



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-390

---

---

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Recuperación a medio plazo del complejo de combustibles y comportamiento potencial del fuego tras clareo y trituración de restos en una masa de *Pinus pinaster* Ait.

JIMÉNEZ CARMONA, E.<sup>1</sup>, FERNÁNDEZ FILGUEIRA, C.<sup>1</sup>, REY VAN DEN BERCKEN, E.<sup>2</sup>, VEGA HIDALGO, J.A.<sup>1</sup>, y VEGA NIEVA, D.J.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación Forestal – Lourizán. Xunta de Galicia.

<sup>2</sup> Centro para la Defensa del Fuego. Junta de Castilla y León.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Juárez del Estado de Durango (México)

### Resumen

*Pinus pinaster* Ait. es uno de los componentes principales de las áreas forestales del occidente de la Cuenca Mediterránea. Esta especie está sometida a una alta incidencia de incendios forestales, lo que hace a sus masas unas candidatas para la realización de tratamientos preventivos. Sin embargo existe poca información sobre la eficiencia y longevidad de los tratamientos preventivos realizados en estas masas. En este estudio se ha evaluado como dos intensidades diferentes de clareo seguidos por trituración de restos modifican el complejo integral de combustibles, así como la recuperación del mismo a lo largo de los cinco años posteriores al tratamiento en un área forestal del centro de España. También se evaluó su efecto en el comportamiento potencial de un incendio forestal que afectase a la masa. Cinco años tras el tratamiento, la carga y la densidad aparente del dosel fue significativamente inferior a la de las masas sin tratar. La cobertura y altura del matorral, así como la carga disponible bajo el dosel no habían alcanzado los valores de las masas sin tratar. Los tratamientos fueron eficientes reduciendo la susceptibilidad de la masa a incendios de copa activos durante el período de estudio.

### Palabras clave

Tratamientos preventivos, longevidad, modelización, riesgo, incendio.

## 1. Introducción

En España, *Pinus pinaster* es la conífera más común, ocupando alrededor de 1,2 millones de hectáreas (INIA, 2008), viéndose muy afectada por los incendios forestales, llegándose a quemar 102.117 hectáreas de esta especie en España entre 2001 y 2010 (MAGRAMA, 2012). Por lo tanto, las masas de esta especie son excelentes candidatos para la realización de tratamientos preventivos de modificación de la estructura de los combustibles con el objetivo de modificar el comportamiento del fuego en caso de que las masas sean afectadas por un incendio, reducir su severidad e impactos negativos asociados y facilitar las actividades de extinción.

Aunque se ha subrayado que la eficacia de los tratamientos puede verse reducida a través de la recuperación del complejo de combustibles tras las intervenciones, la información disponible sobre la longevidad de los tratamientos preventivos es muy limitada, siendo prácticamente inexistente en el caso de tratamientos de clareo y trituración en la región mediterránea.

Para terminar, cabe destacar que, aunque se ha destacado la necesidad de realizar fuegos experimentales para evaluar la eficacia de este tipo de tratamiento sobre los combustibles, las limitaciones operacionales y el riesgo asociado a este tipo de ensayo hace que la evaluación del efecto de estos tratamientos en el comportamiento del fuego deba basarse en el uso de modelos de comportamiento del fuego.

## 2. Objetivos

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto inmediato, a los tres años y a los cinco años de dos intensidades altas de clareo seguido de trituración en i) las características de los combustibles del dosel, del sotobosque y de la superficie del suelo y ii) en el comportamiento potencial del fuego de superficie y de copas en una masa de *Pinus pinaster* en el centro de España.

## 3. Metodología

El área de estudio se localizó en la Sierra del Teleno, caracterizada por un clima mediterráneo continental (precipitación media anual de 650 mm, y temperatura media anual de 10,8°C) y por suelos cambisoles húmicos y luvisoles de poca fertilidad y escasa profundidad. El matorral presente está dominado por *Pterospartum tridentatum* (L.) Willk, *Erica australis* L., *Erica umbellata* Loefl. ex L., y *Halimium lasianthum* subsp. *alyssoides* (Lam.) Greuter. A finales de 2006 se instalaron nueve parcelas de 50 x 50 m cada una en un área con alta densidad de arbolado de *Pinus pinaster* (entre 4500 y 5000 pies/hectárea) de 46 años de edad. A cada uno de los individuos en el interior de las parcelas se le midió el diámetro normal, la altura total, la altura de inicio de copa y el ancho de copa. Los valores medios antes de la realización de los tratamientos de diámetro normal fue de 8,3 cm, de altura total de 5,4 m, de ancho de copa de 1,1 m, de longitud de copa de 2,5 m, y de área basimétrica de 29,25 m<sup>2</sup>/ha.

