

EFFECTO DEL TRATAMIENTO DE LA SEMILLA Y DE LAS TÉCNICAS DE SIEMBRA EN LA GERMINACIÓN DE *PINUS HALEPENSIS* MILL.

R. M. NAVARRO¹, G. GAUTIER², E. DECKLER¹, C. GÁLVEZ³
Y J. R. GUZMÁN¹

RESUMEN

El éxito temprano de las repoblaciones por siembra después de un incendio depende de varios factores: la evolución de las condiciones climáticas, las condiciones edáficas y la predación. El objetivo de este trabajo, es estudiar el efecto de las técnicas de siembra y el precondicionamiento en la germinación y la supervivencia inicial de semillas de *Pinus halepensis* Mill. inmediatamente después de un incendio.

Al final del ensayo la siembra superficial con semillas peletizadas es el método que consigue el mayor porcentaje de germinación (13,7-9,7%, según parcela). El método de siembra en casilla con semilla desnuda es el que alcanzó los porcentajes más bajos de germinación. La germinación en condiciones controladas alcanzó el mayor porcentaje de germinación para las semillas peletizadas en superficie (77%), seguidas por las semillas peletizadas enterradas a una profundidad de 2,5 centímetros (36%).

Los resultados de este trabajo muestran que las semillas peletizadas son más eficaces que las semillas sin recubrimiento en las siembras postincendio. El coste de las repoblaciones forestales efectuado con semillas desnudas, oscilaría entre 45,8 y 79,2 euros por hectárea, y con semillas peletizadas, supondría un coste de 12 a 17 veces superior. La siembra de semilla peletizadas de pinos carrasco representa un método de repoblación forestal eficaz pero de discutible viabilidad económica. Sin embargo, las prácticas habituales de siembra directa, pueden tener una eficacia cuestionable por la fuerte predación, así como la dificultad de realizar preparaciones sencillas del suelo, lo que puede hacer difícil la germinación. La peletización puede reducir notablemente las labores de siembra asegurando una germinación más adecuada, y simplificando la siembra por medios aéreos.

Palabras clave: Siembra directa, *Pinus halepensis*, peletizado, restauración posincendio.

SUMMARY

Direct seedling of *Pinus halepensis* Mill. is a regeneration method of increasing popularity due to its comparatively low cost and potential for inaccessible areas. There is, however, a concern that seed

¹ Departamento de Ingeniería Forestal. Facultad de Agronomía y Montes. Universidad de Córdoba. Avda Menéndez Pidal, s/n. 14080 Córdoba. España. e-mail: irlnacer@uco.es

² FIF-ENGREF

³ Semillas Silvestres, SL. C/Aulaga, 24-14012-Córdoba

Recibido: 12/05/2004.

Aceptado: 31/08/2004.

survival and losses to predators may jeopardise some seeding operations and means of reducing losses are therefore sought. In a study in southern Spain, we studied the effect of seed precondition and sown treatments. More seeds, 13.7-9.7% compared to 6.2-3.6% get to survive when being protected into a pel. At the end of the first growing season, the best sown treatment was uncovered pel-seeds compared of the bare seeds. A complementary laboratory experiment showed the same tendency. We conclude that pel-seeds increased germination and survival, but it may be not a cost-effective way to posfire restoration.

Key words: Direct seeding, *Pinus halepensis*, pel, posfire restoration.

INTRODUCCIÓN

El pino carrasco representa una de las especies de pino con mayor valor ambiental en el este de la Cuenca Mediterránea, estando sometido en toda su área de distribución a incendios forestales periódicos (KAZANIS & ARIANOUTSOU, 1996; BARBERO *et al.*, 1998). La estrategia natural de reproducción posincendio se basa en la creación de un banco de semillas aéreo en piñas serótinas (AGEE, 1998), que permanecen cerradas hasta que se ven expuestas a altas temperaturas (NE'EMAN *et al.*, 1992; ESCUDERO *et al.*, 1999; NUÑEZ & CALVO, 2000; TAPIAS *et al.*, 2001).

Uno de los principales objetivos de la Administración Forestal es la restauración de ecosistemas afectados por incendios, para lo cual es fundamental evaluar la regeneración natural y el banco de semillas residual tras el paso del fuego. Sin embargo, no siempre es posible asegurar una regeneración adecuada por estos medios, por lo que es necesario recurrir al establecimiento artificial mediante plantación o siembra. Aunque el método de restauración posincendio más frecuente sigue siendo la plantación, el interés por la siembra directa ha aumentado debido a que se considera un método de repoblación más sencillo y de menor costo (al menos inicial) (PEMAN & NAVARRO, 1998). Las técnicas de siembra directa se han utilizado tradicionalmente en trabajos de restauración en España (NAVARRO, 1978; SANZ & PIEROLA, 1995), habiéndose propuesto como una alternativa para la restauración de áreas incendiadas (CASTELL & CASTELLÓ, 1996; NAVARRO *et al.*, 1998; PEÑUELAS *et al.*, 2002). Sin embargo, se han realizado pocos estudios aplicados en condiciones reales (CASTELL & CASTE-

LLÓ, 1996; PEÑUELAS *et al.*, 2002), en particular, en las condiciones creadas inmediatamente después del fuego.

