

Influencia de la corta a hecho y tratamiento de residuos en la supervivencia del regenerado natural post-incendio de *Pinus pinaster* Ait. en el monte “Egidos” Acebo (Cáceres, España)

Javier Madrigal¹, Carmen Hernando¹, Mercedes Guijarro¹, Carmen Díez¹ y José Antonio Gil²

Resumen

Con el objeto de analizar la influencia de distintas actuaciones post-incendio en la densidad y supervivencia del regenerado natural de *Pinus pinaster* Ait. se seleccionó un incendio que tuvo lugar en agosto de 2003, en Acebo (Cáceres, Extremadura, España). Dentro de esta superficie se eligió un área de estudio que vino determinada por la homogeneidad fisiográfica y de vegetación, y grado de afectación del arbolado por el fuego. En el otoño siguiente al incendio se replantearon tres parcelas contiguas de 40 m x 40 m en las que se efectuaron los siguientes tratamientos:

1. Corta a hecho y saca de la madera con trituración y esparcido de los residuos en la superficie de la parcela (tratamiento habitual en la zona): tratamiento R
2. Corta a hecho, saca de la madera y extracción de residuos: tratamiento SR
3. Mantenimiento del arbolado quemado en pie: tratamiento T

Previamente a la ejecución de los tratamientos se tomaron, en cada una de las parcelas los datos que caracterizaban la fisiografía, las condiciones del sitio, los signos de erosión, la severidad del fuego y las mediciones dasométricas del arbolado, con estimación del banco aéreo de semillas viables previo al incendio a partir de datos obtenidos en parcelas sin quemar. Algunas de estas variables fueron medidas de nuevo, una vez efectuados los tratamientos, para cuantificar el efecto de éstos. Dentro de cada parcela, se dispusieron sistemáticamente 20 subparcelas de 4 m x 5 m para realizar las mediciones periódicas (octubre de 2003 antes y después del tratamiento; mayo y noviembre de 2004; mayo y noviembre de 2005) de la densidad del regenerado de *P. pinaster*, identificando y etiquetando un total de 3.369 individuos, contabilizando su supervivencia y midiendo su altura a lo largo del tiempo de estudio.

Se realizó un análisis de regresión logística y se elaboraron modelos de supervivencia mediante tablas de vida para comprobar la influencia de los tratamientos en la supervivencia de los brinzales en las distintas fechas de muestreo. Dos años tras el incendio, las densidades (media \pm error estándar) eran de 19.458 \pm 2.551 pies/ha (SR), 31.730 \pm 3.125 pies/ha (T) y 48.136 \pm 3.896 pies/ha (R), lo que supuso una tasa de supervivencia acumulada del 78 por ciento, 71,5 por ciento y 69 por ciento respectivamente. Se han obtenido modelos que describen el proceso, mostrando diferencias significativas en la probabilidad de supervivencia a lo largo del período de estudio ($\chi^2=143,91$, $p=0,0000$) entre tratamientos. Los resultados obtenidos pueden ayudar a la gestión adecuada de estas masas de *P. pinaster* afectadas por incendios forestales.

¹ Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Centro de Investigación Forestal, carretera de La Coruña km 7, 28040 Madrid. España. incendio@inia.es

² Junta de Extremadura. Servicio Forestal de Caza y Pesca, Arroyo Valhondo, 2, 10080 Cáceres. España. joseantonio.gil@aym.juntaex.es

Introducción

En la Comunidad Autónoma de Extremadura, el verano de 2003 fue especialmente crítico en cuanto al número de incendios forestales y superficie afectada por los mismos se refiere. De acuerdo con los datos de la Dirección General para la Biodiversidad (Ministerio de Medio Ambiente 2004), se produjeron 1.307 siniestros que afectaron a 43.580 ha de las que 18.755 eran arboladas. A escala nacional, durante 2003, la especie que se vio más afectada fue *Pinus pinaster* Ait. con más de 15.000 ha quemadas (9.675 ha en la provincia de Cáceres) lo que supone casi un 29 por ciento de la superficie arbolada total quemada. Pero ese no fue un año excepcional para *P. pinaster*. En España, alrededor de 680.000 ha de esta especie han ardido desde 1968 a 1995 y en el quinquenio 1996-2000 fue la especie más afectada (Ministerio de Medio Ambiente 2002). La gran variabilidad de hábitats y situaciones post-incendio que se presentan impide establecer pautas generales de actuación, por lo que los gestores suelen aducir falta de información para estimar las probabilidades de éxito de la regeneración natural después del incendio (Vega y otros 2005), lo que dificulta la planificación de las tareas de restauración de las áreas quemadas. La realidad es que, con frecuencia, se presentan dos situaciones antagónicas: o bien la regeneración es escasa e insuficiente para conseguir una masa forestal, siendo necesaria una siembra o plantación, o bien es excesiva, siendo necesarios tratamientos selvícolas para dosificar la competencia.