Los tratamientos de clareo se efectuaron de manera aleatoria en las parcelas en otoño de 2007 con tres replicas por tratamiento: sin tratamiento (NT), dejando una densidad de 4854 pies/hectárea; tratamiento intenso (TI) con trituración, con una densidad final de 700 pies/hectárea; y tratamiento muy intenso (TMI) con trituración, dejando una densidad de 300 pies/hectárea.

Las mediciones de los combustibles del dosel, del sotobosque y de la superficie del suelo se realizaron antes de los tratamientos (diciembre de 2006), inmediatamente después de los tratamientos (noviembre de 2007), en junio de 2010 y en julio de 2012. La carga de combustible del sotobosque, superficie del suelo (hojarasca y restos leñosos) y suelo (capas de fermentación y humus) de cada parcela se determinó mediante el inventario destructivo de 12 sub-parcelas de 1 m<sup>2</sup> por parcela y su posterior transporte a laboratorio para la separación por grupos de tamaño (1 h, 10 y 100 h para combustibles muertos, y finos (0–6 mm), medios (6–25) y gruesos (25–75) para los vivos), estado (vivo o seco) y secado en estufa para determinación del peso seco. Para este estudio se consideraron como combustibles disponibles bajo el arbolado aquellos del sotobosque y de la superficie del suelo, inferiores a 6 mm. Adicionalmente, se establecieron cinco transectos longitudinales en cada parcela en los que se midió la cobertura lineal de cada estrato de combustible y, además, la altura (sotobosque) y profundidad (hojarasca) de los combustibles cada metro. La determinación de los combustibles del dosel implicó el desarrollo de ecuaciones alométricas y su posterior aplicación a los individuos de la parcela.

El comportamiento del fuego de copa potencial antes y después de los tratamientos fue evaluado empleando los modelos de VAN WAGNER (1977) y ROTHERMEL (1991). La información obtenida a partir de los inventarios realizados fue utilizada para la creación de modelos específicos para la estimación del comportamiento del fuego de superficie. La intensidad lineal del fuego de superficie se estimó mediante la ecuación de BYRAM (1959). Para determinar la intensidad lineal del fuego de copa tuvo en cuenta recientes estudios sobre la consunción de combustibles en incendios reales en masas de *Pinus pinaster* con comportamiento de fuego de copas pasivo (MOLINA et al., 2014) y activo (JIMÉNEZ et al., 2013). Se calcularon los valores del índice de entorchamiento (torching index) y del índice de propagación del fuego de copa (crowning index) para la realización de comparaciones entre tratamientos (SCOTT & REINHARDT, 2001; FERNANDES, 2009). Se empleó un escenario meteorológico extremo para evaluar el efecto de los tratamientos en el comportamiento del fuego. Este escenario consistió en una velocidad de viento de 30 km/h, y una humedad de los

combustibles finos muertos del 6 y 5% para las parcelas tratadas y sin tratar, respectivamente. La humedad de los combustibles vivos fue considerada del 100%.

La evaluación del efecto de los tratamientos se llevó a cabo un modelo general lineal (GLM) de medidas repetidas, realizando un análisis BACI (before-after control impact). Las comparaciones de los valores de los parámetros se realizaron entre tratamientos en cada año monitorizado, y entre los valores pre- y post-tratamiento para cada tratamiento. Las comparaciones se realizaron mediante el test Bonferroni ( $p < 0,05$ ).

