Condiciones ligeras	Condiciones moderadas	Condiciones extremas
1 hora retardo	10	8	6
10 horas retardo	12	10	8
100 horas retardo	14	12	10
Fino vivo	120	100	80
Velocidad viento (km/h)	10	20	30

4. Resultados y discusión

Evaluación económica de los tratamientos

Las tablas 2 y 3 desglosan el número equivalente de horas empleadas por hectárea en cada una de las tareas de los tratamientos efectuados en ambos sitios de estudio.

Tabla 2. Horas ha⁻¹ empleadas en la realización de los tratamientos en Teleno

	CF1	CF2	CD1	CD2
Organización	48,6	36,3	61,3	32,2
Marcaje árboles	2,5	2,5	5,5	5,5
Poda	10,2	4	14,7	12,1
Desbroce manual	5,1	6,1	22,1	18,1
Apeo, desramado y tronzado	94,7	117,1	105,4	104,6
Acordonado leña fina	7,7	6,1	29,4	24,1
Apilado troncos	56,3	70,7	63,7	56,3

Desbroce tractor	13,5	13,5	13,3	13,3
------------------	------	------	------	------

Tabla 3. Horas ha^{-1} empleadas en la realización de los tratamientos en Guadarrama

	CF1	CF2	CD1	CD2
Organización	30,6	42,9	31,1	33
Marcaje árboles	2,5	2,5	5,5	5,5
Poda	6,3	7,8	14,6	20,9
Desbroce manual	9,2	6,5	7,3	5,5
Apeo, desramado y tronzado	82,4	104,1	53,1	85,8
Acordonado leña fina	6,9	14,7	11	13,2
Apilado troncos	65,5	90,6	10,3	66
Desbroce tractor	5,5	5,5	6	6

La mayor parte del tiempo invertido en mano de obra lo fue en el apeo, desramado y tronzado y para el apilado de los troncos, para facilitar a los propietarios comunales el aprovechamiento de la corta. El alto consumo de mano de obra en las mencionadas tareas elevó el coste, pero la operación podría mecanizarse en mayor grado, con el consiguiente ahorro. Otros factores que encarecieron los tratamientos fueron su carácter experimental y la relativamente pequeña superficie de actuación. No se apreciaron diferencias en el coste total debido a la intensidad de la clara. Considerando que los jornales fueron de 8 horas, que el precio medio del jornal es de unos 80 euros, y el precio medio de una hora de tractor es de 45 euros, los costes totales por hectárea estimados en cada parcela fueron de:

Teleno (euros ha^{-1})		Guadarrama (euros ha^{-1})	
CF1: 2858	CD1: 3620	CF1: 2281	CD1: 1899
CF2: 3035	CD2: 3128	CF2: 2938	CD2: 2569

Estructura de los combustibles

Combustible de superficie

Se obtuvieron ecuaciones alométricas altamente significativas para los componentes del combustible de superficie en ambas áreas de estudio antes de los tratamientos. En el caso del matorral, la variable explicativa fue la altura, aunque las ecuaciones fueron significativamente diferentes para las dos áreas de estudio (para una misma altura, Teleno mostraba más carga que Guadarrama), explicando para el conjunto del matorral un 84% en Teleno y un 86% en Guadarrama, y para la fracción inferior a 6 mm un 84% en Teleno y un 85% en Guadarrama. Para el resto de componentes de combustible del suelo, no se observaron diferencias significativas en las relaciones entre Teleno y Guadarrama, encontrándose altas correlaciones entre el espesor de la capa conjunta LFH y su carga (68%), de la LF y su carga (76%), el espesor de la capa H y su carga (88%), y el espesor de la capa L y su carga (81%).

Después del tratamiento se detectaron también relaciones significativas, todas conjuntas, para Teleno y Guadarrama, entre el espesor de LF y la carga de restos triturados (81%), espesor de LF y la carga de restos triturados más la carga de restos leñosos presentes

en la superficie del terreno (81%), entre el espesor de H y su carga (84%), y entre el espesor conjunto de LFH y la carga de H más restos triturados (69%).

