

EFICACIA Y EFECTOS DE HERRAMIENTAS DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS EN ECOSISTEMAS FORESTALES DE LA SIERRA DEL SEGURA

EFFICACY AND EFFECTS OF FIRE PREVENTION TOOLS IN FOREST ECOSYSTEMS OF THE SIERRA DEL SEGURA

Daniel MOYA¹

Esther PEÑA¹

Álvaro FAJARDO¹

Héctor GONZÁLEZ-CAMUÑAS¹

Domingo CALDERÓN²

Pedro Antonio PLAZA-ÁLVAREZ¹

Javier GONZÁLEZ-ROMERO¹

Manuel Esteban LUCAS-BORJA¹

Jorge DE LAS HERAS¹

Recibido: 20 de abril de 2021

Aceptado: 20 de noviembre de 2021

Cómo citar este artículo:

Moya, D., Peña, E., Fajardo, A., González-Camuñas, H., Calderón, D., Plaza-Álvarez, P. A., González-Romero, J., Lucas-Borja, M. E. y De las Heras, J.. (2021). Eficacia y efectos de herramientas de prevención de incendios en ecosistemas forestales de la Sierra de Segura. *Sabuco*, 15: 53-68

http://doi.org/10.37927/sabuco.15_3

Autor para correspondencia: Daniel Moya Daniel.Moya@uclm.es

RESUMEN

Los incendios constituyen la principal amenaza de muchas áreas forestales españolas, especialmente con las previsiones sobre el cambio climático y uso del suelo que auguran un agravamiento del problema. Por ello, resulta imprescindible disponer de nuevas herramientas y tecnologías que mejoren la eficacia en la protección de nuestros ecosistemas forestales y que faciliten su extinción y reduzcan su superficie y severidad, en caso de producirse. En este contexto, el objetivo principal es el de realizar una valoración de la eficacia de los tratamientos preventivos por reducción de carga de combustible mediante quemas prescritas y mecánicas. Se busca proveer de información

1 Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Castilla La Mancha.

2 GEACAM.

útil a los gestores forestales, para que puedan tener un mejor conocimiento de la respuesta del ecosistema tras las herramientas de gestión estudiadas y que este conocimiento se implemente en los planes de gestión y prevención de incendios forestales.

Se ha evaluado la eficiencia de la herramienta utilizada para modificar el modelo de combustible y evaluar la reducción de carga de combustible en el corto plazo. Además, hemos estudiado los efectos de la quema en la interfaz planta-suelo en el corto plazo.

La metodología usada ha enfocado en el esparto como especie vegetal objetivo (*Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth), debido a su importancia en el sotobosque de la zona de estudio, cuya gestión resultó ser clave para la gestión de combustible y prevención de incendios en la zona. Se ha estimado la eficacia y rendimiento para diferentes métodos de tratamiento de combustible, siendo estos las quemas prescritas y el desbroce mecánico, en infraestructuras preventivas de incendios forestales. En concreto se estiman los efectos en la reducción y control de carga de combustible de una rebrotadora, el esparto (*Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth), y una germinadora, el romero (*Salvia rosmarinus* (L.) Schelid). Se busca evaluar la respuesta de la vegetación y su influencia en la carga de combustible según el momento del tratamiento.

Este conocimiento será transferido a los gestores competentes para que pueda ser implementado en la optimización de la aplicación de herramientas de gestión preventiva de incendios forestales, tanto para generar áreas seguras para el personal de extinción (en caso de que se produzca un incendio) como para reducir el tamaño y severidad de un posible incendio, generando un régimen de incendios más adecuado y sostenible a las necesidades y objetivos de la ordenación territorial de la zona de estudio. También, se realizará la divulgación de los resultados al público en general para poner en conocimiento de la sociedad las herramientas con las que los gestores cuentan, incluyendo el uso del fuego amigo.

Palabras clave: gestión forestal, prevención de incendios, respuesta del ecosistema.

ABSTRACT

Wildfires constitute one of the main threats to many Spanish forest areas, especially with forecasts on climate change and land use that predict a worsening of the problem. Due to that, it is a main goal to develop new tools and technologies that improve the efficiency in the protection of our forest ecosystems. In addition, it is important to facilitate forest fire extinction and reduce their burned surface and severity, if they were occurring.

In this context, our main objective is to carry out an assessment of the effectiveness of preventive treatments for reducing fuel load through prescribed and mechanical burns. It seeks to provide useful information to forest managers, so that they can have a better knowledge of the response of the ecosystem after the management tools studied and that this knowledge is implemented in the management and prevention plans of forest fires.

The efficiency of the tool used to modify the fuel model and evaluate the reduction of fuel load in the short term has been evaluated. Furthermore, we have studied the effects of burning on the plant-soil interface in the short term.

The methodology used has focused on esparto as a target plant species (*Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth), due to its importance in the understory of the study area and resprouter ability. The management turned out to be key for fuel management and fire prevention in the study area. Efficacy and performance have been estimated for different fuel treatment methods, these being prescribed burning and mechanical clearing, in forest fire preventive infrastructures. The effects on the reduction and control of fuel load were also estimated on an obligate seeder, rosemary (*Salvia rosmarinus* (L.) Schelid). It seeks to evaluate the response of the vegetation and its influence on the fuel load according to the time of treatment.