#### 4. Resultados

Aunque se observó en las parcelas tratadas (Tabla 1) un paulatino incremento a lo largo del período de estudio de los valores de altura, cobertura, carga de combustible fino muerto y carga total de combustible fino del matorral, cinco años tras el tratamiento estos no alcanzaron los valores de las parcelas sin tratar y seguían siendo inferiores a las presentes antes del tratamiento (excepto en el caso de la altura y carga total de combustible fino). La carga de restos leñosos de 1 y 10 h (y 100 h en el caso de TMI) sufrieron un incremento inmediatamente tras el tratamiento. Sin embargo, a los cinco años del tratamiento, los valores en las parcelas tratadas no mostraban valores significativamente diferentes a los existentes antes de la intervención. La carga de hojarasca se vio incrementada igualmente tras los tratamientos, decreciendo posteriormente hasta presentar valores inferiores a los de las parcelas no tratadas y a los observados antes del clareo y trituración. La carga disponible bajo el arbolado fue significativamente superior en las TMI en comparación con TI y NT, e inferior en TI comparadas con NT, aunque no se apreciaron diferencias significativas entre los valores pre-tratamiento y los presentes inmediatamente tras la ejecución del mismo. Tres y cinco años tras los tratamientos los valores en las parcelas tratadas eran inferiores a los de las parcelas sin tratar, aunque estas diferencias se fueron atenuando con el tiempo. El efecto de los tratamientos en la densidad aparente de los combustibles bajo el arbolado solo fue aparente inmediatamente tras el tratamiento.

Tabla 1. Valores medios de altura y cobertura de matorral, carga de combustible fino muerto y fino total del matorral, carga de restos leñosos caídos de 1h, 10h, y 100 h, carga de las capas de hojarasca, fermentación y humus, carga de combustible disponible bajo el arbolado y densidad aparente de combustible bajo arbolado por tratamiento y fecha (TMI: tratamiento muy intenso; TI: tratamiento intenso y NT: sin tratamiento). Erros estándar entre paréntesis. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ) y mayúsculas indican diferencias significativas entre fechas para cada tratamiento ( $p < 0,05$ )

Parámetro	Trat.	2007 pre	2007 post	2010	2012
Cobertura matorral (%)	TMI	63,2aA (4,6)	na	20,9aB (2,5)	36,5aB (6,1)
	TI	66,2aA (1,9)	na	26,9aB (2,5)	50,0aC (2,0)
	NT	65,6aA (4,1)	na	66,8bA (5,3)	67,7bA (5,3)
Altura matorral (cm)	TMI	50,1aA (6,2)	na	22,5aB (2,7)	44,9aA (2,9)
	TI	51,2aA (6,6)	na	28,9aB (0,6)	57,6aA (1,0)
	NT	54,3bA (8,4)	na	65,0bA (14,8)	71,5bA (16,3)
Carga combustible fino muerto del matorral (Mg/ha)	TMI	1,90aA (0,21)	na	0,03aB (0,02)	0,39aB (0,05)
	TI	1,82aA (0,16)	na	0,06aB (0,01)	0,46aC (0,04)
	NT	1,92aA (0,11)	na	2,10bA (0,09)	2,34bA (0,11)
Carga combustible fino total del matorral (Mg/ha)	TMI	4,18aA (0,23)	na	1,77aB (0,24)	3,79aA (0,78)
	TI	4,85aA (0,12)	na	2,89aB (0,10)	4,25aA (0,42)
	NT	4,62aA (0,16)	na	5,08bA (0,17)	5,89bB (0,19)
Restos leñosos 1 h (Mg/ha)	TMI	0,74aA (0,01)	2,44aB (0,12)	1,08aC (0,05)	0,69aA (0,05)
	TI	0,47bA (0,01)	1,51bB (0,15)	0,80bA (0,04)	0,71aA (0,07)
	NT	0,71aA (0,01)	0,71cA (0,01)	0,78bB (0,01)	0,85aC (0,01)
Restos leñosos 10	TMI	1,17 aA (0,12)	7,53aB (0,06)	2,51aC (0,32)	2,17aA (0,31)

