

# Propuesta de técnicas a utilizar en la restauración de terrenos afectados por incendios forestales: aplicación al incendio del Rodenal de Guadalajara

Luis Ocaña<sup>1</sup>, Inmaculada Santos<sup>1</sup>, Álvaro Carrillo<sup>1</sup>, Rafael Serrada<sup>2</sup>, Vanesa Aguilar<sup>2</sup>, Carmen Hernando<sup>3</sup>, Mercedes Guijarro<sup>3</sup>, Javier Madrigal<sup>3</sup>, Eva Marino<sup>3</sup>, José A. Vega<sup>4</sup>, José Ramón Pérez<sup>4</sup>, Teresa Fonturbel<sup>4</sup>, Cristina Fernández<sup>4</sup>, José Javier Pueyo<sup>5</sup>, Fernando Valladares<sup>5</sup>, Ana María Rincón<sup>5</sup>

## Resumen

Uno de los principales aspectos de la problemática forestal en España es el referente a los incendios forestales, y especialmente a aquellos que se propagan en condiciones extremas y que son responsables de una gran parte de la superficie forestal quemada anualmente en nuestro país, así como de grandes pérdidas económicas y ambientales.

La restauración de estas superficies, de manera que las pérdidas sean mínimas, es obligatoria de acuerdo con la legislación vigente y requiere de un importante esfuerzo en un breve plazo de tiempo tras los incendios, lo que exige la rápida elaboración y ejecución de planes de trabajo.

En la actualidad, los sistemas de captación de información permiten la rápida disponibilidad de datos sobre las condiciones del incendio, así como de las características de la estación y de la masa. Sin embargo, no existe la suficiente información sobre la respuesta a los diferentes tratamientos de restauración post-incendio, de manera que se consiga una regeneración lo más rápida posible y que las condiciones de la masa resultante sean lo más aptas para el cumplimiento de sus fines socioeconómicos y medioambientales.

Sobre esta base, actualmente, se está desarrollando desde TRAGSA, con el apoyo de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y en colaboración con el INIA, el IRN/CSIC, el CIIAL y la UPM, un proyecto de I+D en los terrenos afectados por el incendio ocurrido en la provincia de Guadalajara entre los días 16 y 21 de julio de 2005, que afectó 12.874 ha de la comarca de El Rodenal y que provocó el fallecimiento de 11 personas dedicadas a su extinción, a fin de obtener información sobre diversos aspectos del proceso de restauración de zonas quemadas por grandes incendios forestales (severidad del incendio, factores ecológicos de la estación, estructura de la masa incendiada y tratamiento de la misma tras el incendio) que permita elaborar un modelo para agilizar y sistematizar la respuesta ante los grandes incendios, en cuanto a la restauración de la superficie afectada se refiere.

En esta comunicación se presentan los resultados preliminares referentes a la regeneración natural post-incendio en masas de *Pinus pinaster* y a la diversidad de hongos ectomicorrízicos asociados a dicho regenerado.

<sup>1</sup> Empresa de Transformación Agraria, S.A. (TRAGSA), c/ Maldonado 58, 28006 Madrid. [locana@tragsa.es](mailto:locana@tragsa.es)

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Escuela Universitaria Técnica de Ingenieros Forestales, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid. Spain. [rafael.serrada@upm.es](mailto:rafael.serrada@upm.es)

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Centro de Investigación Forestal, carretera de La Coruña km 7, 28040 Madrid. Spain. [lara@inia.es](mailto:lara@inia.es)

<sup>4</sup> Centro de Investigación e Información Ambiental de Galicia, Lourizan (CIIAL), apdo 127, 36080 Pontevedra. Spain. [jvega.cifal@siam-cma.org](mailto:jvega.cifal@siam-cma.org)

<sup>5</sup> Instituto de Recursos Naturales del Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IRN/CSIC), c/ Serrano 115 bis, 28006 Madrid. Spain. [ana.rincon@ccma.csic.es](mailto:ana.rincon@ccma.csic.es)

## Introducción

Los incendios son uno de los principales problemas que afectan a los ecosistemas forestales en toda la cuenca mediterránea. Existen diferentes factores (condiciones climáticas adversas, topografía, acumulación de combustibles, etc.) que en ocasiones provocan que el fuego se desarrolle en condiciones extremas de propagación. Bajo estas condiciones, cierto número de incendios en España adquieren gran dimensión e intensidad, planteando dificultades para su rápido control y causando una gran parte de la superficie forestal quemada anualmente en nuestro país, con grandes pérdidas económicas y ambientales. Este fenómeno se repite con frecuencia cada año, habiéndose detectado una tendencia al aumento del número de este tipo de incendios de comportamiento extremo en los últimos años. Entre los casos más recientes encontramos los incendios de 2003 en Extremadura, de 2004 en Huelva y Jaén, el grave incendio de Guadalajara de 2005 (objeto de estudio del presente trabajo) o los grandes incendios de Galicia de 2005 y 2006.

