



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

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

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-372

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

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Evaluación de la severidad en suelo y la vegetación de tratamientos de quemas prescritas bajo arbolado en masas puras y mixtas (*Pinus nigra*, *Pinus pinaster*) de la provincia de Cuenca

ESPINOSA, J.¹, MADRIGAL, J.^{1,5*}, JIMÉNEZ, E.², MOYA, D.³, ALMODOVAR, J.⁴, DE LAS HERAS, J.³, LUCAS-BORJA, M.³, VEGA, J.A.², DE LA CRUZ, A. C.¹, ALFARO, R.³, FERRANDIS, P.³, PLAZA, P.A.³, SAGRA, J.³, GUIJARRO, M.^{1,5}, DÍEZ, C.¹, CARRILLO, C.¹ y HERNANDO, C.^{1,3}.

¹ INIA, Centro de Investigación Forestal, Dpto. Selvicultura y Gestión de los Sistemas Forestales.

² CIF-Lourizán, Xunta de Galicia

³ UCLM, ETSIAM Campus Albacete

⁴ SEIF, Servicio de Extinción de Incendios Forestales de Cuenca (Junta de Castilla-La Mancha)

⁵ iuFOR, Instituto Universitario de Gestión Forestal Sostenible uVA-INIA

Resumen

Se ha llevado a cabo un diseño de parcelas experimentales en masas mixtas (*Pinus nigra*, *Pinus pinaster*) y puras (*P. nigra*) del norte de la provincia de Cuenca (Pozuelo y Beteta) para determinar la eficacia en la reducción de combustible forestal y severidad del tratamiento sobre suelo y vegetación. Se dispuso una red de 18 parcelas de 50 m x 50 m con un diseño completamente aleatorizado para determinar el efecto de la época de quema frente a la ausencia de intervención: 3 tratamientos (quema de primavera, quema de otoño y testigo) con 3 réplicas, diseño repetido en los dos tipos de masa (mixta y pura). Se caracterizó la capa de hojarasca y mantillo, primeros centímetros de suelo, carga de combustibles muertos, biomasa de vegetación bajo copas, riqueza florística y las características del arbolado. Se monitorizaron las temperaturas durante las quemas en 13 estaciones de suelo (superficie, mantillo y suelo mineral) y en la superficie de la corteza y el cambium de 15 árboles representativos por clases diamétricas. Tras la quema se evaluaron los efectos en el suelo y el arbolado, incluida la defoliación. Se presentan los resultados de las quemas y del primer año de seguimiento del experimento.

Palabras clave:

Ecología del fuego, efectos ecológicos, erosión, incendios forestales, prevención de incendios

1. Introducción

Los incendios forestales son un factor natural de numerosos ecosistemas y el fuego la principal herramienta de manejo del territorio, profundamente arraigado en la mayoría de las culturas rurales y especialmente en el ámbito Mediterráneo. Sin embargo, como consecuencia del cambio climático y del cambio en la gestión y el uso del suelo, se están produciendo modificaciones muy importantes en el régimen histórico de incendios. Así, el cambio climático puede influir en el aumento de su severidad y del período de alto riesgo (BEDIA et al., 2014), mientras que el abandono del medio rural y la expansión de la interfaz urbano-forestal, entre otros cambios sociales y de uso de suelo, potencian la acumulación y la continuidad de los combustibles, incrementándose la probabilidad de fuegos más extensos y de mayor severidad (MADRIGAL et al., 2016, REGOS et al., 2016). Frente a este hecho, la gestión integrada del fuego (MORITZ et al., 2006) representa una aproximación más global al fuego, que trata de evaluar y equilibrar las amenazas planteadas por el incendio con sus beneficios, al considerar los contextos medioambiental, socioeconómico cultural y político del fuego. Esta propuesta trata de armonizar los conocimientos científicos, las necesidades sociales y las tecnologías de la gestión del fuego a múltiples niveles.

A la alarma social generada por una situación de emergencia, que pone en riesgo la vida de los combatientes y, con frecuencia, constituye una amenaza para las poblaciones cercanas al incendio, se unen los daños y perjuicios directos a los bienes y servicios, y lo que es más crítico, a largo plazo, las repercusiones sociales, económicas y ecológicas en las áreas afectadas y el aumento de los gases de efecto invernadero. Ante esta perspectiva, las nuevas orientaciones apoyan el concepto de “coexistir con el fuego” (MORITZ et al., 2014), esto es, el desarrollo de

medidas a largo plazo dirigidas a actuar sobre las causas estructurales de los incendios y que integren la protección contra incendios forestales en las estrategias adaptativas de gestión forestal sostenible. Además, convivir con los incendios implica la evaluación de daños potenciales económicos, medioambientales y sociales, consecuencia de los incendios no deseados (de gran extensión y alta severidad). Por tanto, desde cada vez más foros se propone el uso del fuego como herramienta de gestión de los ecosistemas mediterráneos y en concreto el uso de las quemadas prescritas bajo arbolado (BIROT et al., 2009).