h (Mg/ha)	TI	0,83abA (0,09)	4,27bB (0,41)	1,75abA (0,19)	1,76abA (0,25)
	NT	0,68bA (0,08)	0,68cA (0,08)	0,75abA (0,09)	0,82bA (0,10)
Restos leñosos 100 h (Mg/ha)	TMI	1,30aA (0,11)	3,14aB (0,18)	1,75aA (0,57)	1,57aA (0,25)
	TI	0,68bA (0,16)	1,44bA (0,36)	0,85aA (0,30)	0,92abA (0,11)
	NT	0,39bA (0,03)	0,39cA (0,03)	0,42aA (0,03)	0,47bA (0,03)
Hojarasca (Mg/ha)	TMI	4,37aA (0,08)	7,68aB (0,04)	1,18aC (0,09)	1,46aC (0,12)
	TI	2,60bA (0,12)	5,08bB (0,03)	0,73bC (0,04)	1,36aC (0,24)
	NT	3,28cA (0,08)	3,28cA (0,08)	3,61cAB (0,09)	3,97bB (0,09)
Fermentación (Mg/ha)	TMI	11,75aA (0,79)	12,69aA (0,08)	11,44aA (2,11)	5,98aB (0,29)
	TI	10,29aA (0,98)	9,91bA (0,06)	6,78aB (0,70)	3,84bB (0,30)
	NT	10,31aA (0,51)	10,31bA (0,5)	11,34aA (0,56)	12,47cA (0,62)
Humus (Mg/ha)	TMI	21,31aA (0,26)	40,86aA (6,77)	44,04aA (7,94)	32,41aA (7,11)
	TI	25,96bA (4,8)	35,7abAB (6,2)	40,74aB (3,0)	26,72aA (2,70)
	NT	24,18abA (2,8)	24,18bA (2,8)	25,19bA (3,2)	26,11aA (4,02)
Carga total disponible bajo arbolado (Mg/ha)	TMI	9,29aA (0,59)	10,12aA (0,18)	4,03aB (0,54)	5,94aB (0,93)
	TI	7,92aA (0,16)	6,59bA (0,13)	4,42aB (0,04)	6,32aAB (0,7)
	NT	8,61aA (0,09)	8,61cA (0,09)	9,47bB (0,10)	10,71bC (0,1)
Densidad aparente bajo arbolado (kg/m <sup>3</sup> )	TMI	1,85aA (0,16)	24,1aB (1,73)	1,79aA (0,66)	1,32aA (0,14)
	TI	1,55aA (0,25)	20,6bB (0,35)	1,53aA (0,17)	1,10aA (0,15)
	NT	1,59aA (0,46)	1,59cA (0,46)	1,46aA (0,47)	1,50aA (0,44)

En cuanto al arbolado (Tabla 2), los tratamientos supusieron un incremento en los valores medios de altura del inicio de la copa, diámetro normal, y una drástica reducción del área basimétrica, carga de combustible y densidad aparente del dosel. Aunque la carga de combustible del dosel seguía siendo inferior en las parcelas tratadas con respecto a las que no lo fueron cinco años tras los tratamientos, el incremento que experimentaron los valores tras la intervención fue muy elevado.

Tabla 2. Valores medios de diámetro normal, área basimétrica, altura base, espesor, carga y densidad aparente del dosel por tratamiento y fecha (TMI: tratamiento muy intenso; TI: tratamiento intenso y NT: sin tratamiento). Erros estándar entre paréntesis. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ) y mayúsculas indican diferencias significativas entre fechas para cada tratamiento ( $p < 0,05$ )

Parámetro	Trat.	2007 pre	2007 post	2010	2012
Diámetro normal (cm)	TMI	8,7aA (0,2)	13,2aB (0,3)	16,7aC (0,1)	19,2aD (0,4)
	TI	8,2aA (0,5)	11,6aB (0,6)	13,8aBC (0,7)	15,7bC (0,7)
	NT	8,5aA (0,8)	8,5bA (0,8)	9,3bA (0,9)	9,8cA (0,9)
Área basimétrica (m <sup>2</sup> /ha)	TMI	32,29aA (2,75)	3,29aB (0,45)	6,89aB (0,10)	8,63aB (0,29)
	TI	28,58aA (1,91)	5,68aB (1,00)	9,55aBC (0,78)	12,29aC (0,83)
	NT	28,19aA (2,05)	28,19bA (2,05)	33,12bA (2,46)	34,94bA (2,75)
Altura base del dosel (m)	TMI	3,0aA (0,0)	3,9aB (0,0)	3,9aB (0,0)	4,0aB (0,0)
	TI	2,9aA (0,1)	3,6aB (0,1)	3,6aB (0,1)	3,6abB (0,1)
	NT	3,0aA (0,1)	3,0bA (0,2)	3,0bA (0,2)	3,2bA (0,2)
Espesor del dosel (m)	TMI	2,5aA (0,1)	3,6aB (0,1)	3,9aC (0,0)	4,2aD (0,1)
	TI	2,4aA (0,1)	3,2aAB (0,1)	3,5aB (0,2)	3,9aB (0,2)
	NT	2,5aA (0,2)	2,5bA (0,2)	2,7bA (0,2)	2,8bA (0,2)
Carga del dosel (kg/m <sup>2</sup> )	TMI	0,84aA (0,08)	0,10aB (0,01)	0,42aC (0,01)	0,52aD (0,02)
	TI	0,79aA (0,06)	0,17aB (0,03)	0,55aA (0,05)	0,71aA (0,05)
	NT	0,82aA (0,07)	0,82bA (0,07)	0,97bA (0,08)	1,04bA (0,09)
Densidad aparente del dosel (kg/m <sup>3</sup> )	TMI	0,32aA (0,01)	0,03aB (0,00)	0,11aC (0,00)	0,12aC (0,01)
	TI	0,33aA (0,01)	0,05aB (0,01)	0,15bC (0,01)	0,18bC (0,01)
	NT	0,33aA (0,01)	0,33bA (0,01)	0,36cA (0,01)	0,37cA (0,01)