La restauración de estas grandes áreas requiere de un gran esfuerzo y una rápida planificación, aunque en la mayoría de los casos existe falta de información sobre las actuaciones más adecuadas que deben llevarse a cabo para la recuperación de estos ecosistemas. Para mejorar los conocimientos relacionados con este proceso de restauración post-incendio, actualmente se está desarrollando un proyecto de I+D en el incendio del Rodenal de Guadalajara.

Los objetivos planteados en este proyecto son: a) evaluar el efecto de distintas actuaciones selvícolas previas a la emergencia en el regenerado, b) evaluar el efecto de la severidad del fuego y de la corta post-emergencia en el regenerado, y c) evaluar el efecto de la severidad del fuego en la diversidad de comunidades de hongos ectomicorrízicos (ECM) asociadas al regenerado.

El incendio ocurrió en la provincia de Guadalajara (zona centro de España; ver *fig 1*), en la comarca de El Rodenal, entre los días 16 y 21 de julio de 2005. La superficie total afectada fue de 12.874 ha, de las cuales 2.905 ha pertenecen al Parque Natural del Alto Tajo (lo que supone un 2,7 por ciento de la superficie total del Parque) y 2.023 ha a la zona periférica de protección. El perímetro del incendio comprende terrenos pertenecientes a nueve términos municipales (Ablanque, Anguita, Anquela del Ducado, Ciruelos del Pinar, Cobeta, Luzón, Mazarete, Riba de Saelices y Selas).

La zona se encuentra a una altitud aproximada de entre 1.000 y 1.200 m, de clima nemoromediterráneo, con una precipitación media anual de 570 mm y una temperatura media que oscila entre 2 °C del mes más frío y 20 °C del mes más cálido. La litología está formada por los denominados rodenales, areniscas y pudingas del Buntsandstein que presentan una característica tonalidad rojiza. Los suelos tienen texturas arenosas a francas, muy permeables, y son moderadamente ácidos y de escasa a media evolución.

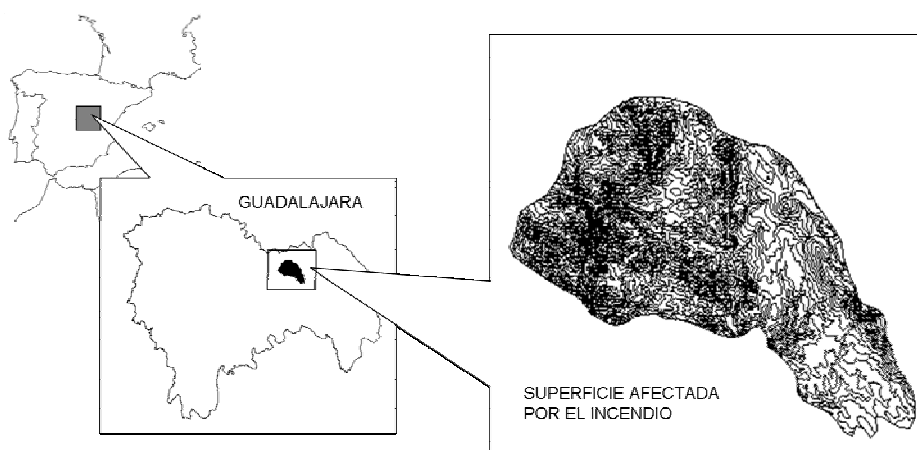


Figura 1—Mapa de situación y perímetro del incendio.

En cuanto a la vegetación de la zona, las masas más abundantes corresponden a pinares de *Pinus pinaster*, pertenecientes a la región de procedencia denominada Rodenales de Molina (Alía y otros 1996). El 78 por ciento de la superficie afectada corresponde a estas masas de pinar (9.357 ha). También se vieron afectadas zonas de matorral (12 por ciento) y robledal de *Quercus pyrenaica* (7 por ciento), y en menor proporción masas de *P. sylvestris*, *Q. faginea* y *Juniperus thurifera*.

Aunque el proyecto aborda también el estudio de la regeneración de las masas de *Q. pyrenaica* afectadas, en la presente comunicación sólo se hace referencia a los trabajos realizados hasta la fecha en las masas de *P. pinaster*.