Al aplicar las ecuaciones alométricas obtenidas a los transectos lineales por parcela (Figura 1) se aprecia como en Teleno se acumulan cargas considerables de combustible, que se aproximan a las 50 ton ha⁻¹. De esa cantidad, el humus bruto supone generalmente un 40 – 50%, y la combinación de combustibles de suelo, que normalmente no intervienen en la fase de llama del incendio, entre un 65 – 70%. En Guadarrama, las cifras totales son significativamente menores, pero la contribución relativa de los combustibles de suelo es mayor. Se observa el incremento de la contribución relativa del mantillo a la carga total como consecuencia de los tratamientos, lo que puede dar lugar a una mayor importancia de la fase de rescoldo en la combustión. Antes de realizar los tratamientos, en ninguna de las dos áreas de estudio se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de carga de los diferentes componentes del combustible superficial en función de los tratamientos a los que iban a ser sometidas las parcelas.

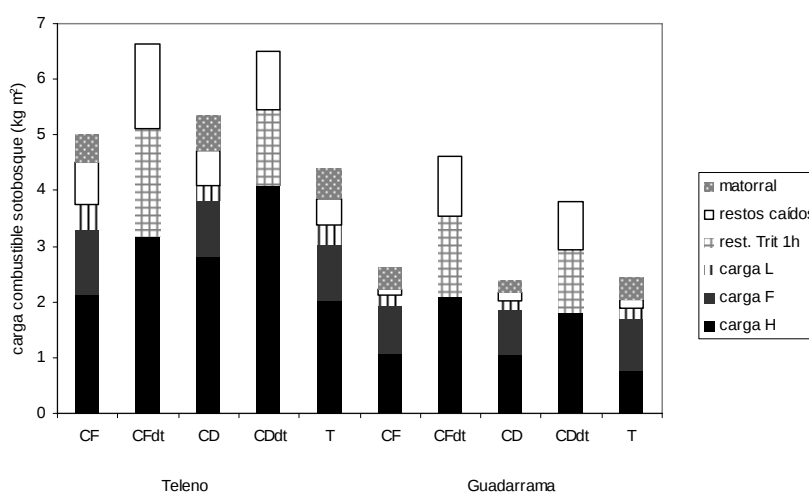


Figura 1. Valores medios de las cargas de combustible por tratamiento. CFdt y CDdt representan los valores después de los tratamientos.

Por otro lado, se observa en Teleno y Guadarrama un incremento de la carga disponible tras los tratamientos (Figura 2), más elevado cuanto más intensa fue la clara.

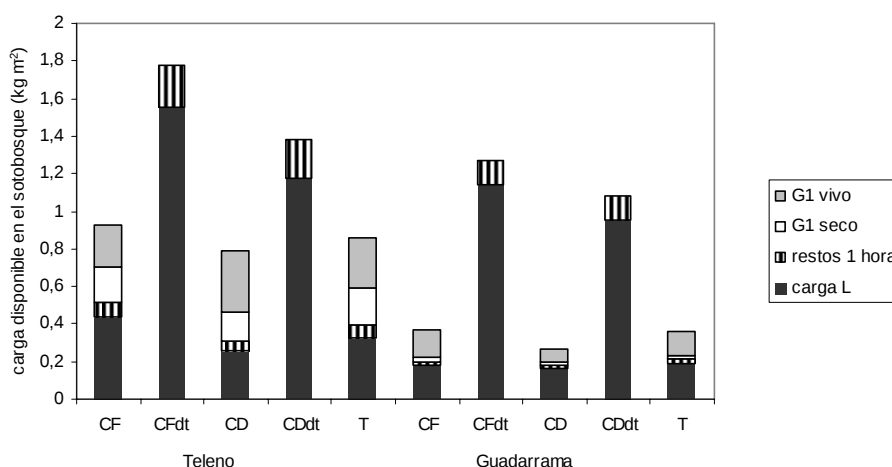


Figura 2. Valores medios de las cargas disponibles de combustible por tratamiento. CFdt y CDdt representan los valores después de los tratamientos.