This knowledge will be transferred to the competent managers so that it can be implemented in the optimization of the application of preventive management tools for forest fires, both to generate safe areas for extinguishing personnel (in the event of a fire) and to reduce the size and severity of a possible fire, generating a more adequate and sustainable fire regime for the needs and objectives of land use planning in the study area. Also, the results will be disclosed to the general public to inform society of the tools that managers have, including the use of friendly fire.

Key words: forest management, fire prevention, ecosystem response.

1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos, los seres humanos han utilizado el fuego como herramienta, siendo evidenciado su uso en la cuenca mediterránea desde el Holoceno temprano (Scott, 2000). Debido a factores recientes (cambios de uso de suelo, cambio climático, etc.) el régimen de incendios ha variado, lo que provoca un problema social y ecológico (de ecosistemas sensibles y algunos adoptados) (Alig *et al.*, 2002; Batllori *et al.*, 2013; Miranda *et al.*, 1994). Los servicios ecosistémicos pueden verse afectados por el fuego (según estado y adaptaciones de la comunidad vegetal, tipo de suelo, topografía...) de manera negativa cuando los cambios en el régimen de incendio no son sostenibles (Pausas, 2012). Por tanto, es necesario conocer la vulnerabilidad y resiliencia de los ecosistemas, para gestionarlos de manera sostenible (Myers, 2006).

El fuego ha sido y es útil como herramienta de manejo, incluso para gestión de áreas naturales (Wilson *et al.*, 2014). Debido a las políticas de supresión, nuestra sociedad actual cree que todo fuego forestal debe ser suprimido (fuego enemigo) y se han vertido grandes sumas en prevención de incendios forestales con el fin de proteger a la población y los recursos naturales, perdiéndose esa noción del fuego como elemento útil y proceso de formación y mantenimiento de ecosistemas naturales (Myers, 2006). El resultado final de la supresión exitosa conduce a una paradoja del fuego (FireParadox), donde se dan incendios cada vez más severos (Fernandes *et al.*, 2011), por lo que se requiere una gestión adaptativa que incluya el fuego como elemento del ecosistema, incluyendo la divulgación de esta realidad, para recuperar regímenes de fuego sostenibles (fuego amigo).

La Ley 4/89 de Conservación de Espacios Naturales y de Flora y Fauna Silvestre (derogada) y la 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, buscan como objetivo asegurar el disfrute del medio ambiente, velando por el mantenimiento de procesos ecológicos esenciales y sistemas vitales básicos, uso sostenible de recursos, conservación de la biodiversidad y de la geodiversidad, tal y como desarrollada la Biología de la Conservación (Primack, 1993). Por tanto, para una correcta gestión del medio natural, no es una política correcta implementar la supresión total, sino potenciar aquella que implemente el uso de fuego de manera eficaz, eficiente y ecológicamente sostenible frente a otras herramientas socialmente aceptadas, incluyendo sus objetivos y características en un Plan de Quema, dentro del Plan de Defensa contra Incendios Forestales (desarrollado y ejecutado por la Administración Forestal competente) (GEACAM, 2018). Para su correcta aplicación, se requiere un objetivo definido y conocimiento de la ecología del fuego de los ecosistemas a tratar. El paso del fuego da lugar a una compleja respuesta de los suelos y la vegetación, que dependerá tanto de

las características del fuego, básicamente severidad e intensidad, como a las propiedades del suelo y la vegetación dependientes del ecosistema (Maix-Solera y Cerdà 2009).

Por todo ello, se propone la valoración de la eficacia y los efectos ecológicos del uso del fuego amigo y el desbroce mecánico como técnicas de regulación del régimen de incendios mediante la reducción de carga de combustible por quemas prescritas, estudiando las adaptaciones del ecosistema a proteger. Por tanto, buscamos evaluar la aplicabilidad y sostenibilidad de esta herramienta de gestión para protección contra incendios forestales en una zona piloto en el sureste de la Península Ibérica (mayor diversidad de la Unión Europea) (IGN, 2006). Para describir y caracterizar esa afección a la reducción del combustible vegetal y la recuperación de los ecosistemas afectados, se estudian como factores de influencia los tratamientos de gestión de combustible y momento de aplicación.

Este conocimiento es útil para optimizar la aplicación de herramientas de gestión preventiva de incendios forestales, tanto para generar áreas seguras para el personal de extinción (en caso de que se produzca un incendio) como para reducir el tamaño y severidad de un posible incendio, generando un régimen de incendios más adecuado y sostenible a las necesidades y objetivos de la ordenación territorial de la zona de estudio.

2. MATERIAL Y METODOS

2.1. Zona de estudio

El presente trabajo se centra en un área de estudio localizada en la comarca de la Sierra del Segura, situada en el extremo más meridional de Castilla-La Mancha, al sur de la provincia de Albacete. Esta comarca está considerada como un espacio privilegiado desde el punto de vista ecológico, geológico y paisajístico, destacando áreas naturales de especial protección como el Parque Natural de los Calares del Mundo y de la Sima, Lugares de Interés Comunitario y Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEC/ZEPA ES4210008 / ES000038).