Conviene destacar que el pino negral (*Pinus pinaster* Ait.) es, después de *P. halepensis*, la conífera que ocupa mayor superficie en España, alrededor de 1.600.000 ha, de las cuales 600.000 ha son consideradas masas autóctonas (Alía y otros 1996). Por otro lado, es la especie más castigada por los incendios forestales en nuestro país, afectando a más de 101.000 ha en el decenio 1996-2005 (MMA 2006). En concreto, sólo en 2005, año en que tuvo lugar el incendio objeto de estudio, ardieron un total de 31.662 ha de *P. pinaster*, lo que supone más del 45 por ciento de la superficie arbolada quemada ese año en España (MMA 2006). Esta especie, presenta rasgos morfológicos y fisiológicos de resistencia al fuego, como son la floración precoz, la presencia de conos seróticos o fustes con corteza gruesa, aunque sus poblaciones muestran una gran variabilidad en la presencia de estas adaptaciones (Tapias y Gil 2000). Es, por lo tanto, una especie con diferentes resultados en el proceso de regeneración post-incendio, observándose zonas con escasa regeneración natural frente a otras con un regenerado abundante (Madrugal 2005).

## Metodología

### **Dispositivo experimental**

Para la consecución de los diferentes objetivos del proyecto se han establecido dos dispositivos experimentales complementarios.

El primero de ellos consta de bloques de inventario distribuidos según el tipo de vegetación existente previa al incendio (cinco repeticiones para cada tipo). Los tipos de vegetación seleccionados para el pinar son dos:

- Pinar viejo (PV): fustales resinados de *P. pinaster* de edad superior a 80 años. Pinar resinado en estado de fustal, con una densidad media de 300 pies/ha; área basimétrica de 35 m<sup>2</sup>/ha y existencias maderables medias en torno a 200 m<sup>3</sup>/ha.
- Pinar joven (PJ): masas de pinar regenerado en estado de latizal alto, con una densidad media del orden de 3.000 pies/ha; área basimétrica del orden de 25 m<sup>2</sup>/ha y existencias maderables de dudoso aprovechamiento.

En cada bloque según tipo de vegetación se efectuaron distintos tratamientos:

- Testigo (T): parcelas de control donde no se realiza ninguna intervención
- Corta (C): apeo y saca de madera, acordonado de los residuos de corta en hileras.
- Corta y siembra (CS): además de la corta, se realizó una siembra a voleo con semilla de procedencia de la zona y una dosis de 2 kg/ha en fajas libres de residuos.
- Corta, siembra y cercado (CSC): además de la corta y siembra, se instaló un cerramiento con malla cinegética a fin de evaluar el impacto de la fauna silvestre y del ganado en la regeneración.

Teniendo en cuenta estos cuatro tratamientos y las cinco repeticiones para cada uno de los dos tipos de vegetación, se establecieron un total de 40 parcelas de 40 m x 40 m (20 parcelas en PV y 20 parcelas en PJ). En cada parcela se replantearon sistemáticamente 25 subparcelas cuadradas de 1,5 m x 1,5 m.

El segundo dispositivo experimental se sitúa en una ladera representativa del incendio, en cuanto a pendiente y litofacies, en la que se identifican tres niveles distintos de severidad del incendio en zonas contiguas. La masa era un fustal de 574 pies/ha y área basimétrica 22 m<sup>2</sup>/ha. Los niveles de severidad considerados son:

- Baja (S1): las copas no están soflamadas, o sólo parcialmente en algunos individuos, junto a un bajo nivel de afectación del suelo.
- Media (S2): el arbolado presenta un chamuscado total de la copa y el suelo muestra signos de un mayor grado de perturbación.
- Alta (S3): entorchamiento de las copas, con combustión de la masa foliar, y una casi absoluta desprotección del suelo mineral.

A lo largo de estas tres zonas se situaron tres transectos de unos 300 m de longitud, siguiendo cada uno de ellos las curvas de nivel, y separados entre sí aproximadamente 50 m a lo largo de la ladera. Sobre ellos se instalaron 60 parcelas experimentales de 5 m x 5 m, 20 por cada nivel de severidad. En un área anexa a la zona de severidad baja (S1), se situaron 20 parcelas adicionales como testigo no cortado, asociado a S1. De esta forma un total de 80 parcelas de 5 m x 5 m fueron establecidas previamente a la corta del arbolado.