La modelización del comportamiento del fuego (Tabla 3) mostró un número pequeño de situaciones con fuego de copas activos. Estas solo ocurrían en el caso de las parcelas sin tratar, o antes del tratamiento en las parcelas aclaradas. En TMI, solo se observaba alguna actividad de fuego de copa (pasivo) a los cinco años de los tratamientos. La velocidad de propagación del fuego fue generalmente superior en las parcelas sin tratar, con un valor de 15,62 m/min en el caso de fuegos de copa activos. Los valores de los índices de entorchamiento y de propagación de fuego de copa fueron generalmente más bajos en el caso de las parcelas sin tratar.

Tabla 3. Tipo de fuego en porcentaje (S: superficie, P: pasivo; A: activo) y valores medios de velocidad de propagación, intensidad lineal, índice de entorchamiento e índice de propagación del fuego de copas activo. Erros estándar entre paréntesis. Letras minúsculas indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ) y mayúsculas indican diferencias significativas entre fechas para cada tratamiento ( $p < 0,05$ )

Parámetro	Trat	2007 pre	2007 post	2010	2012
Tipo de fuego	TMI	S-33% A-66%	S-100%	S-100%	S-66% P-33%
	TI	S-33% A-66%	S-100%	S-100%	S-100%
	NT	A-100%	A-100%	A-100%	A-100%
Velocidad de propagación (m/min)	TMI	11.28aA (4.33)	0.09aB (0.01)	3.59aAB (0.75)	9.30aAB (0.83)
	TI	11.50aA (4.12)	0.12aB (0.01)	2.24aAB (0.17)	4.00aAB (4.20)
	NT	15.62aA (0.00)	15.62bA (0.00)	15.62bA (0.00)	15.62aA (0.00)
Intensidad lineal (kW/m)	TMI	5766aA (2636)	22aB (3)	459aAB (56)	2311aAB (368)
	TI	3911aA (1734)	20aB (0)	298aAB (8)	734aAB (1761)
	NT	6598aA (317)	6598bA (317)	8548bA (397)	9250bA (444)
Índice de entorchamiento (km/h)	TMI	24aA (7)	5485aB (891)	69abA (19)	27abA (3)
	TI	26aA (5)	4368aB (537)	84aA (7)	42aA (7)
	NT	19aA (3)	19bA (3)	15bA (3)	14bA (3)
Índice de propagación (km/h)	TMI	16aA (1)	105aB (11)	39Aa (1)	35aA (1)
	TI	17aA (0)	66bB (7)	30bA (1)	26bA (1)
	NT	17aA (0)	17cA (0)	16cA (0)	16cA (0)

## 5. Discusión

Se apreció como el tratamiento redujo el peligro de incendio teniendo en cuenta la mayor parte de los elementos del complejo de combustibles para al menos cinco años tras su ejecución. A pesar de la falta de estudios sobre la longevidad de este tipo de tratamientos, se ha mostrado que la efectividad en el tiempo de este tipo de intervención depende de las condiciones locales (STEPHENS et al., 2012; KREYE et al., 2014). En nuestro caso, el crecimiento del sotobosque tras el clareo y trituración está basado en la capacidad de rebrote de las especies presentes, probablemente favorecido por una mayor incidencia de la luz, y mayor disponibilidad de agua y nutrientes tras la reducción de competencia mediante la eliminación parcial del arbolado (KNAPP et al., 2011; FERNÁNDEZ et al., 2013). Además el material resultante de la trituración de los restos pudo crear una condiciones favorables para el desarrollo de la vegetación (RHOADES et al., 2012).