A lo anterior hay que añadir la gran preocupación actual por asegurar la sostenibilidad de las prácticas de gestión selvícola. Desde esa perspectiva se necesita, entre otros aspectos, una mayor información sobre el efecto potencial de la corta a hecho post-incendio en el regenerado y el posible impacto de su interacción con el incendio sobre la erosión del suelo. En ese mismo contexto se precisa cuantificar los efectos de prácticas conservativas de los residuos forestales de la corta que tiendan a minimizar los efectos no deseados de los fuegos, y de la tala y saca de la madera quemada. Además, una de las mayores dificultades para planificar estrategias de actuación y elaborar proyectos de restauración, es conocer cuáles son los terrenos cuya respuesta eficaz se puede dejar en manos de la naturaleza, al menos los primeros años, y cuáles son aquellos en los que hay que intervenir con siembras o reforestaciones. En una segunda fase, y tras lograr los objetivos prioritarios en cuanto a evitar pérdidas de suelo, se debe intervenir con ayudas a la regeneración para ir formando la masa de porvenir. Para ello, el gestor necesita una información de partida, que le permita una adecuada planificación espacio-temporal, asegurando con mayor eficacia el futuro del monte. Teniendo en cuenta la necesidad de actuar con urgencia para paliar los primeros efectos erosivos, es de gran importancia contar con conocimientos adecuados del comportamiento y las respuestas de la regeneración natural, según las diferentes actuaciones tras el incendio.

El objetivo de la presente comunicación es evaluar la influencia de la corta a hecho y el tratamiento de los residuos en la densidad y supervivencia de la regeneración natural de *P. pinaster* durante los dos primeros años posteriores al incendio.

Material y métodos

Área de estudio

El 15 de agosto de 2003 tuvo lugar un gran incendio que arrasó unas 2.463 has, afectando a unas 400 ha del monte “Egidos” de Acebo (Cáceres, Extremadura,

España) (fig. 1) en sus parajes “Monte Chico” y “La Nava”, en las cuales se quemaron unas 200 has de pinar adulto de *P. pinaster*. La masa se encontraba en diferentes estados, ya que algunas de estas zonas procedían de anteriores incendios.

A finales del verano de 2003, se seleccionó un área de estudio que vino determinada por la homogeneidad fisiográfica, de la vegetación y de condiciones del sitio, facilidad de acceso y suficiente distancia a la masa no afectada (>300 m) para eliminar el efecto de diseminación desde áreas sin quemar. Por tanto, para el replanteo de las parcelas se eligió una ladera sin variaciones significativas en cuanto a pendiente y orientación, estructura y composición de la masa arbórea y grado de severidad del fuego.

La región de procedencia de Sierra de Gata-Hurdes, a la que pertenece la masa incendiada, vegeta sobre un fitoclima nemoromediterráneo genuino con abundante precipitación anual en comparación con otras áreas del Sistema Central (1.500 mm), y con sequía estival moderada, presentando déficit hídrico sólo los meses de julio y agosto. Estas masas se asientan sobre materiales paleozoicos con facies de pizarras, geología predominante en la zona de estudio (Alía y otros 1996). La masa adulta previa al incendio pertenecía a una regeneración de un incendio anterior y contaba con una edad comprendida entre 25 y 30 años. La mayoría de los ejemplares presentan entre tres y ocho cosechas acumuladas en las ramas, con gran cantidad de piñas serótinas que se abrieron gracias a las altas temperaturas desarrolladas durante el incendio. El sotobosque está dominado por *Halimium* sp., *Cistus* sp. y *Chamaespartium tridentatum*.

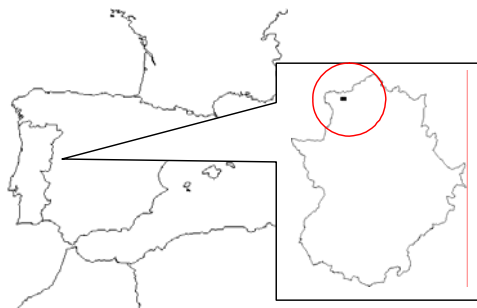


Figura 1—Localización del área de estudio

Dispositivo experimental

En el área seleccionada fueron replanteadas tres parcelas contiguas de 40 m x 40 m en las que se efectuaron, dos meses después del incendio, los siguientes tratamientos (fig. 2):

1. Corta a hecho y saca de madera con trituración y esparcido de los residuos en la superficie de la parcela (R). La corta se realizó con motosierra, con desrame, descope y tronzado *in situ*. Las trozas se apilaron manualmente para su arrastre a cargadero. Los restos se trituraron mediante dos pasadas de tractor provisto de trituradora de martillos. El resultado final fue una distribución homogénea de los restos triturados en la superficie de la parcela.

2. Corta a hecho y saca del arbolado quemado (SR). En este caso tras la corta, los restos se extrajeron de la parcela.

3. Mantenimiento del arbolado quemado en pie (Testigo, T). Durante los dos años de seguimiento no se ha llevado a cabo ningún tipo de intervención en el arbolado presente. A lo largo del estudio los árboles quemados fueron cayendo sobre la superficie de la parcela como consecuencia de su proceso natural de pudrición.

Dentro de cada parcela, se dispusieron sistemáticamente 20 subparcelas de 4 m x 5 m, por tanto la intensidad de muestreo fue del 25 por ciento en superficie.