Antes de los tratamientos el matorral de Teleno presentó unos valores de densidad aparente significativamente superiores a los de Guadarrama, debido a la mayor carga y menor altura media de los primeros (Tabla 4). El tratamiento supuso un incremento de carga disponible en las dos áreas de estudio, los valores fueron en todo caso superiores en Teleno que en Guadarrama. Se produjo un incremento drástico de los valores de densidad aparente de la capa L, debido a la compactación de los restos producida por su trituración, aunque en la densidad aparente media del complejo, MFCBD, el cambio producido por el tratamiento fue aún más radical. Con todo, estas cifras por sí solas pueden ser engañosas porque el grado de compactación del combustible, ha sufrido una alteración mucho mayor. Conviene destacar que los valores de carga disponible, su distribución y parámetros asociados, antes y después de los tratamientos no presentan apenas similitudes con ninguno de los modelos estándar desarrollados por el Forest Fire Science Laboratory, lo que refuerza la idea de la necesidad de realizar modelos específicos para las diferentes áreas de interés.

Tabla 4. Valores medios de densidad aparente del matorral (SBD, kg m^{-3}), densidad aparente de la capa L (LBD, kg m^{-3}), densidad aparente media del complejo de combustible (MFCBD, kg m^{-3}). CF: clara fuerte antes del tratamiento, CD: clara moderada antes del tratamiento, T: testigo., CFdt: clara fuerte inmediatamente después del tratamiento, CDdt: clara moderada inmediatamente después del tratamiento.

Sitio	Trat	SBD	LBD	MFCBD	Sitio	Trat	SBD	LBD	MFCBD
Teleno	CF	0,70	8,36	1,41	Guadarrama	CF	0,26	5,87	0,60
	CD	0,95	9,85	1,48		CD	0,21	6,88	0,54
	T	1,05	8,91	1,71		T	0,26	5,94	0,80
	CFdt	-	42,38	-		CFdt	-	35,28	-
	CDdt	-	42,46	-		CDdt	-	45,96	-

Combustible de copa

En cuanto a las ecuaciones alométricas para las diferentes fracciones de la masa de combustible disponible de las copas del arbolado, sólo se observaron diferencias significativas entre las dos áreas de estudio para la fracción acículas. En ambos casos el diámetro normal fue la variable explicativa, en el caso del Teleno explicaba el 96% y en el caso de Guadarrama el 97%. Se observó que a igualdad de diámetro, los individuos del Teleno muestran una ligera mayor cantidad de biomasa foliar que los individuos de Guadarrama. Para ramillas (< 6 mm) el diámetro normal y la altura total explicaron el 81%, y para ramas finas, estas mismas variables explicaron el 91% de la variabilidad.

La distribución vertical de la carga de combustible en la copa para los individuos del muestreo destructivo se modeló de manera conjunta para ambas áreas de estudio. Se aplicó un modelo para cada uno de los componentes (acículas, ramillas y ramas finas). Los modelos explicaron el 92% de la variación de la distribución vertical de las acículas, el 93% de las ramillas y el 94% de las ramas finas.

La carga de combustible disponible, altura de inicio de copa efectiva y densidad aparente del dosel efectivo, antes de realizar los tratamientos, no mostraron diferencias significativas en función de los tratamientos a los que iban a ser sometidas las parcelas (Tabla

5). Esto refuerza la hipótesis previa de relativa homogeneidad interna de los sitios. Por el contrario, sí se apreciaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dos áreas de estudio en la altura de inicio de copa efectiva. Sin embargo, no existían diferencias significativas entre las dos áreas de estudio para la carga de combustible disponible del estrato de copas y densidad aparente del dosel efectivo.

La realización de las claras de prevención supuso una notable disminución del área basimétrica, lo que se tradujo en una disminución de la carga media de combustible disponible del estrato de copas (CCD) y de la densidad aparente del dosel efectivo (CBDe). Igualmente, se apreció un incremento drástico en la altura de copa efectiva. También, tras la realización de las claras, se observaron diferencias entre tratamientos para las dos áreas de estudio que mostraron valores significativamente inferiores ($p < 0,05$) de densidad aparente efectiva del estrato de copas y superiores de altura de inicio de copa efectiva cuanto más intensa fue la intervención (excepto en Guadarrama, para la altura efectiva de inicio de copa, en la que no se observaron diferencias entre la clara fuerte y la moderada). En esta metodología, la poda no modificó los valores de la densidad de copa efectiva, y solo produjo un incremento de la altura efectiva de inicio de copa en las claras moderadas en ambos lugares de estudio.