La aparente ausencia de efecto inmediato de los tratamientos en la carga de combustible disponible bajo el arbolado pudo ser consecuencia del efecto compensatorio entre la adición de los restos provenientes del arbolado aclarado, y la incorporación parcial de estos restos junto a los del sotobosque a la capa de fermentación y humus. La reducción de la carga de combustible disponible bajo el arbolado a los tres años del tratamiento puede ser debido a la rápida incorporación de los restos a la capa de humus mediante descomposición (KREYE, 2012).

El incremento de la densidad aparente de los combustibles bajo el arbolado tras el tratamiento fue consecuencia de la drástica reducción de la altura del combustible tras la trituración. Para su cálculo a los tres y cinco años tras el tratamiento se empleó la altura del matorral presente, con el

objetivo de no obtener unos valores de velocidad de propagación del fuego irreales mediante la modelización (GLITZENSTEIN et al., 2006). Esto pudo ensombrecer el efecto del tratamiento en este parámetro.

Con respecto a los combustibles de copa, los tratamientos crearon masas menos susceptibles a incendios de copa, mediante el incremento de los valores medios de la altura de inicio de copa y del diámetro normal (STEPHENS & MOGHADDAS, 2005; BATTAGLIA et al., 2010). Además, el clareo redujo drásticamente la carga de combustible del dosel y su densidad aparente. La reducción en densidad aparente fue más evidente ya que, además de reducir la carga de combustible, el tratamiento tuvo como consecuencia un incremento en la longitud de copa del arbolado.

La modelización del comportamiento del fuego reflejó la eficiencia de los tratamientos reduciendo la susceptibilidad al fuego de copa para al menos los primeros cinco años tras su ejecución. Estudios anteriores han mostrado que la realización de tratamientos solo en el arbolado, sin una intervención en los residuos generados, reduce la protección a la penetración del viento, e incrementa la carga de los combustibles superficiales, lo que implicaría incendios potenciales de superficie de mayor velocidad de propagación e intensidades (STEPHENS & MOGHADDAS, 2005; WALDROP et al., 2010). La reducción en el potencial del fuego de superficie apreciado al tratar los residuos se ha atribuido a la compactación resultante de la trituración (GLITZENSTEIN et al., 2006). Sin embargo, el bajo potencial del fuego de superficie observado puede ser debido en parte a la extrema sensibilidad del modelo de comportamiento del fuego empleado cuando se incluyen complejos de combustible con altos niveles de compactación (GLITZENSTEIN et al., 2006; CRUZ & ALEXANDER, 2010).

## 6. Conclusiones

Nuestro estudio aporta nueva información sobre la estructura de los combustibles, su modificación tras tratamientos, y los ritmos de recuperación tras intervención, aspectos cruciales a la hora de planificar las actividades preventivas en áreas frecuentemente afectadas por incendios forestales.

## 7. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por los proyectos RTA2009-0153-C03-01 y RTA2014-00011-C06, y la Junta de Castilla y León. También ha sido cofinanciado por el INIA y el Fondo Social Europeo (contrato post-doctoral E. Jiménez). Estamos muy agradecidos a A. Arellano por su trabajo en la selección de las áreas de estudio, instalación y medición de parcelas. Agradecemos a E. Pérez su trabajo en la construcción de bases de datos, y a J.M. Fernández Alonso por su apoyo en las simulaciones del comportamiento del fuego, y a J.R. González, J.L. Pardo, M. Martínez y M. López por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio.

## 8. Bibliografía

BATTAGLIA, M.A., ROCCA, M.E.; RHOADES, C.C.; RYAN, M.G.; 2010. Surface fuel loadings within mulching treatments in Colorado coniferous forests. *For. Ecol. Manage.* 260: 1557-1566.