El área de la zona a tratar se encuentra localizada en el sur de la provincia de Albacete, principalmente en el municipio de Ayna, afectando parte de los tratamientos a la ZEC/ZEPA ES4210008 / ES000038. La propiedad es mayoritariamente privada pero los tratamientos se centran en aras forestales arboladas de los montes de utilidad pública (M.U.P.) 87 “El Pinar”, M.U.P. 1 Cuarto Alarcón y Agregados y M.U.P. 113 La Moraleja, para generación de fajas auxiliares adyacentes a la carretera A-508. Los tratamientos que se han monitorizado fueron ejecutados por la empresa pública de Ges-

ción Medioambiental de Castilla-La Mancha (GEACAM) y los Servicios de prevención y extinción de incendios forestales de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (figura 1).

La zona de estudio se enmarca dentro del Monte de Utilidad Pública 87 “Pinar”, en el paraje conocido como Los Espartales, próximo a la aldea Casas del Pozuelo (T. M. Ayna). El estudio climático, usando datos de la cercana estación de Molinicos (datos de 2000 a 2019), indica que las precipitaciones medias son de 439 mm y que la temperatura media anual es de 13.7°C. Se da un período estival que va de junio a Septiembre, siendo el mes más seco Julio (menos de 10 mm) y el más lluvioso abril (más de 58 mm). El clima aquí se clasifica como Csa por el sistema Köppen-Geiger. La vegetación está compuesta predominantemente por pinares de carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) en solanas y el pino marítimo (*Pinus pinaster* Ait.) en umbrías. Aparecen también manchas de encina y coscoja (*Quercus ilex* L. y *Q. coccifera* L.). El matorral está básicamente formado por esparto (*Stipa tenacissima* L.), enebros (*Juniperus oxycedrus* L.), jaguarzos (*Cistus sp. pl.*), romeros (*Rosmarinus officinalis* L.), aliagas (*Genista scorpius* (L.) DC.), mejorana (*Thymus mastichina* (L.) L.) tomillo (*Thymus vulgaris* L.), ajedrea (*Satureja intricata* Lange), espliego (*Lavandula latifolia* Medik.), lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), coscoja (*Quercus coccifera* L.)... pero también están presentes espinos albares y durillos. El alto grado de naturalidad y la gran cantidad de hábitats presentes en esta zona hacen que también tenga importancia a nivel faunístico.



Figura 1. Tratamientos de prevención de incendios ejecutados por la empresa pública de Gestión Medioambiental de Castilla-La Mancha (GEACAM) y los Servicios de prevención y extinción de incendios forestales de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha: reducción de combustible por desbroce mecánico (abajo a la izquierda) y quema prescrita (en ejecución arriba izquierda y tras el paso del fuego a la derecha).

2. Diseño experimental

Para la consecución de los objetivos propuestos, se replantearon parcelas cuadradas de 20 m de lado (400 m²), situadas a lo largo de la carretera donde se planifica ejecutar la faja auxiliar (A-508), estando situadas una distancia mínima de 5 metros con respecto a los márgenes de los caminos y del final de la zona de ejecución del tratamiento (figura 2). Las parcelas se marcan en el terreno con una estaca de madera y marcando los bordes con clavos.

Según el diseño experimental propuesto, y teniendo en cuenta la influencia de factores no incluidos en este estudio (microcalidad de estación, diferencias en profundidad o compactación de suelo, exposición, etc.) se decide incluir al menos tres réplicas por cada uno de los tratamientos y momentos de ejecución. Cada parcela se georreferenció con GPS de alta precisión (Garmin Montana 610), de manera similar a otros estudios realizados (González-De Vega *et al.*, 2018, 2016).

Por tanto, el diseño consta de 15 parcelas experimentales (figura 3), que se han replantado y monitorizado según los factores: 3 parcelas control (no tratamiento, CONTROL), 3 parcelas tratamiento quema temprana (QUEMAPRIM2018), 3 parcelas tratamiento quema QUEMAOTOÑO2018, 3 parcelas tratamiento desbroce manual DESBPRIM2018 y 3 parcelas tratamiento desbroce manual (DESBOTOÑO2018).

2.3. Muestras de vegetación

La metodología se basa en realizar una caracterización y evaluación de los cambios en combustible y efecto en las especies dominantes del matorral, una rebrotadora, el esparto (*Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth), y una germinadora, el romero (*Salvia rosmarinus* (L.) Schelid), comparando los distintos tratamientos ejecutados dentro del Plan de prevención de Incendios Forestales. Para ello hemos replantado parcelas en las zonas donde el personal de la administración ha realizado tratamientos para evaluar y estimar cambios en biomasa y estratificación, tanto horizontal como vertical, de la vegetación existente y caracterización de modelo de combustible.