Tabla 5. Valores medios antes y después de los tratamientos de la carga disponible del estrato de copas (CCD, kg m^{-2}) densidad aparente del dosel efectiva (CBDe, kg m^{-3}) y altura de base de copa efectiva (hbe, m). CF: clara fuerte, CD: clara moderada, T: testigo.

Sitio		Antes del tratamiento			Después del tratamiento		
		CCD	CBDe	hbe	CCD	CBDe	hbe
Teleno	CF	1,59	0,33	1,5	0,23	0,05	5,5
	CD	1,39	0,31	1,5	0,38	0,09	3,5
	T	1,26	0,29	1,5	1,26	0,29	1,5
Guadarrama	CF	1,73	0,32	2,5	0,36	0,07	6,5
	CD	1,63	0,30	3,5	0,74	0,14	5,0
	T	1,56	0,29	3,0	1,56	0,29	3,0

En cuanto a los resultados obtenidos con el programa NEXUS 2.0., para el Teleno se observa que, antes de los tratamientos, al extremarse las condiciones meteorológicas, las condiciones de un incendio empeorarían (Tabla 6). Los tratamientos supondrían bajo las tres circunstancias analizadas la ausencia de fuego, incluso de superficie. Para el caso de Guadarrama, aunque las características de un posible fuego son algo más leves que en Teleno (Tabla 7), presenta unas pautas de comportamiento con cierta similitud, ya que, antes del tratamiento, se observa un incremento de la severidad de un supuesto fuego, al extremarse las condiciones meteorológicas. Así, mientras para las condiciones leves y moderadas el fuego sería superficial, para las extremas se observarían fuegos de copa (activos o condicionales).

Al igual que en el caso de Teleno, los tratamientos darían lugar a un complejo de combustible para el cual, según este programa, sería imposible cualquier tipo de fuego.

Tabla 6. Tipo de fuego obtenido mediante el programa NEXUS 2.0 para el Teleno CF: clara fuerte antes del tratamiento, CD: clara moderada antes del tratamiento, T: testigo., CFdt: clara fuerte inmediatamente después del tratamiento, CDdt: clara moderada inmediatamente después del tratamiento.

Trat	Leves	Moderadas	Extremas
T	Pasivo-superficial	Pasivo	Activo
CF	Pasivo	Pasivo-activo	Activo
CD	Pasivo-superficial	Pasivo	Activo
CFdt	Superficial	Superficial	Superficial
CDdt	Superficial	Superficial	Superficial

Tabla 7. Tipo de fuego obtenido mediante el programa NEXUS 2.0 para Guadarrama CF: clara fuerte antes del tratamiento, CD: clara moderada antes del tratamiento, T: testigo., CFdt: clara fuerte inmediatamente después del tratamiento, CDdt: clara moderada inmediatamente después del tratamiento.

Trat	Leves	Moderadas	Extremas
T	Superficial	Superficial	Activo-condicional
CF	Superficial	Superficial	Activo
CD	Superficial	Superficial	Condicional
CFdt	Superficial	Superficial	Superficial
CDdt	Superficial	Superficial	Superficial

En cuanto a los resultados obtenidos mediante el programa CFIS, se observan mayores probabilidades de existencia de fuego de copas (Tablas 8 y 9). Esto es lógico si consideramos que los dos programas están basados en diferentes metodologías para la estimación de la probabilidad y propagación de un fuego de copas. Sin embargo, este programa coincide también en resaltar el efecto de los tratamientos, ya que reducen sensiblemente la posibilidad de fuego para los tres escenarios meteorológicos analizados, aunque las diferencias son menos ostensibles que las apreciadas mediante NEXUS 2.

Tabla 8. Tipo de fuego obtenido mediante el programa CFIS para Teleno CF: clara fuerte antes del tratamiento, CD: clara moderada antes del tratamiento, T: testigo., CFdt: clara fuerte inmediatamente después del tratamiento, CDdt: clara moderada inmediatamente después del tratamiento.