El éxito temprano de la siembra depende de varios factores, entre los cuales se han destacado la evolución de las condiciones climáticas durante el periodo de siembra y el periodo estival (CALAMASSI *et al.*, 1984; KEELEY, 1994), las condiciones edáficas asociadas a la presencia de cenizas que incrementan rápidamente el pH en la capa superior del suelo (0-1 cm) a valores superiores a 9, lo cual inhibe la germinación de muchas semillas (ESHEL *et al.*, 2000; HENIL-SERVER *et al.*, 1996), y a la predación (NATHAN & NE'EMAN, 2000; PEÑUELAS *et al.*, 2002; NILSON & HJÁLTÉN, 2003). En los trabajos de restauración de áreas incendiadas por siembra se han utilizado diferentes técnicas que reducen el efecto de estos factores limitantes. En particular, se ha recurrido a la modificación de las condiciones edáficas mediante técnicas de preparación del terreno (BERGSTAN, 1988; SCHREINER *et al.*, 2000; FUCHS *et al.*, 2000), mejora de las condiciones de germinación mediante el preacondicionamiento de la semilla (PEMAN & NAVARRO, 1998), y reducción de la predación mediante la incorporación de productos repelentes (ROGERS, 1974; FULLER *et al.*, 1984; NOLTE & BARNETT, 2000). Las técnicas empleadas no afectan sólo a uno de los factores, sino que interactúan creando unas condiciones más adecuadas para la germinación (variaciones edáficas, condiciones microclimáticas para la germinación, y la reducción de predación).

El objetivo de este trabajo, es estudiar el efecto de las técnicas de siembra y el prea-

condicionamiento en la germinación y la supervivencia inicial de semillas de *Pinus halepensis* Mill. inmediatamente después de un incendio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del área afectada

La Sierra de Mijas está localizada en el T.M. de Mijas (Málaga) y pertenece a la Comarca del Guadalhorce. La zona (coordenadas UTM 349.600-354.400 Norte y 4.054.000-4.051.200 Este) sufrió un incendio durante el verano del 2001 (18 julio del 2001-22 de julio); afectando a una superficie de 590 has. La topografía de la Sierra de Mijas es especialmente accidentada y abrupta, con una altitud comprendida entre los 450 msnm hasta su cota más alta de 1149 msnm. La zona está formada por una serie de

crestas y vaguadas en dirección sudoeste-nordeste, dibujando así vertientes con orientaciones norte a noroeste y sur sudeste. Las pendientes sobrepasan la mayoría de las veces el 40%, y con frecuencia el 70%.

El fitoclima corresponde a un IV₂-Mediterráneo genuino subtropical, de medios mediterráneos arbóreos extralícinos o ilícitos (ALLUÉ, 1990). Las primeras precipitaciones después del incendio, tuvieron lugar el 19 de septiembre de 2001 (62 mm), con una precipitación total para el año hidrológico de 786 mm (Figura 1).

Los suelos predominantes son cambisoles eútricos con textura limo-arenosa a limosa en las localizaciones de mayor calidad, aunque dominan los litosoles en zonas con altas pendientes.

La vegetación actual dominante proviene de los trabajos de repoblación de los años sesenta,