Existe cada vez mayor consenso en que la severidad, entendida como el daño producido al ecosistema tras una perturbación, constituye un elemento clave para comprender e interpretar el papel del fuego en los ecosistemas forestales, y estimar su impacto medioambiental y socioeconómico (KEELEY et al., 2012). La severidad es una componente esencial del régimen de fuego, cuyas alteraciones están produciendo desajustes en la funcionalidad de los ecosistemas y aumentando la gravedad de los impactos ambientales de los incendios. Mediante los tratamientos sobre combustibles forestales se trata de modificar el comportamiento de un fuego potencial, reducir su severidad e impactos asociados y facilitar las actividades de extinción. Cabe destacar trabajos recientes realizados en nuestro país sobre la eficacia de tratamientos preventivos en matorral, en laboratorio (MARINO et al., 2014), y en parcelas de campo, donde se evaluaron sus efectos ecológicos (FERNÁNDEZ & VEGA, 2014). Asimismo, el estudio del efecto de la quema prescrita sobre el arbolado y el papel protector de las cortezas debe completar el ya existente sobre el efecto de los incendios (CATRY et al., 2012; FERNANDES et al., 2012; FREJAVILLE et al., 2013; PAUSAS et al., 2016). En España empiezan a publicarse evidencias sobre las ventajas e inconvenientes de las quemadas prescritas bajo arbolado en aspectos como la eficacia en la gestión de combustibles (VALOR et al., 2015) o en la germinación y mortalidad del regenerado (LUCAS-BORJA et al., 2016). Aunque se han realizado estudios en nuestro país del efecto en el suelo de las quemadas prescritas bajo arbolado de *Pinus pinaster* Ait. (VEGA, 2001), hay poca información sobre el efecto de este tratamiento en masas puras y mixtas de *Pinus nigra* Arn. (VALOR et al. 2015; LUCAS-BORJA et al., 2016). En diversas masas de pinar, se ha comprobado que las quemadas de baja intensidad generaron una reducción del combustible sin alterar la composición y diversidad de la vegetación acompañante en el medio plazo (AREVALO et al., 2014; BAEZA et al., 2002) aunque esto no se ha demostrado para todas las especies, ecosistemas ni distintas prescripciones de quema. El desfronde (hojas, brotes, flores, frutos, cortezas, ramillas, etc.) es generalmente el camino más importante para la transferencia de los nutrientes al suelo (BRAY & GHORMAN, 1964; BERG & MEENTEMEYER, 2001). El balance entre la producción de biomasa y su descomposición controlan la cantidad de carbono disponible en el suelo y por tanto la productividad y el crecimiento de los ecosistemas forestales. En este sentido tampoco existe información científica sobre el efecto de las quemadas en el posible incremento en el desfronde del arbolado.

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es testar la hipótesis de que las masas puras y mixtas de *P. nigra* de la provincia de Cuenca pueden ser sometidas a quemadas prescritas de baja intensidad para gestionar la carga de combustible bajo copas sin causar severidad en suelo y arbolado. Además, los resultados informarán sobre los efectos de la época del tratamiento sobre algunos parámetros ecológicos. Los resultados se pretende que tengan aplicaciones prácticas en la mejora de las prescripciones de quema y la evolución a lo largo del tiempo en el sistema forestal de masas puras y mixtas de *P. nigra* sometidas a programas de quemadas prescritas.

3. Metodología

3.1. Área de estudio y características de la masa

El área de trabajo se encuentra al norte de la provincia de Cuenca (SE de la Península Ibérica). Se seleccionó una zona de pinar mixto de *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* y *Pinus pinaster* en las cercanías de la localidad de El Pozuelo (Figura 1). Se localizó otra área de pinar puro de *P. nigra* en la localidad de Beteta (Figura 1). Son masas de 40-50 años de edad, con densidades entre 600 y 1000 pies/ha, fracciones de cabida cubierta entre 60-100% y alturas de copa viva por encima de los 5 m. Presentan un sotobosque con matorral disperso y carga moderada de hojarasca (Tabla 1). Ambas áreas fueron seleccionadas con pendientes inferiores al 5% para eliminar el factor topográfico del diseño experimental.



Figura 1. Localización de las parcelas de muestreo en la provincia de Cuenca

Tabla 1. Características de las áreas de estudio (medias y desviación estándar).

	Pozuelo (masa mixta <i>P. nigra</i> / <i>P. pinaster</i>)	Beteta (masa pura <i>P. nigra</i>)
Densidad (pies/ha)	667 (125)	1281 (256)
Altura media (m)	13,00 (6,9)	12,4 (4,8)
DBH (cm)	18,7 (8,7)	20,6 (12,7)
Altura media copa viva (m)	7,49 (3,68)	7,25 (3,27)
Espesor medio corteza (mm)	2,51 (1,26)	2,1 (1,1)
Altura media matorral (m)	0,50 (0,05)	0,50 (0,20)
Especies dominantes de sotobosque	<i>Cistus laurifolius</i> , <i>Genista tridentatum</i> <i>Prunus spinosa</i> , <i>Arrhenatherum bulbosum</i> <i>Bupleurum rigidum</i>	<i>Genista tridentatum</i> , <i>Rosa canina</i>
Carga media hojarasca (kg/m ²)	0,35 (0,03)	0,59 (0,26)

3.2. Diseño experimental y toma de datos

Se dispuso una red de 9 parcelas de 50 m x 50 m en cada masa de pinar (9 parcelas en pinar mixto, Pozuelo, y 9 parcelas en pinar puro, Beteta) con un diseño completamente aleatorizado para determinar el efecto de la época de quema frente a la ausencia de intervención: 3 tratamientos (quema de primavera, quema de otoño y testigo) con 3 réplicas.

Se caracterizó la capa de hojarasca y mantillo, primeros centímetros de suelo y carga de combustibles muertos en 13 estaciones de 40 x 40 cm² distribuidas uniformemente en una parcela interior de 30 x 30 m². Se estimó la biomasa de vegetación bajo copas mediante un inventario por cuadrantes de 5 x 5 m² uniformemente distribuidos en dicha parcela en los que se midieron pie a pie las matas de cada especie (altura, cobertura y volumen de copa). Se realizó un muestreo extractivo en ejemplares de las especies más representativas en el exterior de las parcelas para hallar las correlaciones entre altura/cobertura de la vegetación y biomasa disponible. Mediante el método de Brown se realizaron 3 transectos lineales en el interior de la parcela para evaluar la carga de combustible muerto de ramillos por clases de tamaño: 0-0,6 cm; 0,7-2,5 cm; >2,5 cm de diámetro. Las características del arbolado se midieron con Vertex IV, forcípula y calibrador de corteza, y además se realizaron fotos hemiesféricas estereoscópicas con ForeStereo® (RODRÍGUEZ-GARCÍA et al. 2014) para contrastar resultados con ambos métodos y estimar fracción de cabida cubierta e índice de área foliar. Se dispusieron 8 captadores de desfronde homogéneamente distribuidos en cada una de las parcelas siguiendo el protocolo de ICP forest (UKONMAANAHO et al., 2016)