Trat	Leves	Moderadas	Extremas
T	Activo	Activo	Activo
CF	Activo	Activo	Activo
CD	Activo	Activo	Activo
CFdt	Superficie	Pasivo	Pasivo
CDdt	Pasivo	Pasivo	Activo

Tabla 9. Tipo de fuego obtenido mediante el programa CFIS para Guadarrama CF: clara fuerte antes del tratamiento, CD: clara moderada antes del tratamiento, T: testigo., CFdt: clara fuerte inmediatamente después del tratamiento, CDdt: clara moderada inmediatamente después del tratamiento.

Trat	Leves	Moderadas	Extremas
T	Activo	Activo	Activo
CF	Activo	Activo	Activo
CD	Activo	Activo	Activo
CFdt	Pasivo	Pasivo	Pasivo
CDdt	Pasivo	Pasivo-activo	Activo

5. Conclusiones

Los pinares de pino resinero de Castilla y León son formaciones forestales de gran peligrosidad desde el punto de vista de la estructura de los combustibles, y el potencial comportamiento del fuego de un incendio en ellas. Esto se agrava más en las masas densas de latizal bajo con matorral en el sotobosque, más propensas a fuegos de copa, y bajo condiciones meteorológicas adversas, a fuegos de gran intensidad.

La información obtenida revela una arquitectura compleja de los combustibles, con valores de carga por fracciones de tamaño y estado vegetativo de una notable variedad, y muy diferentes a las que presentan los modelos estándar que habitualmente se manejan en la tipificación de los combustibles forestales del sotobosque. Esto refuerza la necesidad de disponer de una caracterización cuantitativa más objetiva que la estándar, para construir modelos específicos, input esencial en los sistemas de predicción del comportamiento del fuego en el incendio. Un objetivo a largo plazo sería disponer de una cartografía digital de esos modelos específicos, incluyendo las copas, de gran valor tanto para la prevención como para la extinción. La caracterización del combustible del estrato de copa, a pesar de su laboriosidad, ha supuesto incrementar en gran medida el conocimiento del perfil vertical del

combustible, estrato escasamente estudiado en los modelos de comportamiento de fuego, pero con un papel crítico en el fuego de copas, y que permite evaluar con mayor exactitud el potencial de peligro de este tipo de suceso. A su vez, posibilita una evaluación más completa y realista de las intervenciones de selvicultura preventiva.

Se han obtenido ecuaciones alométricas con alto grado de significación para estimar la carga de diferentes componentes del combustible en los estratos de suelo, superficie y copas. Este hecho supone una notable aportación para la determinación de estas variables en masas de Castilla y León con alto grado de similitud a las estudiadas. Es preciso comprobarlo para otras áreas de pino resinero de la Comunidad, aunque los datos observados parecen sugerirla en los combustibles de humus, hojarasca y ramillas del arbolado.

Cabe destacar la eficiencia observada, mediante simulación, de los tratamientos preventivos efectuados para reducir la susceptibilidad de la masa a incendios de superficie y de copa. Aunque estos tratamientos generan una mayor cantidad de combustible disponible en el sotobosque, su alto grado de compactación, así como la eliminación de gran parte del combustible disponible en la copa y el incremento de la diferencia en altura entre el combustible en superficie y el existente en el dosel arbóreo, imponen restricciones para que se produzca un fuego intenso de superficie y el inicio y desarrollo de un fuego de copas. Se han observado disparidades en los resultados del comportamiento del fuego, obtenidos mediante los dos programas de simulación usados. Puede ser debido a que han sido desarrollados aplicando diferentes modelos de propagación de fuego de copas. Posiblemente, en los próximos años esos modelos serán ajustados y afinados. Sin embargo, es importante reseñar que, en ambos se ha apreciado una drástica reducción de la severidad del posible incendio después de los tratamientos. Junto con la modificación de la estructura, supone que estos métodos son instrumentos útiles para planificar y diseñar tratamientos preventivos. Por otro lado, no se han apreciado grandes diferencias entre los dos niveles de tratamiento en los resultados de la simulación, aunque, de forma general, el tratamiento fuerte supuso una mayor disponibilidad de combustible en el sotobosque, y menor en el estrato de copas. Hay que tener en cuenta que los costes de los tratamientos fueron superiores para el tratamiento fuerte que para el moderado en Guadarrama (no difirieron en exceso en Teleno), por lo que quizás sería recomendable el tratamiento moderado, aunque este punto necesitaría ser evaluado a largo plazo.