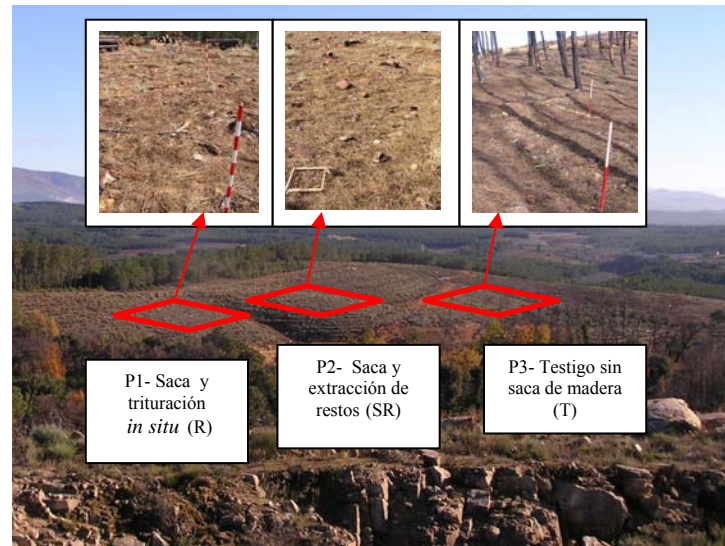


Figura 2— Dispositivo experimental mostrando la situación de las parcelas y una foto de detalle de cada uno de los tratamientos: Saca de madera y trituración de restos *in situ* (R), Saca de madera y extracción de restos (SR), Testigo (T).

Mediciones previas a la ejecución de los tratamientos

El objetivo de estas mediciones fue ratificar la homogeneidad de las características de las tres parcelas seleccionadas y evaluar algunas variables que se pudieran ver afectadas por la saca de madera respecto a la parcela testigo:

- Características del sitio relacionadas con la fisiografía (altitud, pendiente, orientación); profundidad de suelo y pedregosidad; espesor, cobertura y carga de materia seca de hojarasca y mantillo (capas L y F+H); signos de erosión mediante estimaciones visuales (0=sin erosión, 1=arrastres, 2=sedimentación, 3=grietas y cárcavas)

- Mediciones dasométricas del arbolado: se realizó un conteo del arbolado pie a pie, seleccionando una muestra de los 40 árboles más cercanos al centro de cada parcela a los que se midió: los diámetros de la base del tronco, dbh y de la copa, altura total, así como la diferente afectación del tronco y ramas por el fuego a través de la altura de chamuscado de tronco, altura de chamuscado de copas, altura de soflamado de copas y en su caso altura de copa sin afectar

- Banco aéreo: se realizó un conteo de las piñas en las copas y en el suelo. Estas mediciones se ratificaron en una parcela exterior, no afectada por el incendio, para estimar el número total de piñas por hectárea. En esta parcela exterior se extrajo una muestra de 30 piñas pertenecientes a 5 árboles que presentaban las características promedio de la masa. A través de esta muestra se ha evaluado el carácter serótino y el

banco aéreo viable previo al incendio mediante ensayos de germinación (normas ISTA) y viabilidad (doble tinción con tetrazolio e indigocarmín)

- Densidad de regenerado: se estimó la densidad de plántulas, antes del tratamiento contabilizándolas pie a pie en las 20 subparcelas

- Análisis de suelo y mantillo remanente: se realizó un análisis de la textura, pH, M.O. y N total (método Kjeldahl).

El análisis de los datos obtenidos, en las tres parcelas, muestra la gran homogeneidad de los parámetros fisiográficos, edáficos y características de la masa previa al incendio (*tabla 1*).

Tabla 1— Características generales promedio de las parcelas del dispositivo experimental.

Características generales de las parcelas					
Altitud (m) (n=3)	Pendiente (p.c.t.)(n=3)	Orientación (n=3)	Prof. de suelo (cm) (n=36)	Pedregosidad (p.c.t.) (n=60)	
468	7,5	200° (SO)	50	35	
Erosión (n=60)	Espesor L (cm) (n=60)	Espesor F+H (cm) (n=60)	Carga L (kg/m ²) (n=12)	Carga F+H (kg/m ²) (n=12)	
l= arrastres	0,88	3,23	0,30	2,09	
Características del lecho de germinación (suelo mineral y mantillo) (n=12)					
p.c.t. Arena	p.c.t. Limo	p.c.t. Arcilla	M.O. (g/kg)	pH	N total (g/kg)
47,8	36,4	15,8	13,76	5,4	0,61
Características de la masa adulta (n=120)					
Densidad (pies/ha)	Altura (m)	Dbh (cm)	Nº piñas/pie	Altura chamuscado (m)	Altura sofamado (m)
494	12,87	21,88	19	5,01	11,3
Características del banco aéreo					
Cosecha (piñas/ha) (n=3)	Piñones por piña (n=30)	p.c.t. Germinación (n=4)	p.c.t. Viabilidad (n=4)	Banco aéreo (piñones/ha) (n=3)	Banco aéreo viable (piñones/ha) (n=3)
9.386	123	66,5	94,5	1.154.478	1.088.856

Los datos del arbolado muestran la presencia de una masa adulta con fracción de cabida cubierta del 100 por cien a densidades de 500 pies/ha. El efecto del fuego generó alturas de chamuscado de tronco y copas de 5 m y el sofamado de la práctica totalidad de la copa, lo que ha generado una abundante capa de hojarasca que cubrió el suelo. El número promedio de piñas por pie era cercano a 19, por tanto el banco aéreo presentó un promedio de 9.386 piñas/ha. Los ensayos de germinación muestran un porcentaje de germinación en cámara bajo, del 66,5±1,2 por ciento, no obstante el

ensayo de doble tinción mostraría unas semillas altamente viables ($94,5 \pm 1,5$ por ciento) lo que configura un banco aéreo de más de un millón de piñones/ha.