En cada una de las parcelas se implementaron muestreos de abundancia relativa de vegetación (cobertura) siguiendo el método de intercepción lineal mediante 3 transectos lineales (30 m de longitud) en cada parcela (KENT & COKER 1994). Para detectar diferencias en taxones sensibles a la estación, se realizaron muestreos en primavera y otoño de 2016 y 2017, antes y después de la quema. Para evaluar efectos sobre propiedades físicas y biológicas del suelo se ha diseñado un muestreo de respiración, infiltración, hidrofobicidad y actividad microbiana. Para obtener la respiración de suelo instalaron 6 collares de PVC en una situación fija de cada parcela, dispuestos bajo dosel vegetal arbóreo y en zona sin recubrimiento vegetal. El seguimiento de la variación de respiración de suelo se lleva a cabo mediante un analizador portátil en sistema cerrado con analizador de CO₂ mediante IRGA y cámara de respiración SRC-1 (EGM-4, PPSsystem). Los valores de infiltración e hidrofobicidad del suelo se han realizado mediante medición del tiempo de penetración de la gota de agua y la conductividad hidráulica del suelo con infiltrómetro de minidisco (Decagon Devices, Inc), respectivamente. Para conocer el efecto de las quemas sobre estos parámetros físicos del suelo se realizaron mediciones previas a la quema, realizando un seguimiento post-tratamiento con 4 mediciones repetidas: una semana, uno, dos y seis meses tras la quema.

3.3. Ejecución de las quemas, monitoreo y seguimiento

Las quemas de primavera fueron ejecutadas en el mes de mayo de 2016. En el mismo día entre las 11:00 y las 16:00 horas se ejecutaron las tres réplicas tanto en diseño experimental de Pozuelo como días posteriores en Beteta. La misa dinámica se siguió en las quemas de otoño llevadas a cabo en noviembre de 2016. Los Servicios de Extinción de Incendios Forestales de Cuenca y la empresa GEACAM fueron los encargados de la ejecución de la prescripción y la ejecución. Se determinó usar la técnica de fajas a favor que permite un control eficaz de las líneas de encendido y reduce el tiempo de residencia de las llamas para reducir la severidad en suelo y arbolado.

Se monitorizó la temperatura cada segundo mediante termopares tipo K de 1 mm en las 13 estaciones de suelo y capa de hojarasca y mantillo en 4 posiciones diferentes: interior de la capa de hojarasca, entre la hojarasca y el mantillo, entre el mantillo y el suelo y 2 cm bajo el suelo mineral. Se dispusieron de manera sistemática 49 grupos de 3 clavos de referencia por parcela enrasados a la altura de la hojarasca para determinar el consumo tras la quema, ya que es una variable muy relacionada con la biomasa de hojarasca consumida (VEGA, 2001). Se seleccionaron 15 árboles representativos por clases diamétricas en los que se colocó un termopar exterior y otro a la profundidad del cambium a sotavento de la dirección del frente de

avance del fuego y a 60 cm de altura del suelo, donde se preveía el mayor calentamiento procedente de la llama.

Tras la quema se realizó una evaluación del combustible consumido, de las alturas de chamuscado de tronco y soflamado de las copas. Se realizó un seguimiento temporal del flujo de respiración de suelo en los collares de medición y un seguimiento mensual del desfronde procedente de las copas. Se tiene previsto realizar al final del proyecto (2 años tras la quema) una evaluación final de eficacia preventiva del tratamiento a corto plazo, efecto sobre los crecimientos y estrés en el arbolado (apertura de canal resinífero, susceptibilidad a plagas, defoliación), erosión potencial y evaluación de riqueza florística. De igual forma se tiene previsto completar los experimentos de siembra directa para evaluar la adaptación de las diferentes especies a la emergencia y mortalidad en lechos de germinación procedentes de quemas prescritas. En la presenta comunicación se presentan los resultados preliminares correspondientes al primer año de seguimiento

4. Resultados

4.1. Eficacia preventiva

La consunción como consecuencia de las quemas prescritas se ha evaluado actualmente en los combustibles superficiales, ya que el matorral era muy discontinuo y contribuyó en menos grado a la propagación del fuego. La consunción de la carga en el conjunto de la capa LFH fue del 51% en las quemas de Pozuelo y del 43% en las de Beteta.

4.2. Régimen térmico en suelo y cambios en microbiología

Durante las quemas se monitorizaron las temperaturas en las 13 estaciones de suelo (superficie, mantillo, superficie del suelo mineral y a 2 cm de profundidad). También se monitorizaron las condiciones ambientales durante las quemas prescritas. La temperatura ambiental media durante la ejecución de las quemas en Pozuelo fue de 21,5°C en primavera y 11,9°C en otoño, con una humedad ambiental de 47,7% en primavera y 67,0% en otoño, y unas velocidades de viento de 0,8 m/s en primavera y 0,3 m/s en otoño. En Beteta, las temperaturas ambientales fueron de 20,4°C en primavera y 12,0°C en otoño, la humedad ambiental de 32,7% en primavera y 43,5% en otoño, y la velocidad del viento de 0,8 m/s en primavera y 0,1 m/s en otoño.

Las temperaturas registradas por los termopares en diferentes profundidades de la capa LFH y suelo muestran que no se alcanzaron valores elevados que pudiesen afectar a las principales características del suelo, ya que la media de las temperaturas máximas observadas en la superficie del suelo fueron de 25°C, e inferiores a 17°C a 2 cm de profundidad. Las temperaturas máximas medias fueron de 199°C en Pozuelo y de 311°C en Beteta, y las observadas entre la hojarasca y el mantillo, de 100°C en Pozuelo y de 130°C en Beteta. En la Figura 2 se muestran los perfiles térmicos de las temperaturas monitorizados en una estación para cada una de las dos áreas de estudio.