### **Mediciones**

En cada una de las subparcelas del primer dispositivo experimental se realizó un inventario del regenerado. Se tomaron medidas en mayo, julio y octubre de 2006 del número total de brinzales y altura media de los cinco ejemplares más cercanos a las esquinas y al centro de cada subparcela. Adicionalmente, para la evaluación y

seguimiento de la regeneración natural, en julio se etiquetaron y midieron (altura y diámetro) 100 plántulas en cada una de las parcelas de 40 m x 40 m correspondientes a los tratamientos de corta y saca (C) y testigo (T) en masas de pinar joven (PJ) y pinar viejo (PV). Además, se tomaron datos generales de la parcela (pendiente, orientación y severidad del fuego) y datos en cada una de las subparcelas de muestreo (pedregosidad, perfil microtopográfico, posición ocupada en la ladera, espesor y cobertura media de la capa de hojarasca y mantillo, estados erosivos, cobertura y altura de la vegetación competidora y número de plantas de *P. pinaster*). En septiembre se realizó un seguimiento de las plantas etiquetadas en julio y del estado de las subparcelas.

En el segundo dispositivo experimental, en cada una de las parcelas de 5 m x 5 m se efectuó un inventario de las características del regenerado, en julio, octubre (antes de la corta) y noviembre de 2006 (después de la corta). En un radio de 10 a 15 m alrededor de la parcela se tomaron datos dasométricos del grado de afectación del arbolado por el fuego. En cada parcela se midió el número de plántulas de *P. pinaster* existentes en su interior, y se etiquetaron 50 de ellas para efectuar un seguimiento de su supervivencia y altura a medio plazo, con un total de 4.000 plántulas. Se recogió información sobre las características de las parcelas, siguiendo la misma metodología indicada en el otro dispositivo. Se tomaron también datos de la severidad del fuego, a nivel de parcela, según la metodología de Key y Benson (2006). Tras la medición de julio, a la mitad de las parcelas se le retiró (S1 y S2) o aportó hojarasca (S3), dejando, por tanto, la mitad de ellas con esa cubierta y la otra desprovista de hojarasca, para evaluar su posible efecto en la mortalidad de las plántulas durante el verano.

Para el estudio de la diversidad de las comunidades de hongos ectomicorrízicos, se muestrearon tres áreas de bosque no afectadas por el fuego (testigo para futuras comparaciones con la diversidad en zonas incendiadas), y se llevó a cabo la identificación taxonómica de los hongos recolectados mediante criterios morfológicos. Los hongos se aislaron en cultivo puro y se elaboró un herbario con los distintos especímenes.

Por otro lado, sobre las tres parcelas de severidad del segundo dispositivo experimental (S1, S2 y S3, severidad baja, media y alta respectivamente), se realizó un muestreo por tramo de pendiente dentro de cada nivel de severidad (T1 zona baja, T2 zona intermedia, T3 zona alta) de 3-4 plantas del regenerado de *P. pinaster* para evaluar su grado de micorrización y caracterizar los morfotipos de hongos asociados. Los porcentajes de ectomicorrizas (ECM) se estimaron por conteo al azar de al menos 200 raíces cortas por planta, mediante observación a la lupa binocular. Las ECM se clasificaron por morfotipos atendiendo a las características del manto y del micelio externo. Se tomaron muestras de ectomicorrizas de cada morfotipo descrito por planta y se almacenaron a - 80°C para su identificación taxonómica mediante métodos moleculares. El ADN de las ECM se extrajo y purificó según la metodología descrita por Gardes y Bruns (1993) y la región ITS del rDNA se amplificó mediante PCR con los primers ITS1 y ITS4. Los productos de PCR se digirieron con tres enzimas de restricción (RFLP) y las muestras se reagruparon en función del patrón de bandas obtenido.

## **Análisis estadístico**

Para comparar el efecto de los tratamientos a nivel de parcela, se han realizado análisis de la varianza de la altura y densidad del regenerado para cada fecha de medición. También se ha realizado una evaluación de la tasa de mortalidad y supervivencia en cada fecha de medición, como resultado de la comparación de inventarios sucesivos. A nivel de subparcela, para evaluar la emergencia inicial de regenerado natural se ha realizado un ANOVA no sólo de los dos factores considerados inicialmente en el diseño de parcelas (tipo de masa y tipo de tratamiento) sino también de la posible influencia de la severidad del fuego. Para ello se caracterizó cada parcela según la severidad en dos tipos bien diferenciados: fuego de superficie con soflamado total de la copa (TF1) y fuego de copas con chamuscado total de la copa (TF2). También se realizó un modelo logístico preliminar de presencia-ausencia de regenerado a nivel de subparcela.