Mediciones inmediatamente posteriores a los tratamientos

Algunas de las variables como el espesor, cobertura y carga de hojarasca y mantillo y los signos de erosión, fueron medidas de nuevo una vez efectuados los tratamientos para cuantificar el efecto de los mismos. En el caso de la parcela de trituración de restos *in situ* (R) se realizó una estimación de la cobertura y espesor de los restos después del tratamiento, en cada una de las 20 subparcelas, y de la carga de materia seca en 4 cuadrantes de 50 cm x 50 cm tomados en 4 subparcelas pertenecientes a una de las diagonales de la parcela de 40 m x 40 m.

Mediciones periódicas en las subparcelas

A lo largo del estudio se realizaron mediciones semestralmente: octubre de 2003 (antes y después de la ejecución de los tratamientos), mayo y noviembre de 2004, y mayo y noviembre de 2005. El seguimiento de los pinos etiquetados en cada una de las subparcelas de los tres tratamientos ($n=3.639$) permitió evaluar la germinación, mortalidad y supervivencia de *P. pinaster*, durante los dos años posteriores al tratamiento (2003-2005). Para ello se llevaron a cabo los conteos, etiquetado y mediciones de las plántulas de *P. pinaster*, así como de la altura y cobertura de la vegetación competidora.

Análisis estadístico

Descripción de variables

Para realizar un análisis de los factores que caracterizan el sitio, el tipo de tratamiento y la evolución del regenerado, así como para controlar la variabilidad de dichos factores entre parcelas se realizó un ANOVA. El factor fijo fue el tratamiento post-incendio con tres niveles (R, SR, T). El número de repeticiones por nivel fue el correspondiente a las 20 subparcelas de muestreo en cada una de las parcelas de 40 m x 40 m ($n=60$).

Análisis de supervivencia

Para analizar la supervivencia de los pinos etiquetados se utilizaron dos enfoques diferentes:

1) **Análisis de regresión logística.** Se establecieron modelos para la mortalidad-supervivencia de las plántulas etiquetadas en cada fecha de medición, utilizando la regresión logística definida por la expresión:

$$p = 1 / (1 + e^{-(a + \sum b_i x_i)})$$

Donde “p” es la probabilidad de que un evento (variable dependiente) ocurra. En este caso expresaría la probabilidad de supervivencia ($p=1$) o muerte ($p=0$) del regenerado de *P. pinaster*; “a” es una constante del modelo no lineal y “ b_i ” el coeficiente estimado para cada variable independiente x_i . Las variables independientes seleccionadas fueron el tratamiento, considerándolo como tres variables ficticias categorizadas (R, SR, T), y la altura de las plántulas (H en cm) de las mediciones precedentes. El estadístico χ^2 determina la significación de las variables y el estadístico LL permite estimar los coeficientes b_i mediante el método de máxima verosimilitud de forma iterativa.

2) **Modelos de supervivencia mediante la obtención de tablas de vida con el procedimiento de Kaplan-Meier.** Este enfoque permite comprobar la influencia de

los tratamientos en la supervivencia de los brinzales a largo de todo el período de estudio (2003-2005), independientemente de su fecha de germinación. La función de supervivencia $S(t)$ mide la probabilidad de que una planta perteneciente a cada uno de los tratamientos sobreviva hasta un instante de tiempo t_i y viene dada por la expresión:

$$S(t_i) = n - i / n$$

Siendo: $n-i$ =número de plantas que sobreviven a un instante t_i y n = número total de plantas que componen la muestra

Las funciones $S(t)$ se han ajustado a una distribución exponencial negativa ($f(t) = a e^{-\lambda t}$), siendo “ a ” y “ λ ” constantes del modelo y “ t ” el tiempo desde la germinación a la muerte de la plántula. El estadístico χ^2 determina la significación de la diferencia entre las distintas funciones $S(t)$ y por tanto las diferencias en la probabilidad de supervivencia entre tratamientos.

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico STATISTICA ® y la hoja de cálculo EXCEL ® para la presentación de resultados.

Resultados y discusión

El efecto de la saca redujo las cargas de la capa LFH (suma de las capas L y F+H) como consecuencia de los arrastres respecto a la parcela testigo, aunque no significativamente, debido a que los árboles aportaron acícula adicional durante las operaciones de corta, tronzado, apilado y saca. De igual forma no se observó alteración significativa del suelo como consecuencia de las rodadas de la maquinaria, observándose sólo en algunas calles grietas dispersas producidas por los arrastres de las pilas de madera. Las pasadas del tractor provocaron compactación de la capa LFH bajo los restos de corta de la parcela R, que se encontraba mezclada con el suelo mineral y los restos de ceniza.