4.3. Régimen térmico en troncos

En general no se alcanzaron temperaturas letales (>60°C) a la profundidad del cambium, excepto en algunos ejemplares dominados con espesores de corteza inferiores a 1 cm donde se observaron regímenes térmicos más severos (Figura 3). Se observaron temperaturas superiores a 40°C al nivel de los tejidos vivos que podrían generar estrés a corto plazo en una proporción de pies que oscila entre el 10% en las quemas efectuadas a primera hora de la mañana con

temperaturas exteriores de 10-15°C, hasta un máximo del 60% de los pies en las quemas efectuadas en las horas centrales del día con temperaturas exteriores de 25°C.

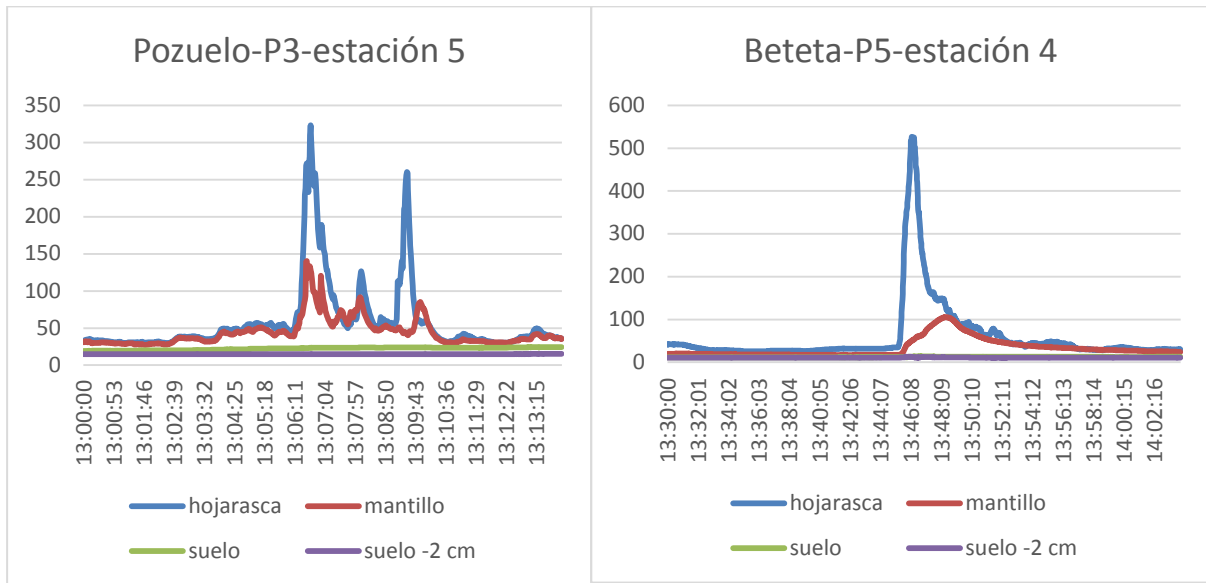


Figura 2 Perfiles térmicos monitorizados en una estación de Pozuelo (izquierda), y una estación de Beteta (derecha), en quemas prescritas de primavera a diferentes profundidades: superficie de hojarasca, entre hojarasca y mantillo, superficie de suelo y a 2 cm de profundidad en el suelo.

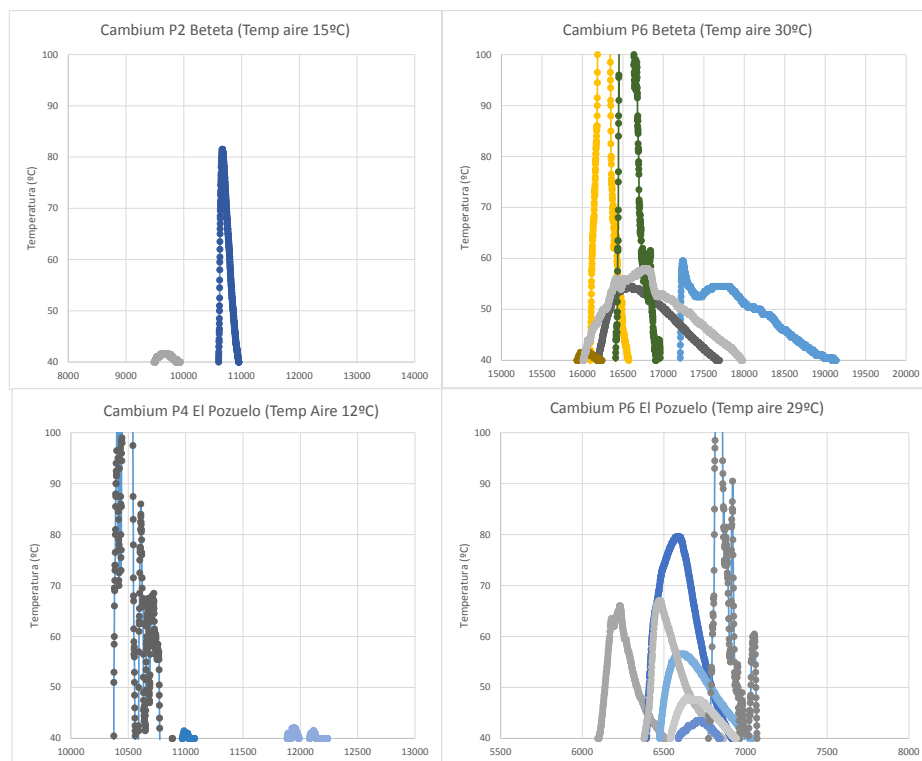


Figura 3. Ejemplos de régimen térmico en las parcelas de quema experimental. Se muestra la temperatura a la profundidad del cambium de los árboles monitorizados (15 árboles por parcela) que superaron los 40°C en 4 parcelas con temperatura del aire diferente durante la ejecución: 2 Parcelas en Pozuelo y Beteta con ejecución a primera hora de la mañana (Temperatura del aire 12-15°C) y mediodía hora solar (Temperatura del aire 25°C).