El seguimiento de la vegetación se llevó a cabo siguiendo el método de transecto lineal (Norte a Sur), mediante tres líneas de 20 m localizadas dentro de cada parcela (45 transectos lineales). Se realizaron mediciones antes, justo después y tras un año de cada tratamiento, realizando seguimiento de todas las matas de *Macrochloa tenacissima* (L.) Kunth que interceptaron los transectos, así como el conteo de los individuos vivos y muertos de *Salvia rosmarinus* (L.) Schelid y su fracción de cubierta (FCCr), dos años después de haber realizado los tratamientos.

Como indicadores de estimación de carga de combustible y su cambio, se monitorearon en el esparto los parámetros de biomasa foliar (Bf, cm) por medición de la longitud de sus hojas con cinta métrica flexible (precisión ±1cm),

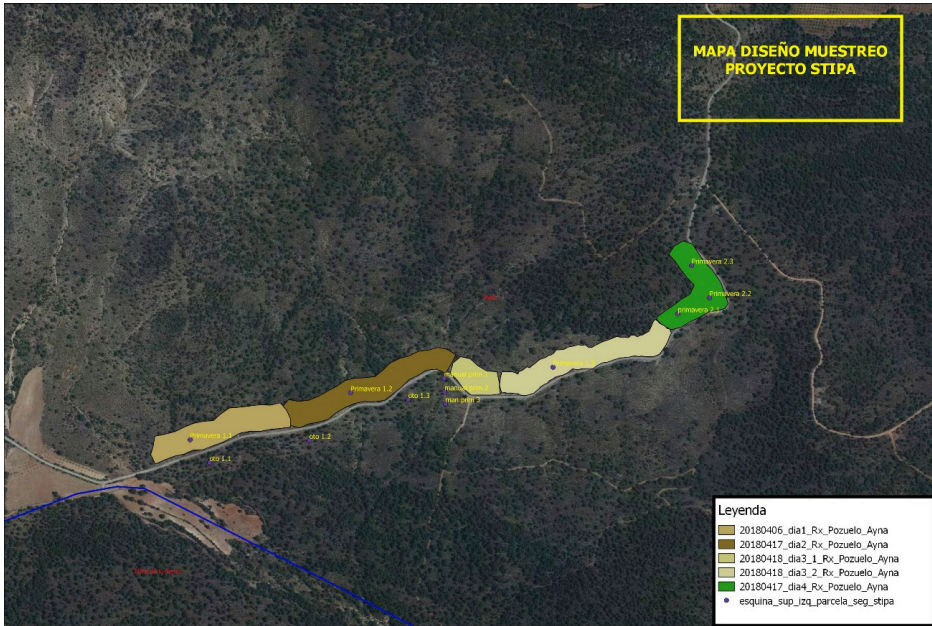


Figura 2. Croquis de áreas para gestión preventiva de incendios en el Monte de Utilidad Pública 87 “Pinar”, en el paraje conocido como Los Espartales, próximo a la aldea Casas del Pozuelo, Ayna (Albacete).



Figura 3. Parcelas de seguimiento (cuadros rosados) en las zonas de tratamientos ejecutados durante 2018: CONTROL (parcelas fuera de zona tratada), QUEMAPRIM2018 (parcelas sobre zona verde oscuro), QUEMOTOÑ2018 (parcelas sobre zona verde claro), DESBPRIM2018 (parcelas sobre zona en morado) y DESBOTOÑ2018 (parcelas sobre zona en naranja).

capacidad de rebrote (R^+) por conteo del número de individuos, biomasa total (BT) por medición de la altura de cada individuo (h , cm), cobertura (FCCe, m^2) (medición de dos diámetros perpendiculares) y relación con peso seco y humedad (H_{vivo} , %) mediante pesada en fresco en campo de un individuo fuera del transecto lineal. En cada parcela se seleccionaron al azar dos individuos con tamaño similar a la Bf media, cavando un perímetro al menos igual que su porte aéreo y 40 cm de profundidad. Tras limpiar la raíz (se apreciaba que se extraía casi por completo el sistema radicular) se pesaba en campo. Posteriormente el material se llevaba a laboratorio para secado en mufla ($60^\circ C$, 48 horas) con pesado en báscula fija (precisión $\pm 0,01g$). En el caso de individuos completos, se separaban parte aérea y subterránea (corte con tijera en cuello) obteniendo su peso por separado, para poder determinar el % del total del peso seco que corresponden a cada una de las partes (ratio de biomasa de raíz: biomasa aérea). Además, se calculó la ratio de peso húmedo y peso seco separando la parte sobre suelo y bajo suelo (parte radicular) con lo que obtener porcentaje de biomasa área (%) y ratio biomasa subterránea: biomasa aérea.

Para la especie germinadora predominante, el romero, el monitoreo se redujo al seguimiento de la supervivencia de individuos (S^+) y su cobertura (FCCr, $m^2 ha^{-1}$), respectivamente, por conteo directo y medición de dos diámetros perpendiculares en los transectos con un metro semirrígido metálico (precisión $\pm 1cm$).