6. Agradecimientos

Agradecemos a A. Arellano su gran trabajo en la selección de las áreas de estudio, instalación de parcelas y medición del arbolado. Extendemos el agradecimiento a todos aquellos que ayudaron en el trabajo de campo y análisis de laboratorio, particularmente al personal técnico de apoyo del CDF y CINAM. Este estudio fue realizado mediante financiación de la Junta de Castilla y León y del proyecto europeo FIRE PARADOX.

7. Bibliografía

ALEXANDER, M.E.; STEFNER, C.N.; MASON, J.A.; STOCKS, B.J.; HARTLEY, G.R.; MAFFEY, M.E.; WOTTON, B.M.; TAYLOR, S.W.; LAVOIE, N.; DALRYMPLE, G.N.; 2004. Characterizing the jack pine-black spruce fuel complex of the International Crown Fire Modelling Experiment (ICFME). Can. For. Serv. Inf. Rep. NOR-X-393. 48 p.

CRUZ M.G., 2004. Ignition of crown fuels above a spreading surface fire, Ph.D. dissertation, University of Montana, Missoula, 126 p.

FERNANDES, P.; LOUREIRO, C.; BOTELHO, H.; FERREIRA, A.; FERNÁNDEZ, M.; 2002. Avaliação indirecta da carga de combustível em pinhal bravo. *Silva Lusitana* 10 73-90.

FULE, P.Z.; COVINGTON, W.W.; SMITH, H.B.; SPRINGER, J.D.; HEINLEIN, T.A.; HUISINGA, K.D.; MOORE, M.M.; 2002. Comparing ecological restoration alternatives: Grand Canyon, Arizona. *For. Ecol. Manage.* 170 19-41.

KEYES, C.R.; O'HARA, K.L.; 2002. Quantifying stand targets for silvicultural prevention of crown fires. *West. J. Appl. For.* 17 101-109.

MADRIGAL, J.; HERNANDO, C.; GUIJARRO, M.; DÍEZ, C.; JIMÉNEZ, E.; 2006. Distribución de biomasa y fijación de carbono tras claros mecanizados intensos en regenerado post – incendio de *Pinus pinaster* Ait. (Monte “Fraguas”, Guadalajara, España). *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 15 231-242.

MARSDEN-SMEDLEY, J.B.; CATCHPOLE, W.R.; 1995. Fire modelling in Tasmanian buttongrass moorlands I. Fuel characteristics. *International Journal of Wildland Fire* 5 203-214.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.; 2005. Los incendios forestales en España. Año 2005. Avance Informativo Enero 2006. Centro de Coordinación de la Información Nacional sobre Incendios Forestales, Madrid.

MITSOPOULOS, I.D.; DIMITRAKOPOULOS, A.P.; 2007a. Canopy fuel characteristics and potential crown fire behaviour in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests. *Ann. For. Sci.* 64 287-299.

MITSOPOULOS, I.D.; DIMITRAKOPOULOS, A.P.; 2007b. Allometric equations for crown fuel biomass of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in Greece. *Int. J. Wild. Fire* 16 642-647.

REINHARDT, E.; SCOTT, J.; GRAY, K.; KEANE, R.; 2006. Estimating canopy fuel characteristics in five conifer stands in the western United States using tree and stand measurements. *Can. J. For. Res.* 36 2803-2814.

SCOTT, J.H.; REINHARDT, E. D.; 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. USDA For. Res. Pap. RMRS-RP-29. 59 p.

STEPHENS, S.L.; 1998. Evaluation of the effects of silvicultural and fuels treatments on potential fire behaviour in Sierra Nevada mixed conifer forests. *For. Ecol. Manage.* 105 21-35.

STEPHENS, S.L.; MOGHADDAS, J.J.; 2005. Experimental fuel treatment impacts on forest structure, potential fire behavior, and predicted tree mortality in a California mixed conifer forest. *For. Ecol. Manage.* 215 21-36.

VAN WAGNER, C.E.; 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Can. J. For. Res.* 7 23-34.