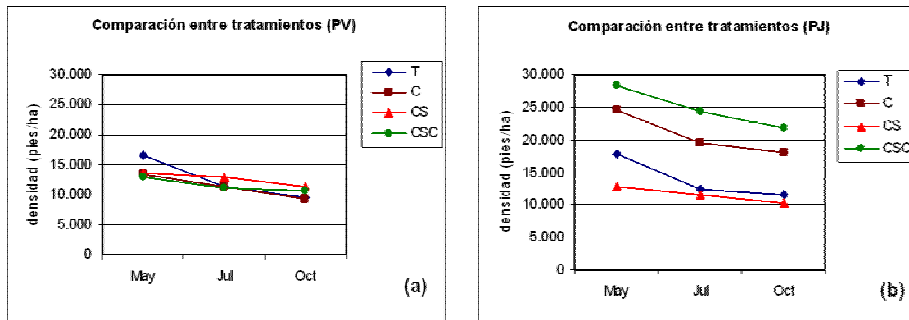
Para determinar la influencia de la severidad sobre la densidad del regenerado en julio de 2006 y su efecto en la altura de las plantas en julio 2006, octubre 2006 (antes de la corta) y noviembre 2006 (después de la corta), se utilizó un ANOVA de un factor, severidad, y tres niveles: S1, S2 y S3. El efecto de la severidad sobre la mortalidad de las plántulas en el primer verano fue analizado mediante la prueba Kruskal-Wallis. El efecto de la hojarasca dentro de cada nivel de severidad fue abordado mediante el test U de Mann-Whitney. Finalmente, el efecto inmediato de la corta sobre la mortalidad fue analizado mediante el test Kruskal-Wallis.

El efecto de los factores severidad del fuego y tramo de pendiente de ladera sobre los porcentajes de micorrización de las plantas se analizó mediante ANOVA de dos factores y las diferencias entre tratamientos se separaron mediante el test de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## **Resultados y discusión**

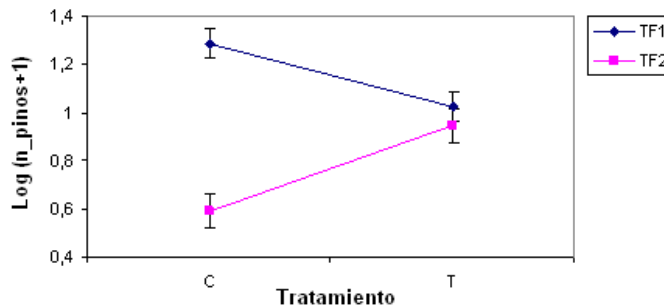
### ***Influencia de los tratamientos selvícolas***

Los resultados preliminares de densidad del regenerado a nivel de parcela muestran que en las masas de pinar viejo (PV) no existen diferencias significativas entre los tratamientos considerados en ninguna de las fechas de medición (*fig. 2a*). En parcelas de pinar joven (PJ) hay diferencias entre algunos tratamientos, pero no se presenta una tendencia clara entre fechas (*fig. 2b*). En ambos casos, aparecen diferencias significativas en la densidad entre bloques para cada fecha de medición, presentando incluso una mayor variabilidad que la existente entre tratamientos, lo cual podría explicarse por la ubicación de los distintos bloques de parcelas en zonas con distintos niveles de severidad del incendio.



**Figura 2**—Evolución de la densidad del regenerado (pies/ha) en cada tratamiento (T, testigo; C, corta y saca de la madera; CS, corta y siembra; CSC, corta, siembra y cercado) en los dos tipos de masa: pinar viejo (2a) y pinar joven (2b).

Con los datos por subparcela ( $n=220$ ) se obtuvieron unos resultados preliminares sobre la probabilidad de aparición de regenerado de *P. pinaster* y la influencia de alguna de las variables. Los primeros resultados del ANOVA sugieren que la corta y saca de la madera pre-emergencia tiene una fuerte interacción, a escala de subparcela, no tanto con el tipo de masa, como con la severidad, de forma que en masas afectadas por fuego de copas ( $TF=2$ ) la saca influye negativamente en la densidad medida un año tras el incendio, en cambio en masas afectadas por fuego de superficie con soflamado total de copa ( $TF=1$ ), la saca benefició la emergencia inicial respecto al testigo (T), que se comportó de forma intermedia en ambos tipos de fuego y sin diferencias significativas (fig. 3).

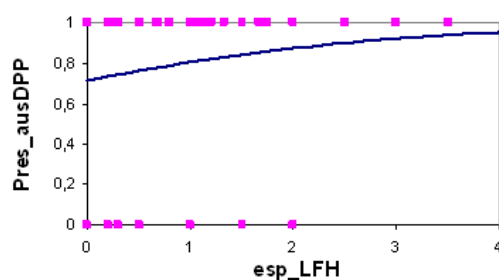


**Figura 3**—ANOVA del número promedio de plantas de *P. pinaster* por subparcela,  $\text{Log} (n_{\text{pinos}}+1)$ , para la interacción entre el tipo de fuego (TF) y el tipo de tratamiento con diferencias significativas entre el soflamado ( $TF=1$ ) y el chamuscado total de la copa ( $TF=2$ ) para el tratamiento de corta (C) pero no así para el tratamiento testigo (T).