4.4. Afectación de copas y desfronde

Los datos preliminares obtenidos a partir de la quemas de primavera muestran un incremento de la cantidad de biomasa (kg/ha) recogida en las trampas de desfronde en las parcelas quemadas con respecto a las cantidades registradas en las parcelas testigo. La diferencia es más acusada en la zona de Beteta (masa pura de *P. nigra*) que en Pozuelo (masa mixta *P. nigra* y *P. pinaster*) donde existe una distribución irregular entre parcelas del mismo tipo (Figura 4). Estos datos se muestran como iniciales por lo que la posible evolución de los registros marcará la tendencia y la conclusión de los resultados al final del estudio.

El material recogido se ha dividido en distintas fracciones para su análisis: acículas de *Pinus nigra*, acículas de *Pinus pinaster* (en caso de haberlas), ramas y otros (corteza, piñas, piñones, flores, líquenes y restos). Porcentualmente en las parcelas de Pozuelo se observa una importancia clave de las piñas, flores y restos durante los meses de mayo y junio para dar paso gradualmente a un mayor peso de las acículas. En el caso de Beteta, el mes de mayo tiene una irregular distribución de las fracciones por parcela, ocupando los máximos porcentajes las fracciones de restos, piñas y ramas. A lo largo del mes de junio la cantidad de piñas va siendo sustituida por las acículas para alcanzar valores elevados, siendo el promedio del porcentaje de acículas capturadas en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre del 86,70%.

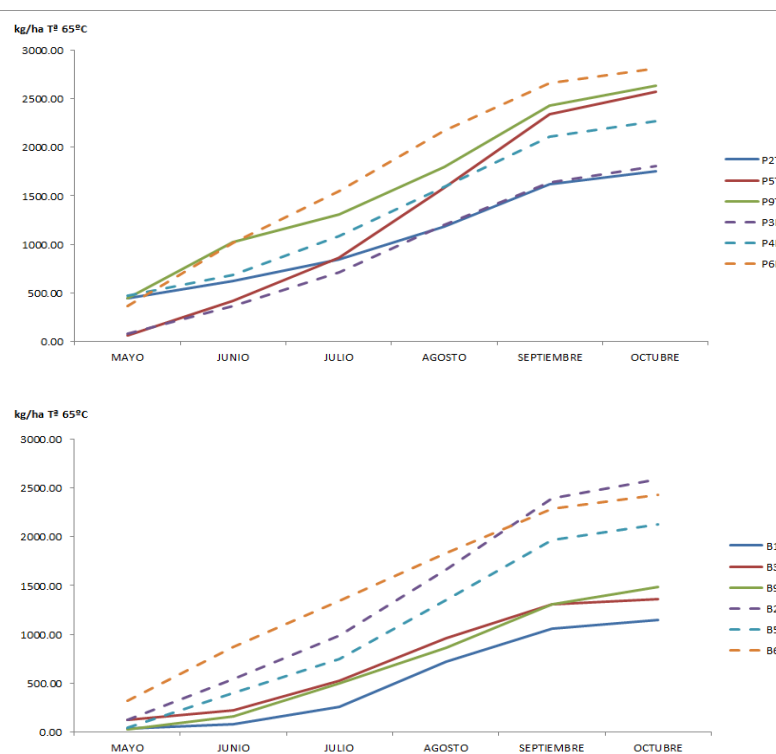


Figura 4. Biomasa acumulada en las parcelas de Beteta y Pozuelo B1T: Beteta Parcela 1 Testigo; B3T: Beteta Parcela 3 Testigo; B9T: Beteta Parcela 9 Testigo; B2P: Beteta Parcela 2 Quema Primavera; B5P: Beteta Parcela 5 Quema Primavera; B6P: Beteta Parcela 6 Quema Primavera; P2T: Pozuelo Parcela 2 Testigo; P5T: Pozuelo Parcela 5 Testigo; P9T: Pozuelo Parcela 9 Testigo; P3P: Pozuelo Parcela 3 Quema Primavera; P4P: Pozuelo Parcela 4 Quema Primavera; P6P: Pozuelo Parcela 6 Quema Primavera.

4.5. Respiración de suelo y formación de capa hidrofóbica

Mediante el análisis de los resultados obtenidos con la cámara de respiración, se obtuvo el flujo de emisión del CO₂ del suelo (Efflux, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), comparando valores pre y post-quema en ambas zonas de estudio y teniendo en cuenta la variable de cobertura vegetal.

El análisis de modelos generales lineales (GLM) indicó que las variables más significativas que explican la variabilidad de la respiración del suelo fueron la cobertura de vegetación y la quema (Figura 5). De esta manera, al realizar análisis de varianza de una vía (método LSD) se observó que en zonas de baja cobertura vegetal el flujo es significativamente menor ($0.33 \pm 0.03 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) que en zonas bajo arbolado ($0.42 \pm 0.03 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). También se aprecia un aumento significativo del flujo tras la quema (0.34 ± 0.02 y $0.43 \pm 0.04 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente). Los resultados obtenidos también indicaron influencia de la quema prescrita, al menos en el corto plazo, afectando tanto a la hidrofobicidad como a la infiltración del agua en el suelo (Figura 6).