Esta alteración no se apreció en la parcela SR que mantuvo básicamente la estructura de la capa LFH anterior a la saca. No obstante, la evaluación cualitativa del grado de erosión, a nivel de subparcela, no ofreció diferencias antes y después de la saca, ratificándose un grado de erosión bajo, con arrastres de mantillo y materia orgánica, pero sin pérdida de suelo mineral apreciable, ni sedimentación o acumulaciones en obstáculos. En el caso de la parcela R la pérdida de hojarasca y mantillo se vio compensada también por los restos triturados que ocuparon como promedio el 85 ± 11 por ciento (media \pm error estándar) en superficie, con una altura media, sobre el suelo mineral, de $10,5 \pm 3,5$ cm. Los restos se caracterizaron por la presencia de trozos dispersos de tamaño grueso, mayores de 6 cm de diámetro, y una carga de materia seca correspondiente a restos menores de 6 cm de diámetro de $1,37 \pm 0,3$ kg/m².

Evolución de la densidad y altura de las plantas

Como se puede ver en la *fig.* 3a, la evolución de la densidad, como consecuencia del balance germinación-mortalidad, a lo largo del estudio es claramente positiva para los tres tratamientos, aunque la dinámica de la emergencia fue diferente. La alta viabilidad de las semillas genera sucesivas cohortes que se han ido incorporando en las épocas más favorables para la germinación (primavera y otoño).

En la parcela testigo (T) sobrevivieron al invierno de 2004 gran número de las plántulas germinadas en otoño de 2003. Sin embargo, en los tratamientos R y SR, el efecto de la saca provocó la mortalidad de la gran mayoría. En el tratamiento SR (sin

restos de corta) se produjo una abundante germinación tras la saca que continuó en primavera de 2004 y en menor medida en 2005. En cambio, en el tratamiento R (con restos de corta) la germinación después de la saca fue muy baja hasta el otoño de 2004 y, fundamentalmente, la primavera de 2005, en la que germinaron gran cantidad de semillas de las piñas que estaban mezcladas con los restos de corta. Esto ha provocado una distribución en agregados, sobre todo de la cohorte correspondiente a mayo de 2005, en relación con los tratamientos SR y T que presentaban una distribución al azar, consecuencia de la diseminación inmediata posterior al incendio. Según los datos obtenidos para el banco aéreo estimado y el análisis del potencial germinativo de los piñones se pudo comprobar que la emergencia acumulada en campo supone un $2,77 \pm 1,1$ por ciento (tratamiento SR), $5,01 \pm 1,3$ por ciento (tratamiento T) y un $7,06 \pm 0,9$ por ciento (tratamiento R) del total teórico de piñones del banco aéreo viable (*fig. 3b*). Las densidades finales obtenidas fueron de 19.458 ± 2.551 pies/ha (SR), 31.730 ± 3.125 pies/ha (T) y 48.136 ± 3.896 pies/ha (R).

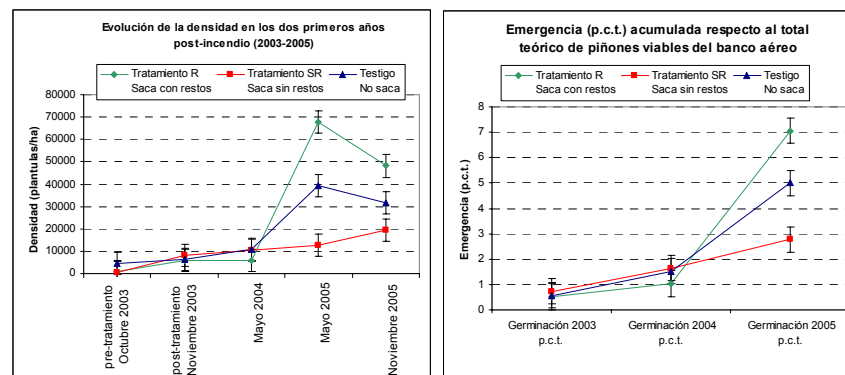


Figura 3— ANOVA de medidas repetidas para a) la densidad media estimada en diferentes fechas de medición para cada uno de los tratamientos y b) porcentaje de germinación respecto a la cosecha estimada de piñones viables anterior al incendio. Se muestran intervalos LSD al 95 p.c.t. de significación ($n=60$).

La acumulación de restos de más de 10 cm de profundidad media en la parcela R, junto con la compactación de la capa LFH pudo afectar a la germinación temprana de los piñones que quedaron bajo la cubierta de restos, aunque protegidos de la pérdida de humedad durante el verano de 2004. La alta viabilidad de los mismos permitió la germinación posterior alcanzando finalmente una densidad de plantas significativamente superior a las parcelas SR y T. La parcela SR no presentó un aumento de emergencia tan significativo durante la primavera de 2005, probablemente por la menor protección de los piñones. En otoño de 2004 empezaron a caer por pudrición los árboles de la parcela T, pero la mayoría lo hicieron durante el verano y otoño de 2005, desprotegiendo el lecho de germinación y aplastando una parte importante de los pinos supervivientes. No obstante, esta mortalidad fue compensada por la elevada germinación producida en mayo de 2005, con lo que la densidad final resultó intermedia entre el tratamiento R y SR.