Ante estos resultados se elaboró un modelo logístico de presencia-ausencia de regenerado (Pres-AusDPP) en las subparcelas, según el espesor de la capa de hojarasca y mantillo (esp\_LFH), para la medición de julio de 2006 (fig. 4). Los resultados muestran una adecuación de los datos significativa a un modelo logístico aunque con un ajuste muy bajo. Como conclusión preliminar, se puede afirmar que espesores de hojarasca y mantillo superiores a 2 cm están directamente relacionados con una probabilidad superior al 80 por ciento de presencia de regenerado de *P.*



*pinaster* en julio de 2006, independientemente del tipo de masa y tratamiento considerado. La importancia del espesor de la capa de hojarasca y mantillo en la emergencia del regenerado ya había sido observada por Madrigal (2005) para poblaciones de *P. pinaster* de regiones de procedencia con escasez de serotinia, como es el caso de la masa objeto de este estudio.



**Figura 4**— Representación del modelo logístico, donde Pres\_ausDPP es la probabilidad de aparición de regenerado en las subparcelas muestreadas, según el espesor de la capa de hojarasca y mantillo (esp\_LFH).

$$\text{Pres\_ausDPP} = \frac{\exp(\eta)}{1 + \exp(\eta)}$$

donde:  $\eta = 0,908999 + 0,503765 \cdot \text{esp\_LFH}$

Mediante la comparación de inventarios, el balance total de la densidad del regenerado parece indicar una mayor mortalidad en las parcelas testigo que en las parcelas donde se ha efectuado la corta y saca de la madera quemada, tanto en las masas de pinar viejo (43 por ciento) como en las jóvenes (35 por ciento). Por otro lado, los resultados preliminares de la estimación de la supervivencia tras el verano de las plántulas etiquetadas muestran que, en general, la mortalidad no ha sido excesiva y se ha debido en gran parte al aumento de la erosión y su influencia en la sedimentación y posterior enterramiento de muchas de las plantas etiquetadas. La mortalidad ha oscilado entre el 2 por ciento y el 28 por ciento a nivel de parcela, siendo los porcentajes más altos en los bloques con mayor pendiente (PJ4 y PV2), confirmando el posible efecto de la erosión en la mortalidad tras el primer verano.

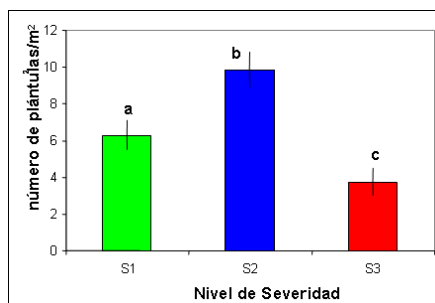
En cuanto al desarrollo del regenerado, los primeros resultados obtenidos en los pinares viejos indican diferencias significativas en la altura de los brinzales de las parcelas testigo presentando un menor desarrollo respecto al resto de tratamientos, los cuales sin embargo no presentan diferencias significativas entre sí. Por otro lado, en las parcelas de pinar joven no se ha detectado diferencias significativas en las alturas del regenerado. Comparando los dos tipos de vegetación seleccionados, el regenerado de las masas de pinar viejo presenta un desarrollo mayor que el de las masas de pinar joven.

### ***Influencia de la severidad***

La severidad del incendio tuvo un marcado efecto sobre la densidad del regenerado un año después del incendio (julio 2006) y sólo unos meses después de la primera nascencia de las plántulas producida en la primavera siguiente al incendio (fig. 5). Los árboles con las copas completamente soflamadas (S2) produjeron el mayor número de plántulas, seguido por los de copa poco afectada (S1). El fuego de copas produjo una significativa reducción de la densidad de plántulas. Este resultado



coincide con lo observado por Martínez y otros (2002) para *P. pinaster* no serótipo tras incendio en Soria. Esta tendencia ha sido también descrita en *P. halepensis* (Ne'eman y otros 1992, Pausas y otros 2003).



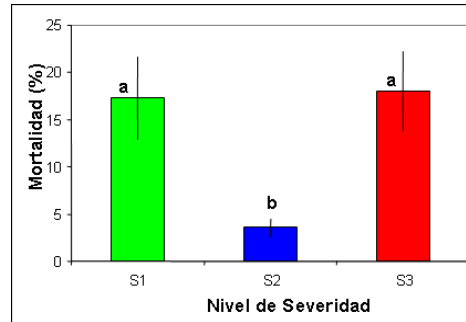
**Figura 5**— Valores de la densidad media de plántulas de *P. pinaster* un año después del incendio (julio 2006). Letras diferentes indican valores significativamente distintos ( $p < 0,05$ ). Barras verticales, error estándar. S1 = severidad baja, S2 = severidad media, S3 = severidad alta.