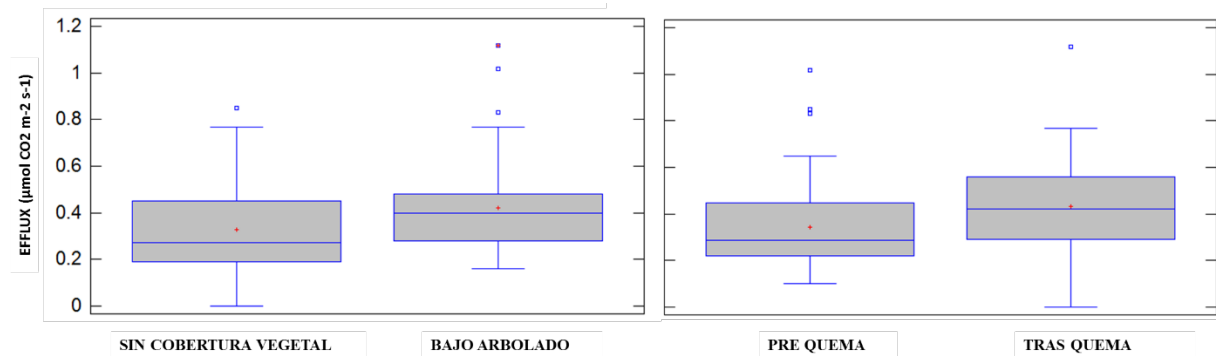


Figura 5. Análisis de Varianza simple de los factores significativos sobre la variación del flujo de respiración de suelo (Efflux, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). En la imagen izquierda se pueden observar diferencias significativas entre los valores sin cobertura vegetal y bajo arbolado. En la imagen derecha las diferencias significativas producto de la quema prescrita.

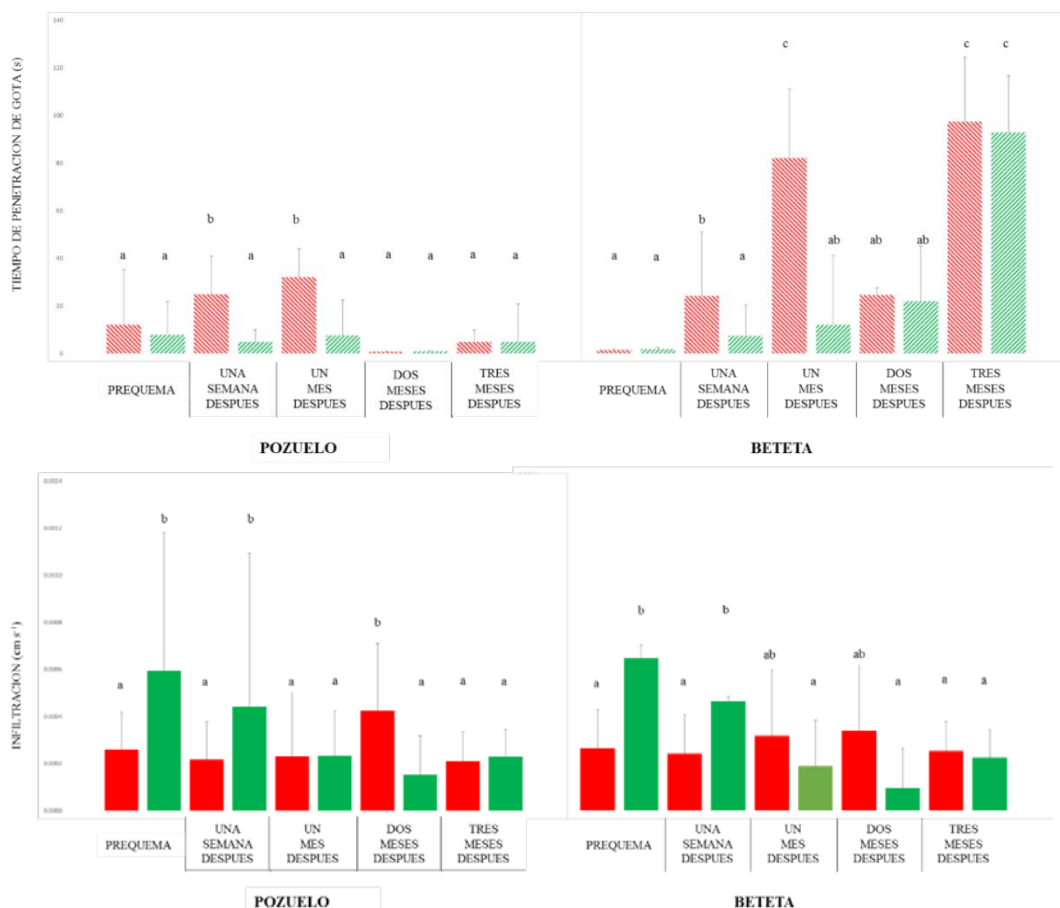


Figura 6. Variación temporal de los parámetros de capa hidrofóbica (mediante tiempo de infiltración de una gota de agua, s) (imagen superior) y capacidad de infiltración de suelos (conductividad hidráulica, cm s^{-1}) (imagen inferior). Barras rojas: parcelas quemadas; Barras verdes: parcelas control. Letras diferentes indican diferencias significativas obtenidas mediante análisis de varianza simple (método LSD).

Respecto a la hidrofobicidad, estimada mediante el tiempo de penetración de una gota de agua en el suelo, el análisis de varianza realizado indicó un aumento de los valores debido a la quema en ambas zonas de estudio, siendo mucho más acusado este aumento en Beteta, aunque dicho efecto parece desaparecer tan solo dos meses tras la quema. También se observó un aumento de la infiltración en los primeros meses, siendo la tendencia de las parcelas control a disminuir, no presentando diferencias tres meses después del incendio.

5. Discusión

Los datos preliminares presentados muestran que las quemas prescritas han sido moderadamente eficientes en la reducción de la carga del combustible superficial presente, sin implicar un calentamiento del suelo que pudiera implicar un impacto negativo en el mismo, así como el daño en las raíces del arbolado presente. Esto se debe a las humedades presentes en las capas de hojarasca y mantillo en el momento de la ejecución de las quemas, que fueron del 20% en el caso de la hojarasca, y superiores al 80% en el caso del mantillo. La efectividad de las quemas prescritas en la consunción de estos combustibles superficiales está íntimamente relacionada con la humedad de los mismo (FERNANDES, 2015).