2. 4. Análisis estadístico

Se han utilizado modelos lineales generalizados (GLM) para evaluar los efectos del factor severidad de quemado en las variables estudiadas. Aquellas relaciones significativas se desarrollaron con análisis de varianza simple (ANOVA), utilizando un valor crítico de $P < 0.05$. Para generar intervalos de confianza y obtener diferencias significativas mediante el método de menos diferencia significativa (LSD) de Fisher. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando RStudio (versión RStudio 1.3.1073) (RStudio Team, 2021).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diferencias en tratamientos y momento de aplicación

Según lo observado en el estudio estadístico del análisis de varianza simple (figura 4), el tratamiento de quemas de primavera es el menos adecuado a la hora de eliminar la mayor carga de combustible, ya que en todas las variables calculadas presenta las menores diferencias con el resto, por lo que no se maximiza la reducción en el cambio de combustible. Este efecto puede estar condicionado por la intensidad de las quemas, ya que se ha demostrado que las quemas tardías (en otoño) suelen ser de mayor severidad y por tanto,

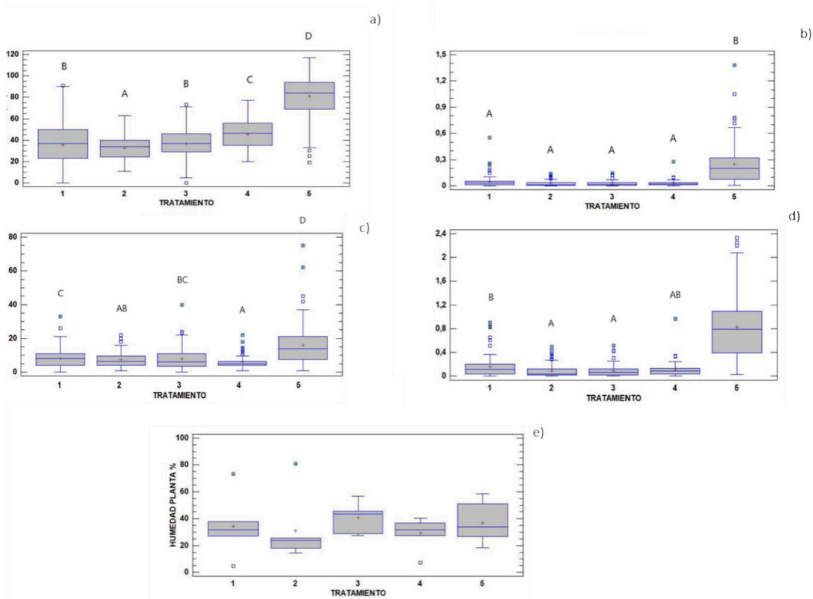


Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes que representa los valores obtenidos mediante ANOVA simple para los índices calculados: a) Biomasa foliar de esparto (Bf, cm), b) Capacidad de rebrote del esparto (R+), c) Biomasa de esparto (BT, kg ha⁻¹), d) Cobertura de esparto (FCCe, m² ha⁻¹), e) Humedad del combustible vivo (Hvivo, %). Los tratamientos considerados fueron: 1.- Quema prescrita ejecutada en primavera (QUEMAPRIM2018); 2.- Desbroce mecánico ejecutado en primavera (DESBPRIM2018); 3.- Quema prescrita ejecutada en otoño (QUEMOTOÑO2018); 4.- Desbroce mecánico ejecutado en otoño (DESBOTOÑO2018); 5.- Sin tratamiento (CONTROL).

implica una mayor reducción del combustible (Knapp *et al.*, 2005). El tratamiento de desbroce manual de primavera arroja los mejores resultados en cuanto a reducir dicha carga de combustible, ya que presenta los menores valores en todas las variables calculadas (Huggett *et al.*, 2008). Para clarificar estas conclusiones, se hacen necesarios estudios comparando la eficacia y eficiencia de recursos, ya que hay indicios de que la herramienta de quema prescrita genera mayores rendimientos de trabajo (Piqué and Domènech, 2018).

Con respecto a la biomasa y el tratamiento, se obtuvo una mayor proporción de parte subterránea con respecto a la parte aérea tienen (figura 5) de individuos en zonas donde se han realizado quemas prescritas (tanto de primavera como de otoño). Por lo tanto, esta vegetación se desarrollará con mayor superficie foliar en condiciones normales, aumentando la carga de combustible. El aspecto positivo, es que al tener alto valor de sistema radicular tras quema, se logra una alta fijación del suelo lo que debe tenerse en cuenta

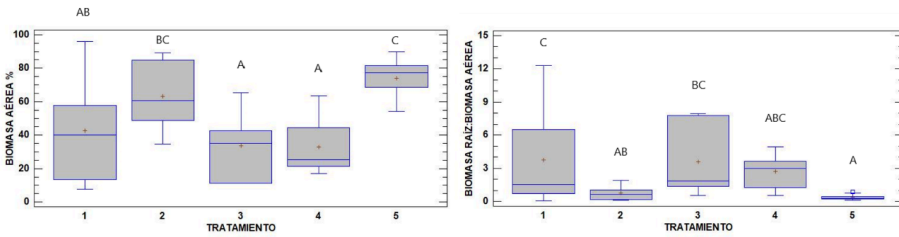


Figura 5. Diagrama de cajas y bigotes para los valores obtenidos mediante ANOVA simple que muestra el porcentaje de biomasa aérea de esparto (%) (imagen izquierda) y el ratio de biomasa de raíz: biomasa aérea (imagen derecha). Los tratamientos considerados fueron: 1.- Quema prescrita ejecutada en primavera (QUEMAPRIM2018); 2.- Desbroce mecanico ejecutado en primavera (DESBPRIM2018); 3.- Quema prescrita ejecutada en otoño (QUEMOTOÑO2018); 4.- Desbroce mecanico ejecutado en otoño (DESBOTOÑO2018); 5.- Sin tratamiento (CONTROL).