En cuanto a la altura media del regenerado, la severidad del incendio no pareció afectarla significativamente, aunque se encontró una clara tendencia a ser menor en el área de mayor severidad (*tabla 1*). Tampoco se observó una influencia significativa de la severidad en el crecimiento en altura durante el verano, aunque el crecimiento relativo en S3 fue mayor que en las otras zonas menos afectadas por el fuego. La corta no tuvo un efecto significativo para ninguno de los niveles de severidad ni se observó que la altura media de las plántulas supervivientes a las operaciones de apeo y saca del arbolado difiriera de la inmediatamente anterior, no pareciendo, por tanto, estas operaciones interactuar con la severidad.

**Tabla 1**—Variación de la altura media del regenerado, en cm, de *P. pinaster* en julio 2006, octubre 2006 (antes de la corta) y noviembre 2006 (después de la corta) en función de la severidad (entre paréntesis, error estándar).

Nivel de severidad	Julio 2006	Octubre 2006	Noviembre 2006
S1 (baja)	6,1 (0,3) a	7,3 (0,6) a	7,0 (0,5) a
S2 (media)	6,2 (0,4) a	7,9 (0,5) a	7,8 (0,6) a
S3 (alta)	4,7 (0,3) a	6,3 (0,7) a	6,7 (0,8) a

La mortalidad en el primer verano post-incendio (julio-octubre 2006) fue significativamente más alta en S1 y S3 que en S2 (*fig. 6*). La presencia de una gruesa capa de hojarasca caída de los árboles soflamados en S2 y su ausencia en S3, junto a un apreciable grado de erosión, pueden explicar esas diferencias. La alta cifra en S1 sugiere que la falta relativa de luz puede influir adversamente en la supervivencia de las plántulas en verano.

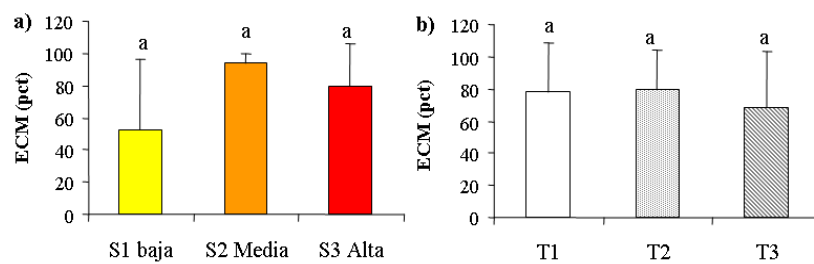


**Figura 6**— Efecto de la severidad en la mortalidad de las plántulas de *P. pinaster* durante el verano 2006. Letras diferentes indican valores significativamente distintos ( $p < 0,05$ ). Barras verticales, error estándar. S1 = severidad baja, S2 = severidad media, S3 = severidad alta.

La mortalidad de las plántulas tras la corta no se vio significativamente afectada por la severidad, oscilando entre el 15,0 por ciento en S2 y el 26,7 por ciento en S1.

En cuanto a la diversidad de las comunidades de hongos ECM, se catalogaron un total de 48 ejemplares de herbario pertenecientes a 21 géneros fúngicos diferentes. El 42 por ciento de los especímenes se clasificaron como potencialmente ECM, y el 58 por ciento restante como saprófitos. Estos resultados, representan una primera estimación de biodiversidad fúngica en las zonas no afectadas por el incendio y servirán como Testigo para futuras comparaciones con la diversidad de las zonas incendiadas.

La severidad no afectó significativamente los niveles de micorrización de las plántulas de *P. pinaster*, aunque en la parcela de baja severidad, se apreció un menor nivel de micorrización de las mismas (*fig. 7*). El factor tramo de pendiente no afectó significativamente a la variable nivel de micorrización de las plantas. En todos los casos, los porcentajes de micorrización del regenerado fueron altos: todas las plantas estaban micorrizadas con una media de 75 por ciento de ECM por planta.



**Figura 7**—Porcentajes de micorrización de las plantas en parcelas con distinto grado de severidad del incendio, a) S1 = severidad baja, S2 = severidad media y S3 = severidad alta, y b) a distintos niveles de pendiente T1, T2 y T3.

Se diferenciaron hasta ocho morfotipos diferentes de micorrizas en las plantas con un promedio de dos a tres tipos de hongos por planta. Estos resultados son aun preliminares y están siendo actualmente analizados para caracterizar la biodiversidad de hongos en las raíces mediante métodos moleculares.