El régimen térmico en troncos ha seguido el patrón descrito por otros autores en masas norteamericanas (PAUSAS, 2015; RYAN 2000) y a la vista de los resultados el espesor de corteza es una variable más determinante que la especie (*Pinus pinaster*, *Pinus nigra*) en la transmisión de temperatura al cambium (FREJAVILLE et al., 2013). Los pies de *P. pinaster* y la procedencia estudiada de *P. nigra* poseen espesores de corteza importantes (> 2 cm) en la zona baja del tronco incluso para los pies con diámetros reducidos (dbh<20 cm), lo que sugiere adaptaciones al fuego de ambas especies que los protegen adecuadamente del fuego de baja intensidad (PAUSAS, 2017) generado durante las quemas prescritas.

El efecto del tratamiento a corto plazo fue el esperado en la masa pura (Beteta), produciéndose un incremento del desfronde tras la quema. En cambio en el seguimiento de desfronde en la masa de Pozuelo, se observó mucha variabilidad sugiriendo que las masas mixtas podrían ser menos sensibles a la perturbación producida por el tratamiento. En general, los patrones de desfronde pueden variar significativamente de año en año, incrementándose en los meses de verano con un único máximo en su distribución anual de agosto a octubre, aunque también puede presentar otro pico, mucho más pequeño que el registrado en verano, en meses de invierno (ROIG et al., 2005). Esta tendencia ascendente en los meses de agosto a septiembre se aprecia en las dos zonas de estudio, si bien el pico máximo de las parcelas testigo de Beteta es de aproximadamente 400 kg/ha mientras que en Pozuelo alcanza los 600 kg/ha. Los valores de biomasa recogidos son parecidos en el caso de las parcelas quemadas de las dos zonas. Se constata que los máximos estivales de desfronde se relacionan con las condiciones meteorológicas, especialmente la sequía. Este proceso de caída gradual también puede depender de la mayor duración de período de luz. El área Mediterránea se caracteriza por una irregular distribución de las precipitaciones en la época de crecimiento de las hojas lo que muestra una cierta plasticidad en el desfronde (ROIG et al., 2005).

Los efectos de la quema sobre la respiración de suelo y capacidad de infiltración han sido muy someros y se han amortiguado al mes siguiente de la quema lo que ratifica la baja severidad en el suelo de este tipo de quemas bajo arbolado ejecutadas con la prescripción propuesta (FERNANDES 2015)

6. Conclusiones

En la mayoría de las estaciones monitorizadas sólo se han detectado tiempos de residencia de altas temperaturas en la capa de hojarasca y, a lo sumo, en la interfaz hojarasca-

mantillo. No se han detectado temperaturas altas ni tiempos con altas temperaturas en el interior del mantillo y el suelo, lo que sugiere que no ha existido rescoldeo en la mayoría del área quemada. Por tanto se confirma que la ejecución mediante la técnica de fajas a favor y en condiciones de humedad del suelo y mantillo altas, dificulta el fuego de rescoldeo de la capa de mantillo, reduciendo con ello los efectos en el suelo. Los importantes espesores de corteza en estas masas hicieron que no se detectaran temperaturas letales en cambium excepto en árboles dominados o de regenerado adelantado. A pesar de ello, la aleatoriedad del avance del fuego no eliminó todo el regenerado bajo copas y muchos de los ruedos de regenerado de *P. nigra* no se vieron afectados por el fuego. Por otro lado se observó que el número de árboles con temperaturas de cambium por encima de 40°C aumentó en las quemas ejecutadas a última hora de la mañana con temperatura exterior más elevada. Los resultados sugieren buscar prescripciones con temperaturas ambiente inferiores a 25-30°C para reducir estos efectos que podrían generar estrés a medio plazo en el arbolado. Se ha detectado un aumento significativo del desfronde, por otro lado esperado, en las parcelas quemadas, debido a la poda térmica y la convección hacia las copas del aire caliente procedente de las líneas de encendido. Al final del estudio se valorará si este efecto es pasajero o acumulativo. Se ha detectado aumento de respiración e hidrofobicidad en el suelo inmediatamente después de las quemas, efectos que se han ido atenuando a lo largo del estudio. No obstante y teniendo en cuenta la baja intensidad generada durante la ejecución, estos resultados advierten sobre posibles problemas erosivos a corto plazo tras quemas que se pudieran ejecutar en áreas con pendientes pronunciadas. Los resultados previos obtenidos en este estudio sugieren que las quemas de baja intensidad ejecutadas bajo arbolado de masas mixtas de *Pinus nigra* y *Pinus pinaster* y masas puras de *Pinus nigra* no están generando efectos significativos a corto plazo en la mayoría de los parámetros estudiados.

7. Agradecimientos

La ejecución de las quemas fue realizada personal de la empresa GEACAM (Junta de Castilla-La Mancha). La planificación de las prescripciones de quema fue coordinada por el Servicio de Extinción de Incendios Forestales de Cuenca (SEIF Cuenca). La participación del INIA, CIF-Lourizán y UCLM se ha desarrollado en el contexto del proyecto GEPRIFF (RTA2014-00011-C06-01) financiado por el INIA y fondos FEDER. Parte del trabajo desarrollado por el INIA se encuentra en el contexto del proyecto SCALyFOR (AGL2013-46028-R) del plan Nacional I+D+i.

8. Bibliografía

ARÉVALO J.R., FERNÁNDEZ-LUGO S., GARCÍA-DOMÍNGUEZ C., NARANJO-CIGALA A., GRILLO F. & CALVO L.; 2001. Prescribed Burning and Clear-Cutting Effects on Understory Vegetation in a *Pinus canariensis* Stand (Gran Canaria). *Scientific World Journal* 2014: 215-418.