BYRAM, G.M.; 1959. Combustion of forest fuels. En: DAVIES, K.P. (ed.) *Forest fire: control and use.* 61-89. McGraw-Hill, New York.

CRUZ, M.G.; ALEXANDER, M.E.; 2010. Assessing crown fire potential in coniferous forests of western North America: a critique of current approaches and recent simulation studies. *Int. J. Wild. Fire* 19: 377-398.

FERNANDES, P.M.; 2009. Combining forest structure data and fuel modelling to classify fire hazard in Portugal. *Ann. For. Sci.* 66: 415.

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; FONTURBEL, T.; 2013. Shrub resprouting response after fuel reduction treatments: comparison of prescribed burning, clearing and mastication. *J. Environ. Manag.* 115: 235-241.

GLITZENSTEIN, J.L.; STRENG, D.R.; ACHTMEIER, G.L.; NAEHER, L.P.; WADE, D.D.; 2006. Fuels and fire behaviour in chipped and unchipped plots: implications for land management near the wildland/urban interface. *For. Ecol. Manage.* 236: 18-29.

INIA; 2008. Compendio de Selvicultura Aplicada en España. INIA. Ministerio de Educación y Ciencia. pp: 1178. Madrid.

JIMÉNEZ, E.; VEGA, J.A.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; GUIJARRO, M.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; MADRIGAL, J.; CUIÑAS, P.; HERNANDO, C.; FERNÁNDEZ-ALONSO, J.M.; 2013. Carbon emissions and vertical pattern of canopy fuel consumption in three *Pinus pinaster* Ait. active crown fires in Galicia (NW Spain). *Ecol. Eng.* 54: 202-209.

KNAPP, E.E.; VARNER, J.M.; BUSSE, M.D.; SKINNER, C.N.; SHESTAK, C.J.; 2011. Behaviour and effects of prescribed fire in masticated fuel beds. *Int. J. Wild. Fire* 20: 932-945.

KREYE, J.K.; 2012. Efficacy and ecological effects of mechanical fuel treatment in pine flatwoods ecosystems of Florida, USA. PhD dissertation. pp: 185. University of Florida.

KREYE, J.K.; BREWER, N.W.; MORGAN, P.; MORGAN VARNER, J.; SMITH, A.M.S.; HOFFMAN, C.M.; OTTMAR, R.D.; 2014. Fire behaviour in masticated fuels: a review. *For. Ecol. Manage.* 314: 193-207.

MAGRAMA; 2012. Los incendios forestales en España. Decenio 2001-2010. pp: 138. Madrid.

MOLINA, J.R.; RODRÍGUEZ Y SILVA, F.; MÉRIDA, E.; HERRERA, M.A.; 2014. Modelling available crown fuel for *Pinus pinaster* Ait. stands in the “Cazorla, Segura and Las Villas Natural Park” (Spain). *J. Environ. Manag.* 144: 26-33.

RHOADES, C.C.; BATTAGLIA, M.A.; ROCCA, M.E.; RYAN, M.G.; 2012. Short- and medium-term effects of fuel reduction mulch treatments on soil nitrogen availability in Colorado conifer forests. *For. Ecol. Manage.* 276: 231-238.

ROTHERMEL, R.C.; 1991. Predicting behaviour and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains. USDA Forest Service, Intermountain Research Station, Research Paper INT-438. Ogden.



SCOTT, J.H.; REINHARDT, E.D.; 2001. Assessing Crown fire potential by linking models of surface and crown fire potential. USDA Forest Service,, Rocky Mountain Research Station, Research Paper RMRS-29. Fort Collins.

STEPHENS, S.L.; MOGHADDAS, J.J.; 2005. Experimental fuel treatment impacts on forest structure, potential fire behaviour, and predicted tree mortality in a California mixed-conifer forest. *For. Ecol. Manage.* 105: 21-35.

STEPHENS, S.L.; COLLINS, B.M.; ROLLER, G.; 2012. Fuel treatment longevity in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *For. Ecol. Manage.* 285: 204-212.

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

WALDROP, T.; PHILLIPS, R.A.; SIMON, D.A.; 2010. Fuels and predicted fire behaviour in the Southern Appalachian Mountains after fire and fire surrogate treatments. *For. Sci.* 56: 32-45.