La germinación tardía del tratamiento R ha generado plantas de menor altura (*fig. 4a*). Las diferentes cohortes generan una distribución de frecuencias de la altura sesgadas a la izquierda (*fig. 4b*) debido fundamentalmente a la fuerte incorporación de plantas en primavera de 2005 con una altura entre 5 y 10 cm, tanto más cuanto más emergencia hubo en esa fecha ($R>T>SR$). En las funciones de densidad de los tratamientos SR y T, con una emergencia más distribuida a lo largo del período de

estudio, se aprecia la tendencia hacia una distribución multimodal con máximos relativos que coinciden con las sucesivas cohortes. Se observó una tendencia a mejores crecimientos de los pies supervivientes de los tratamientos SR y R respecto al testigo T, probablemente por la mejor iluminación, y por la presencia de ramas y troncos caídos que dificultan el crecimiento de los pies supervivientes en la parcela T.

Se analizó el efecto de la influencia del matorral sobre los crecimientos con diversos índices de competencia (resultados no incluidos en esta comunicación). Las coberturas y desarrollo de la vegetación acompañante fueron similares en todas las parcelas, por lo que se puede asumir que las diferencias en las alturas observadas, hasta 2005, se deben en su mayor parte al efecto del tratamiento.

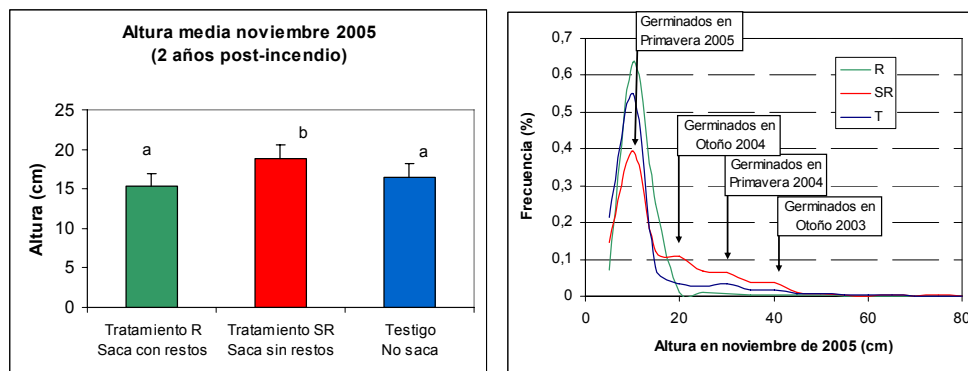
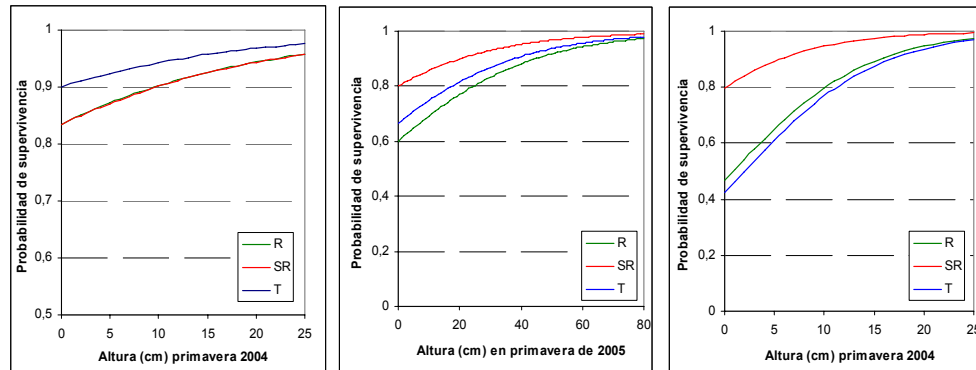


Figura 4— a) ANOVA para la altura media de las plantas y b) Funciones de densidad de la distribución de frecuencias de la altura de las plantas, al final del período de estudio (noviembre de 2005). Tratamiento R (saca y trituración de restos), SR (saca y extracción de restos), T (testigo). Letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos al 95 p.c.t. de significación (n=60).