BAEZA M.J., DE LUÍS M., RAVENTÓS J. & ESCARRÉ A. 2002. Factors influencing fire behaviour in shrublands of different stand ages and the implications for using prescribed burning to reduce wildfire risk. *J Environ Manag* 65 (2): 199–208

BEDIA, J.; HERRERA, S.; CAMIA, A.; MORENO, J.M.; GUTIÉRREZ, J.M.; 2014. Forest fire danger projections in the Mediterranean using ENSEMBLES regional climate change scenarios. *Clim Change* (2014) 122: 185

BERG, B. & MEENTEMEYER, V.; 2001. Litter fall in some European coniferous forests as dependent on climate: a synthesis. *Can Jof For Res* 31(2): 292-301.

BIROT Y. (COORD.) 2009. Living with wildfire. What Science can tell us. EFI. Discussion Paper 15. 84 pp.

BERG, B. & MEENTEMEYER, V.; 2001. Litter fall in some European coniferous forests as dependent on climate: a synthesis. *Can J For Res* 31(2): 292-301.

BRAY, J.R. & GHORMAN, E.; 1964. Litter production in forest of the world. *Adv Ecol Res* 2: 101-158.

BLANCO, J.; IMBERT, J.; & CASTILLO, F.; 2006. Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two *Pinus sylvestris* L. forests in the western Pyrenees. *For Ecol Manag* 237(1-3): 342-352.

CATRY, F.X.; MOREIRA, F.; PAUSAS, J.G.; FERNANDES, P.M.; REGO, F.; CARDILLO, E.; CURT, T.; 2012. Cork oak vulnerability to fire: The role of bark harvesting, tree characteristics and abiotic factors. *PLoS ONE* 7(6): e39810

FERNANDES, P.; (2015). Empirical support for the use of prescribed burning as a fuel treatment. *Curr For Rep* 1: 118-127.

KENT, M. & COKER, P.; 1994. Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach. Wiley, Chichester, UK

FERNANDES, P.M.; VEGA, J.A.; JIMÉNEZ, E.; RIGOLOT, E.; 2008. Fire resistance of European pines. *For Ecol Manage* 256: 246-255

FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; 2014. Shrub recovery after fuel reduction treatments and a subsequent fire in a Spanish heathland. *Plant Ecol* 215(11):1233–1243

FREJAVILLE, T.; CURT, T.; CARCAILLET, C.; 2013. Bark flammability as a fire-response trait for subalpine trees. *Front Plant Sci* 4(466): 1-8

KEELEY, J.E.; BOND, W.J.; BRADSTOCK, R.A.; PAUSAS, J.G.; RUNDEL, P.W.; 2012. Fire in Mediterranean Ecosystems: ecology, evolution and management, Cambridge University Press, 515 p.

LUCAS-BORJA, M.E.; MADRIGAL, J.E.; CANDEL-PÉREZ, D.; JIMÉNEZ, E.; MOYA, D.; DE LAS HERAS, J.; GUIJARRO, M.; VEGA, J.A.; FERNÁNDEZ, C.; HERNANDO, C.; 2016. Effects of prescribed burning, vegetation treatment and seed predation on natural regeneration of Spanish black pine (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*) in pure and mixed forest stands. *For Ecol Manage* 378:24-30.

MADRIGAL, J.; FERNÁNDEZ-MIGUELÁÑEZ, I.; HERNANDO, C.; GUIJARRO, M.; VEGA-NIEVA, D.J.; TOLOSANA, E.; 2016. Does forest biomass harvesting for energy reduce fire hazard in the Mediterranean basin? a case study in the Caroig Massif (Eastern Spain). *Eur J Forest Res* (en prensa) doi:10.1007/s10342-016-1004-5

MARINO, E.; HERNANDO, C.; MADRIGAL, J.; GUIJARRO, M.; 2014. Short-term effect of fuel treatments on fire behaviour in a mixed heathland: a comparative assessment in an outdoor wind tunnel. *Int J Wildland Fire* 23: 1097–1107

MORITZ, M.A.; BATLLORI, E.; BRADSTOCK, R.A.; GILL, M.A.; HANDMER, J.; HESSBURG, P.F.; LEONARD, J.; MCCAFFREY, S.; ODION, D.C.; SCHOENNAGEL, T.; SYPHARD, A.D. 2014. Learning to coexist with wildfire. *Science* 515: 58-66

PAUSAS, J.; 2015. Bark thickness and fire regime. *Funct Ecol* 29: 315-327.

PAUSAS, J.; 2017. Bark thickness and fire regime: another twist. *New Phytol* 213(1): 13-15.

ROIG, S.; DEL RÍO, M.; CAÑELLAS, I. & MONTERO, G.; 2005. Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *For Ecol Manag* 206(1-3): 179-190.

RODRÍGUEZ-GARCÍA, C.; MONTES, F.; RUIZ, F.; CAÑELLAS, I.; PITA, P.; 2014. Stem mapping and estimating standing volume from stereoscopic hemispherical images. *Eur J For Res* 133: 895–904.

REGOS, A.; AQUILUÉ, N.; LÓPEZ, I.; CODINA, M.; RETANA, J.; BROTONS, L.; 2016. Synergies between forest biomass extraction for bioenergy and fire suppression in Mediterranean ecosystems: insights from a storyline-and-simulation approach. *Ecosystems* 19: 1–17.

UKONMAANAHO, L., PITMAN R, BASTRUP-BIRK A, BREDA N & RAUTIO P.; 2016: Part XIII: Sampling and Analysis of Litterfall. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute for Forests Ecosystems, Eberswalde, Germany, 15 p. [<http://www.icpforests.org/Manual.htm>]. ISBN: 978-3-86576-162-0

VALOR, T; GONZÁLEZ-OLABARRÍA, J.R.; PIQUÉ M.; 2015. Assessing the impact of prescribed burning on the growth of European pines. *For Ecol Manag* 343: 101-109

VEGA, J.A.; 2001. Efectos del fuego prescrito sobre el suelo en pinares de *Pinus pinaster* Ait. de Galicia. Tesis Doctoral. ETSIM UPM.