sobre todo en zonas con pendientes pronunciadas con alto riesgo de erosión (Snyman, 2005). En general, tras los tratamientos de quemas prescritas la recuperación de los individuos de rebrote conduce a una mayor biomasa aérea en el corto plazo ya que los individuos de estas zonas presentaron mayores dimensiones en comparación con los de tratamientos de desbroce manual debido a la movilización de carbohidratos almacenados en las partes subterráneas (Bär *et al.*, 2019). En referencia a la humedad, los individuos en zonas de tratamiento con desbroce manual muestran un menor % de humedad, lo que implica una mayor disponibilidad de la vegetación a ser quemada, aumentando el riesgo de propagación de un posible incendio (Alexander *et al.*, 2012).

Los tratamientos de reducción de combustible aquí probados, reducen la FCCr de manera significativa con respecto al CONTROL (figura 6). Al comparar entre tratamientos, se observa una mayor reducción de FCCr entre los tratamientos ejecutados a final de año, lo que podría tener relaciones directas con la fenología de la especie y su adaptación post-incendio (rebrotadora o germinadora) ya que se recuperan durante la primavera, pero no se ven afectadas de forma más severa por los tratamientos después de la sequía de verano (Walker *and* Soulard, 2019). Los datos de supervivencia de la germinadora muestra un % de supervivencia altísimo, por encima del 90% (figura 6), lo que valida la hipótesis de que estos tratamientos de baja intensidad no tienen efectos en el largo plazo sobre la comunidad vegetal (Lucas-Borja *et al.*, 2019b; Moya *et al.*, 2021).

Por tanto, este estudio aporta información sobre las dinámicas de respuesta en el corto plazo de dos de las especies principales en un hábitat de pinar mediterráneo, catalogado como hábitat de interés comunitario (9540) (Ruiz-Benito *et al.*, 2009). Las quemas prescritas reducen la biomasa y el riesgo de incendios forestales sin efectos negativos en el medio-largo plazo tras la quema, aunque la repuesta de la interfaz suelo-planta puede variar con el

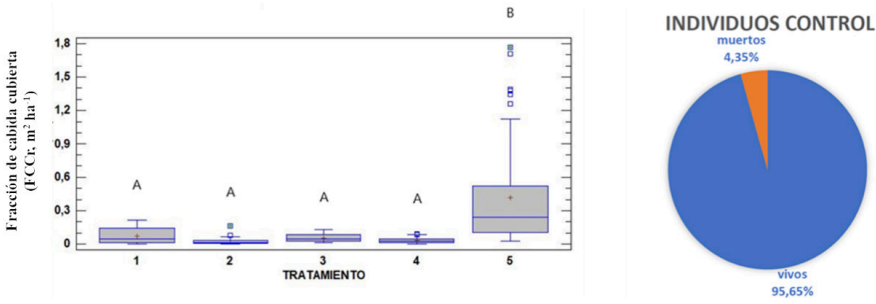


Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes para los valores obtenidos mediante ANOVA simple para la FCCr ($m^2 ha^{-1}$) (imagen izquierda) y Supervivencia de individuos de romero (S+, %) (imagen derecha). Los tratamientos considerados fueron: 1.- Quema prescrita ejecutada en primavera (QUEMAPRIM2018); 2.- Desbroce mecánico ejecutado en primavera (DESB-PRIM2018); 3.- Quema prescrita ejecutada en otoño (QUEMOTOÑ2018); 4.- Desbroce mecánico ejecutado en otoño (DESBOTOÑ2018); 5.- Sin tratamiento (CONTROL).

momento de la quema (Moya *et al.*, 2021; Plaza Álvarez *et al.*, 2021; Sagra *et al.*, 2019, 2018). Hay otras variables que no se han incluido en este estudio que podrían ser utilizadas como indicadores de cambios en el ecosistema, como las interacciones en la microbiología de suelo, que es muy vulnerable al calor (Lucas-Borja *et al.*, 2019a; Moya *et al.*, 2018). Además, la baja densidad poblacional en espartales implica ratios altos de transpiración y baja competencia interespecífica (Ramírez-Collantes, 2006). Por tanto, los tratamientos de quemas prescritas, en comparación con los tratamientos de desbroce manual, propician individuos con mayor biomasa que aseguran las funciones de protección de suelo y conservan ciertas funciones del ecosistema (Guerra *et al.*, 2016). Otra línea por implementar sería la de incluir otros tratamientos de reducción y mantenimiento de la carga de combustible, como la implementación de pastoreo y la comparación de rendimientos económicos, ya que en una primera valoración realizada en la zona de estudio, las labores de desbroce necesitan 14,7 jornales ha^{-1} , mientras que los de quema se quedan en una media de 6 jornales ha^{-1} .

4. CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos, se puede concluir que las quemas prescritas son una herramienta eficaz en la reducción y control de carga de combustible, reduciendo la biomasa existente en el corto plazo de manera más eficaz y sin más impacto en las funciones del ecosistema que los provocados por desbroces mecánicos. Aunque se desconocen sus efectos a largo plazo y su interrelación con otras variables, se hace necesaria la evaluación de los efectos negativos a medio y largo plazo, incluyendo desbroce mecánico y quemas recurrentes o combinación de ambas herramientas. Además, la evaluación de eficacia y rendimiento de estas herramientas podría generar un conocimiento eficaz para optimizar su uso en la prevención de incendios foresta-

les, dependiendo de las características del terreno, tipo de hábitat y riesgo de erosión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los servicios forestales de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y la empresa pública de Gestión Ambiental de la Comunidad Autónoma (GEACAM), dependiente de la Consejería de Desarrollo Sostenible, por la ayuda y asistencia en los trabajos de campo. El trabajo ha sido financiado por una ayuda a la Investigación del Instituto de Estudios Albacetenses del proyecto FIREPREV2019: PASTOREO, DEBROCE Y QUEMAS PRESCRITAS COMO PREVENCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES: EFICACIA Y EFECTOS EN ECOSISTEMAS DE SIERRA DEL SEGURA (IEA2019-DANIELMOYA) y se apoya en los trabajos desarrollados en el proyecto nacional VIS4FIRE financiado por el programa del INIA-FEDER (RTA2017-00042-C05-00) y el proyecto regional PRESFIRE financiado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (SBPLY/19/180501/000130/1). Los autores También agradecen el apoyo recibido a contratos predoctorales de Pedro Antonio Plaza Álvarez (FPU16/03296), Javier González-Romero (Sbply/16/180501/000109) y Esther Peña Molina (2020-PREDUCLM-16032).

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, M.E., Cruz, M.G., Alexander, M.E., Cruz, M.G., 2012. Assessing the effect of foliar moisture on the spread rate of crown fires. *Int. J. Wildland Fire* 22, 415–427. <https://doi.org/10.1071/WF12008>
- Alig, R.J., Adams, D.M., McCarl, B.A., 2002. Projecting impacts of global climate change on the US forest and agriculture sectors and carbon budgets. *Forest Ecology and Management*, 169, 3–14. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00290-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00290-6)
- Bär, A., Michaletz, S.T., Mayr, S., 2019. Fire effects on tree physiology. *New Phytologist* 223, 1728–1741. <https://doi.org/10.1111/nph.15871>
- Batllori, E., Parisien, M.-A., Krawchuk, M.A., Moritz, M.A., 2013. Climate change-induced shifts in fire for Mediterranean ecosystems. *Global Ecology and Biogeography* 22, 1118–1129. <https://doi.org/10.1111/geb.12065>
- Fernandes, P.M., Rego, F.C., Rigolot, E., 2011. The FIRE PARADOX project: Towards science-based fire management in Europe. *Forest Ecology and Management*, 261, 2177–2178. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.024>

- GEACAM, 2018. Planes Comarcales de Defensa contra Incendios Forestales en Castilla-La Mancha [WWW Document]. URL <https://www.castilla-lamancha.es/gobierno/desarrollosostenible/estructura/dgapfyen/actuaciones/planes-comarcales-de-defensa-contra-incendios-forestales-en-castilla-la-mancha> (accessed 4.20.21).
- González-De Vega, S., De las Heras, J., Moya, D., 2018. Post-Fire Regeneration and Diversity Response to Burn Severity in *Pinus halepensis* Mill. Forests. *Forests* 9, 299. <https://doi.org/10.3390/f9060299>
- González-De Vega, S., De las Heras, J., Moya, D., 2016. Resilience of Mediterranean terrestrial ecosystems and fire severity in semiarid areas: Responses of Aleppo pine forests in the short, mid and long term. *Science of The Total Environment* 573, 1171–1177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.115>
- Guerra, C.A., Maes, J., Geijzendorffer, I., Metzger, M.J., 2016. An assessment of soil erosion prevention by vegetation in Mediterranean Europe: Current trends of ecosystem service provision. *Ecological Indicators* 60, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.043>
- Huggett, R.J., Abt, K.L., Shepperd, W., 2008. Efficacy of mechanical fuel treatments for reducing wildfire hazard. *Forest Policy and Economics, Wildfire mitigation* 10, 408–414. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2008.03.003>
- IGN, 2006. Mapas edafológicos y suelos de España [WWW Document]. URL <https://www.ign.es/web/catalogo-cartoteca/resources/html/030769.html> (accessed 4.20.21).
- Knapp, E.E., Keeley, J.E., Ballenger, E.A., Brennan, T.J., 2005. Fuel reduction and coarse woody debris dynamics with early season and late season prescribed fire in a Sierra Nevada mixed conifer forest. *Forest Ecology and Management* 208, 383–397. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.016>
- Lucas-Borja, M.E., Miralles, I., Ortega, R., Plaza-Álvarez, P.A., Gonzalez-Romero, J., Sagra, J., Soriano-Rodríguez, M., Certini, G., Moya, D., Heras, J., 2019a. Immediate fire-induced changes in soil microbial community composition in an outdoor experimental controlled system. *Science of The Total Environment* 696, 134033. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134033>
- Lucas-Borja, M.E., Plaza-Álvarez, P.A., Gonzalez-Romero, J., Sagra, J., Alfaro-Sánchez, R., Zema, D.A., Moya, D., de las Heras, J., 2019b. Short-term effects of prescribed burning in Mediterranean pine plantations on surface runoff, soil erosion and water quality of runoff. *Science of The Total Environment* 674, 615–622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.114>