Mortalidad y supervivencia de las plantas

El tratamiento R acumula el 31 por ciento de mortalidad a lo largo del experimento (2003-2005), fundamentalmente concentrada en el verano de 2005. En cambio la mortalidad acumulada del tratamiento SR fue del 22 por ciento y la del T del 28,5 por ciento, siendo más abundante durante los veranos de 2004 y 2005. Se obtuvieron modelos logísticos de supervivencia que describen este proceso para cada fecha de medición (*fig. 5*). En general, los modelos presentaron ajustes bajos, debido fundamentalmente a la elevada tasa de supervivencia en todos los tratamientos y a la continua incorporación de brinzales. Tras el primer verano post-incendio (2004) se observó una probabilidad de supervivencia significativamente mayor en el tratamiento T, probablemente por la protección del arbolado quemado en pie, respecto a la exposición total de la ladera en los tratamientos de saca (*fig. 5*, modelo 1). En el segundo verano post-incendio (2005) hubo una fuerte mortalidad de los pinos germinados en la primavera o aquellos que por diversas circunstancias tenían poca altura, lo que provocó una probabilidad de supervivencia entre 60 y 80 por ciento para las plantas menores de 20 cm. En cambio, el regenerado perteneciente a anteriores cohortes, con más de 20 cm, presentó probabilidades superiores al 90 por ciento, en la parcela SR y cercanos al 80 por ciento en las R y T (*fig. 5*, modelo 2). A la vista de estos resultados se ajustó un modelo para la supervivencia acumulada, hasta otoño de 2005, de los pinos germinados entre el otoño de 2003 y la primavera de 2004 (*fig. 5*, modelo 3).

Sesión 8—Influencia de la corta post-incendio en el regenerado de *Pinus pinaster*—Madrigal, Hernando, Guijarro, Díez y Gil



Modelo logístico	α	Capacidad de predicción (%Correcto)	Punto de corte	χ^2	Ajuste
MODELO 1					$p=0,2447$
Probabilidad de supervivencia (noviembre 2004)	$\alpha = 2,20$	64	0,9	2,57	$n=513$
P=1 (sobrevive)	$+0,06 H_{2004}$				MSE= 0,006
P=0 (muere)	$-0,59 T=R^*$ $-0,59 T=SR^*$				MAE= 0,16
MODELO 2					$p=0,000$
Probabilidad de supervivencia (noviembre 2005)	$\alpha = 0,69$	61,5	0,7	57,50	$n=3171$
P=1 (sobrevive)	$+0,04 H_{2005}^{**}$				MSE= 0,03
P=0 (muere)	$-0,28 T=R^{**}$ $+0,70 T=SR^{**}$				MAE= 0,39
MODELO 3					$p=0,000$
Probabilidad de supervivencia (noviembre 2005)	$\alpha = -0,30$	69	0,8	32,68	$n=470$
(Para plantas de la primera cohorte 2003-2004)	$+0,15 H_{2004}^{**}$				MSE= 0,02
P=1 (sobrevive)	$+0,17 T=R^{**}$ $+1,67 T=SR^{**}$				MAE= 0,32
P=0 (muere)					

Figura 5— Representación gráfica, coeficientes y parámetros de ajuste de los modelos propuestos para la probabilidad de supervivencia tras el verano de 2004 (un año tras el incendio) y 2005 (dos años tras el incendio). El modelo logístico es del tipo $P = 1/(1+e^{-\alpha})$. Se muestran las variables seleccionadas con sus correspondientes coeficientes estimados y su significación al 95 p.c.t.* y 99 p.c.t.**. Se muestran el porcentaje de casos clasificados correctamente (%Correcto) correspondiente al número óptimo de falsas alarmas (punto de corte), el parámetro de bondad de ajuste (χ^2) y errores (MSE, MAE) de cada modelo. (H_2004= altura de planta en mayo de 2004; H_2005=altura de planta en mayo de 2005; T=tratamiento).

La altura medida en primavera de 2004 predice la probabilidad de supervivencia 2 años después del incendio, siendo esta supervivencia más probable en las parcelas en las que se efectuó la saca respecto al tratamiento T, aunque claramente significativa para el tratamiento SR respecto a R y T. Por tanto, las plantas germinadas inmediatamente después del incendio y la siguiente primavera tienen más probabilidad de sobrevivir cuanto mayor sea su altura inicial y tanto más en las parcelas de saca. El mayor coeficiente estimado para el tratamiento SR mostraría mayor probabilidad de supervivencia (mayor del 80 por ciento) respecto al tratamiento R (mayor del 80 por ciento sólo para los pies dominantes con más de 10

cm de altura en 2004). Con todo, y como se comprobó en el balance de la *fig. 3*, la densidad final en noviembre de 2005 en el tratamiento R terminó siendo mayor debido a la abundante germinación a lo largo del año 2005.

Los modelos de supervivencia obtenidos mediante tablas de vida muestran diferencias significativas entre tratamientos ($\chi^2=143,91$, $p=0,0000$) y ofrece como resultado las curvas de probabilidad de supervivencia a lo largo de los dos años de estudio (*fig. 6*).