## Conclusiones

Las conclusiones preliminares obtenidas de los resultados disponibles son las siguientes:

La densidad total inicial del regenerado de *P. pinaster* post-corta parece responder a características previas de la masa y a la variable severidad del fuego, más que al tratamiento. El espesor de la capa de hojarasca y mantillo remanente tras el incendio parece ser una variable influyente en la emergencia inicial del regenerado después de la corta.

En pinares viejos, en el arbolado sin cortar se contabilizó una mayor mortalidad y un menor desarrollo del regenerado. Ambos aspectos, supervivencia y desarrollo son mejores donde se han realizado las cortas y acordonado de restos antes de la primera primavera tras el incendio. Sin embargo, en pinares jóvenes no se detectaron tendencias suficientemente significativas en el plazo estudiado.

En cuanto a la respuesta del regenerado pre-corta, la severidad tuvo una influencia significativa en la densidad inicial del regenerado. El fuego de copas, produjo una reducción apreciable (62 por ciento) en relación al fuego que soflamó las copas y algo menor (41 por ciento) respecto al menos severo.

Como contraste, la severidad no pareció afectar significativamente a la altura media del regenerado ni a su crecimiento, si bien en el fuego de copas se redujo sensiblemente

La mortalidad durante el verano se vio afectada por los procesos erosivos en el sitio de fuego de copas, propiciados por la falta de protección del suelo. En la zona con soflamado de copa, la gruesa capa de hojarasca existente ayudó significativamente a la supervivencia del regenerado. Finalmente, la mortalidad en la masa con la copa no afectada por el fuego pareció verse influenciada por la relativa falta de luz, resultando comparable al sitio con fuego de copa.

En relación a las comunidades de hongos, parece que la severidad del incendio y la pendiente no afectaron significativamente a la presencia de ectomicorrizas en el regenerado y se observaron elevados porcentajes de micorrización en las plántulas de *P. pinaster*. Estos resultados preliminares, indican la existencia de un alto potencial de inóculo nativo en el suelo, con un gran número de propágulos. Probablemente, los focos de inóculo se han mantenido en forma de micelio en las raíces de los árboles muertos y/o en raíces vivas de otras plantas acompañantes, así como en forma de esporas procedentes de las zonas no quemadas.

## Agradecimientos

Este proyecto se está desarrollando con la financiación de TRAGSA y gracias al apoyo de la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, y de la Delegación Provincial de TRAGSA en Guadalajara.

## Referencias bibliográficas

- Alía, R.; Martín, S.; De Miguel, J.; Galera, R.M.; Agúndez, D.; Gordo, J.; Salvador, L.; Catalán, G.; Gil, L. 1996. **Regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Aiton**. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza; 75 p + planos.
- Gardes, M.; Bruns, T.D. 1993. **ITS primers with enhanced specificity for Basidiomycetes: application to identification of mycorrhizae and rusts**. Mol. Ecol. 2: 113–118.
- Key, C.H.; Benson, N. 2006. **Landscape assessment. Sampling and analysis methods**. USDA Forest Service. General Technical Report. RMRS-GTR-164-CD.
- Madrigal, J. 2005. **Regeneración natural de *Pinus pinaster* Ait. tras grandes incendios forestales: Factores influyentes**. Córdoba: Universidad de Córdoba, ETSIAM; 396 p. Disertación doctoral.
- Martínez, E.; Madrigal, J.; Hernando, C.; Guijarro, M.; Vega, J.A.; Pérez-Gorostiaga, P.; Fonturbel, M.; Cuiñas, P.; Alonso, M.; Beloso, M. 2002. **Effect of fire intensity on seed dispersal and early regeneration in a *Pinus pinaster* forest**. En: Viegas, D.X., editor. Proc. IV Int. Conf. Forest Fire Research & 2002 Wildland Fire Safety Summit; Millpress Science Publishers, Rotherdam, CD-ROM.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2006. **Los incendios forestales en España: decenio 1996-2005**. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza; 106 p.
- Ne'eman, G.; Lahav, H.; Izhaki, I. 1992. **Spatial pattern of seedling one year after fire in a Mediterranean pine forest**. Oecologia 91: 365-370.
- Pausas, J.G.; Ouadah, N.; Ferrán, A.; Gimeno, T.; Vallejo, R. 2003. **Fire severity and seedling establishment in *Pinus halepensis* woodlands, eastern Iberian Peninsula**. Plant Ecology 2: 205-213.
- Tapias, R.; Gil, L. 2000. **Adaptación reproductiva de las especies forestales ante el fuego**. En: Vélez, R. coordinador. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. Madrid: McGraw Hill; 4.36-4.66.