- Mataix-Solera, J. y Cerdà, A., 2009. Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos, in: *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España: el estado de la cuestión visto por los científicos españoles*, págs. 25-54. Cátedra Divulgación de la Ciencia. ISBN 978-84-370-7653-9
- Moya, D., Fonturbel, M.T., Lucas-Borja, M.E., Peña, E., Alfaro-Sanchez, R., Plaza-Álvarez, P.A., González-Romero, J., de Las Heras, J., 2021. Burning season and vegetation coverage influenced the community-level physiological profile of Mediterranean mixed-mesogean pine forest soils. *Journal of Environmental Management* 277, 111405. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111405>
- Moya, D., González-De Vega, S., García-Orenes, F., Morugán-Coronado, A., Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Lucas-Borja, M.E., De las Heras, J., 2018. Temporal characterisation of soil-plant natural recovery related to fire severity in burned *Pinus halepensis* Mill. forests. *Science of The Total Environment* 640–641, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.212>
- Myers, R.L., 2006. *Convivir con el fuego*. The Nature Conservancy, Tallahassee, Florida.
- Pausas, J.G., 2012. *Incendios forestales*. CSIC y Catarata.
- Piqué, M., Domènech, R., 2018. Effectiveness of mechanical thinning and prescribed burning on fire behavior in *Pinus nigra* forests in NE Spain. *Science of The Total Environment* 618, 1539–1546. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.316>
- Plaza Álvarez, P.A., Moya, D., Lucas Borja, M.E., García Orenes, F., González Romero, J., Rossa, C., Peña, E., Heras, J.D. las, 2021. Early spring prescribed burning in mixed *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus pinaster* Ait. stands reduced biological soil functionality in the short term. *Land Degradation & Development* 32, 1312–1324. <https://doi.org/10.1002/ldr.3800>
- Primack, R.B., 1993. *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer & Associates, Sunderland, MA.
- Ramírez-Collantes, D.A., 2006. Estudio de la transpiración del esparto (*Stipa tenacissima* L.) en una cuenca del semiárido alicantino: un análisis pluriescalar. *Ecosistemas* 15 (2): 113-117. [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7798/1/ECO_15\(2\)_15.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7798/1/ECO_15(2)_15.pdf)
- RStudio Team, 2021. RStudio: Integrated Development for R. RStudio [WWW Document]. RStudio Support. URL <http://www.rstudio.com> (accessed 2.2.21).
- Ruiz-Benito, P., Álvarez-Uría, P., Zavala, M.A., 2009. 9540. *Pinares mediterráneos de pinos mesogeanos endémicos, Bases ecológicas preliminares*

para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.

- Sagra, J., Ferrandis, P., Plaza-Álvarez, P.A., Lucas-Borja, M.E., González-Romero, J., Alfaro-Sánchez, R., De las Heras, J., Moya, D., 2018. Regeneration of *Pinus pinaster* Aiton after prescribed fires: Response to burn timing and biogeographical seed provenance across a climatic gradient. *Science of The Total Environment* 637–638, 1550–1558. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.138>
- Sagra, J., Moya, D., Plaza-Álvarez, P.A., Lucas-Borja, M.E., González-Romero, J., De las Heras, J., Alfaro-Sánchez, R., Ferrandis, P., 2019. Prescribed fire effects on early recruitment of Mediterranean pine species depend on fire exposure and seed provenance. *Forest Ecology and Management* 441, 253–261. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.057>
- Scott, A.C., 2000. The Pre-Quaternary history of fire. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Fire and the Palaeoenvironment* 164, 281–329. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00192-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00192-9)
- Snyman, H.A., 2005. Influence of fire on root distribution, seasonal root production and root/shoot ratios in grass species in a semi-arid grassland of South Africa. *South African Journal of Botany* 71, 133–144. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30125-3](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30125-3)
- Walker, J.J., Soulard, C.E., 2019. Phenology Patterns Indicate Recovery Trajectories of Ponderosa Pine Forests After High-Severity Fires. *Remote Sensing* 11, 2782. <https://doi.org/10.3390/rs11232782>
- Wilson, B.A., Kuehs, J., Valentine, L.E., Sonneman, T., Wolfe, K.M., 2014. Guidelines for ecological burning regimes in Mediterranean ecosystems: a case study in *Banksia* woodlands in Western Australia. *Pac. Conserv. Biol.* 20, 57–74. <https://doi.org/10.1071/pc140057>