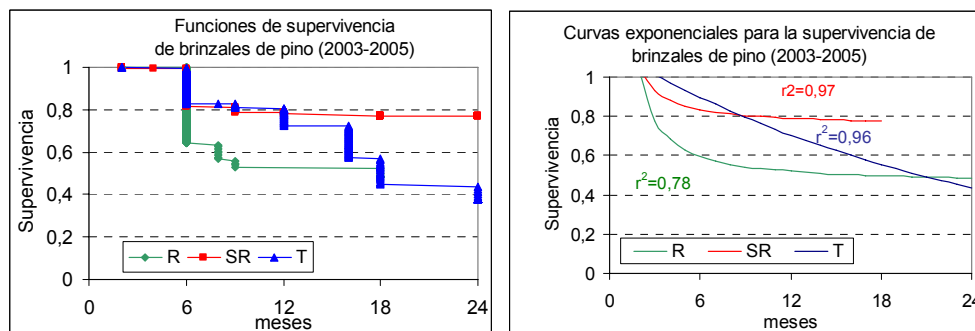


Figura 6— a) Curvas obtenidas mediante el procedimiento de Kaplan-Meier para cada tratamiento con diferencias significativas al 99 p.c.t. y b) Ajuste de las curvas a funciones exponenciales. Las curvas y su ajuste a funciones exponenciales $f(t)=a e^{-\lambda t}$ expresan la probabilidad de que un determinado pino perteneciente a cada tratamiento alcance una determinada edad, expresada en meses, a lo largo del experimento: 24 meses (R= saca de madera con trituración de restos de corta; SR= saca de madera con extracción de restos de corta; T= sin saca de madera).

La mediana del tiempo de supervivencia (tiempo de supervivencia para el 50% de la muestra) de los pinos del tratamiento R es de $6,29 \pm 2,26$ meses, los del tratamiento SR de $10,30 \pm 5,43$ meses y los del T de $9,21 \pm 4,97$ meses. En el tratamiento R disminuye rápidamente hasta los 6 meses de edad, de manera que la probabilidad de encontrar un pino de 18-24 meses es del 50 por ciento, en cambio en el tratamiento SR es del 80 por ciento. El ajuste de las curvas de supervivencia acumulada a una curva exponencial ofrece una descripción del proceso ocurrido tras el incendio, mostrando que, en los tratamientos de saca la mortalidad se acumula significativamente en el primer verano tras la germinación de las correspondientes cohortes (verano de 2004 para SR y verano de 2005 para R). Sin embargo, la probabilidad de supervivencia en el tratamiento T no se ve significativamente alterada por la sequía estival o por la incorporación de las cohortes sucesivas, sino que va disminuyendo por la mortalidad producida por la caída de árboles.

Conclusiones

El estudio realizado ha permitido confirmar la elevada regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* en la zona de estudio (región de procedencia Sierra de Gata-Hurdes), que aunque a medio plazo podría resultar excesiva, constituye a corto plazo una importante ayuda para paliar los graves efectos causados por los arrastres de tierras. Por lo tanto se constata, experimentalmente, la abundante regeneración natural del pino para cuantificar futuras actuaciones, consiguiendo además en breve tiempo una cubierta arbórea difícil y muy costosa de obtener por otros medios.

Las diferentes técnicas de gestión tras incendio aplicadas, han puesto de manifiesto que la trituración de restos realizada antes de una gran germinación

origina una respuesta muy eficaz del repoblado. Por lo tanto una vez que el nuevo “bosque” se ha instalado, cualquier otro trabajo a realizar con posterioridad, siempre será de carácter secundario y, sobre todo, se podrá abordar sin urgencia.

La extracción de restos permite obtener una distribución al azar del regenerado con mayor cantidad de pies de las diferentes cohortes. Sin embargo, al retirar los restos, se priva al terreno de un aporte de materia orgánica que podría ser útil para el posterior desarrollo de la masa.

La ausencia de intervención no ha supuesto ninguna ventaja en cuanto al regenerado, ya que aunque se obtuvo mayor densidad que en el tratamiento de extracción de restos, los pies germinados presentan una menor altura y peor morfología. Además el futuro de la masa a corto plazo continuará con la “asignatura” pendiente de extraer los restos acumulados de forma caprichosa, ya que su saca es lesiva para el arbolado y si se dejan hasta su descomposición la masa nueva excederá la edad para la adecuada dosificación de la competencia.

Los datos obtenidos evidencian lo que, en cierto modo, se atribuía a esta especie en la zona de estudio, es decir, una capacidad de respuesta muy buena ante el fuego, lo cual supone minimizar de forma ostensible el esfuerzo económico y humano posterior al incendio. Sin duda alguna, estos resultados no obvian la aplicación de la selvicultura como una ciencia forestal en manos de los gestores, al servicio de la sociedad, y aplicando en cada caso las soluciones más idóneas.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y cofinanciado con fondos FEDER, a través del proyecto RTA03-205-C2-1, dentro de la acción “Recursos y Tecnologías Agrarias” del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica. Dicho proyecto ha sido llevado a cabo de manera coordinada entre el Departamento de Protección Forestal del CIFOR-INIA (Ministerio de Educación y Ciencia) y el Departamento de Protección Ambiental del CIIA-Lourizán (Xunta de Galicia).

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 *Pinus pinaster* Aiton**. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza., 75 p + planos.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2002. **Los incendios forestales**. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2004. **Los incendios forestales en España durante el año 2003**. Madrid: Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- Vega, J.A.; Hernando, C.; Madrigal, J.; Pérez-Gorostiaga, P.; Guijarro, M; Fonturbel, T.; Cuiñas, P.; Martínez, E.; Fernández, C. 2005. **Regeneración de *Pinus pinaster* Ait. tras incendios forestales y medidas selvícolas para favorecerla**. En: Sociedad Española de Ciencias Forestales, editor. Actas: IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 25-28 de septiembre de 2005. Mesa temática 6.