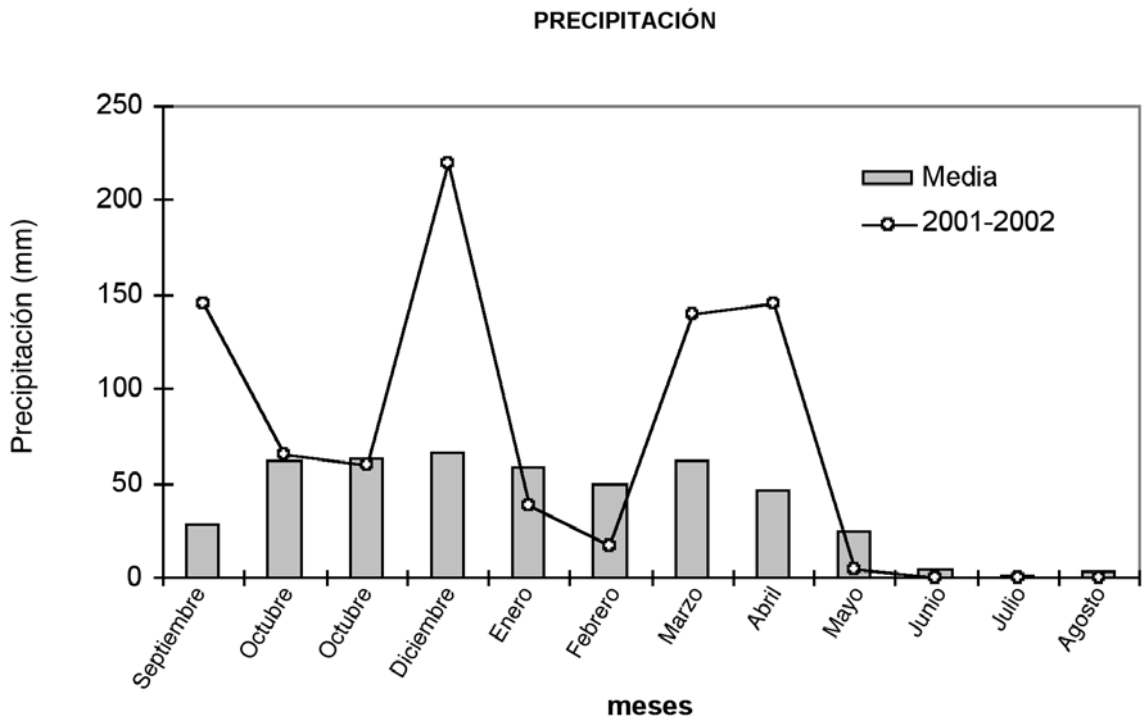


Figura 1 - Precipitaciones mensuales para el año hidrológico 2001-2002 en la estación pluviométrica de la Casa Forestal de Mijas.
Figure 1 - Main rainfall in Mijas for the period september 2001 september 2002.

y está formada por pinares monoestratificados de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) y de pino piñonero (*Pinus pinea* L.), este último siempre por debajo de los 1000 metros de altitud. La encina *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp. aparece como la especie dominante del estrato arbustivo, cuando existe, acompañado por el acebuche (*Olea europaea* L. var. *syvestris* Brot.), el espinoso negro (*Rhamnus oleoides* L.), el enebro (*Juniperus oxycedrus* L.), el palmito (*Chamaerops humilis* L.), el lentisco (*Pistacia lentiscus* L.), y a veces, por la sabina mora (*Juniperus phoenicea* L.).

Diseño experimental

Se procedió a la instalación de dos parcelas, que se ubicaron dentro de rodales desarbolados recorridos por el fuego. La pendiente media fue del 40% y el suelo presente en ambas fue un cambisol eutrítico (clasificación FAO-UNESCO). Las parcelas experimentales se han localizado a una altitud comprendida entre los 480 y los 490 msnm. La diferencia entre ambas fue la pedregosidad, ya que mientras que la parcela 1 presentaba un porcentaje de pedregosidad superficial aproximadamente del 60%, la parcela 2 tenía un bajo porcentaje de pedregosidad (<20%).

Las semillas del ensayo fueron proporcionadas por Semillas Silvestres S.A. (etiqueta amarilla, región de procedencia Bética Meridional) recolectada en la temporada 2000-2001 (tabla 1). El material vegetal fue dividido en dos lotes; uno sin tratamiento previo, y otro formado por un grupo semillas recubiertas por una mezcla de arcilla, obteniendo así, semillas peletizadas de 2 cm. de diámetro. La opera-

ción de peletizado fue realizada por Semillas Silvestres S.L., de forma manual mediante la incorporación de arcilla y la elaboración de pelet con tres semillas en cada uno.

El diseño experimental de las parcelas está realizado para evaluar la respuesta a la presencia en función de dos factores, procedimiento de siembra y precondicionamiento de la semilla, por lo que se ha realizado un ensayo factorial que comprende dos factores: métodos de siembra (tres niveles: siembra superficial, siembra con barrena y siembra en casilla superficial) y precondicionamiento de semillas (dos niveles: semillas desnudas y semillas peletizadas). El número total de tratamientos es de seis y el control. Las labores realizadas han consistido en:

- siembra superficial (S): consiste en sembrar las semillas en grupos de tres o un pel, depositándolas en la superficie del suelo sin tratamiento previo.
- siembra con barrena (B): consiste en dar un golpe seco con un barrón metálico de 4 kilogramos. Se depositaron tres semillas o un pel en el agujero formado. La profundidad de siembra fue limitada a 3 centímetros mediante la colocación de un limitador de profundidad al barrón.
- siembra en casilla superficial (C): consiste en sembrar tres semillas por golpe o un pel en una casilla superficial (<30 cm), a una profundidad aproximada de 3 centímetros.
- puntos de control: en cada bloque se deja un tratamiento sin depositar semillas, para comprobar que el banco de semillas del suelo no contiene semillas de pino carrasco.

Las parcelas fueron diseñadas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En cada uno de los bloques, los tratamientos se distribuyen según líneas paralelas, y en cada línea se realizaban 25 golpes de siembra con 3 semillas por golpe (semillas no precondicionadas o un pel con tres semillas), separados 25 centímetros. Hay así un total de 75 semillas sembradas en cada uno de los tratamientos, es decir, 225 semillas en cada bloque, 900 semillas

Tipo de semilla	Porcentaje de semilla
Semillas duras (%)	90,5
Semillas frescas no germinadas (%)	5
Semillas muertas (%)	4,5

Tabla 1 - Análisis del poder germinativo del lote de semillas de *Pinus halepensis* utilizadas en el ensayo. (ISTA, 1995).

Table 1 - Percent germination of *Pinus halepensis* seeds used on this study. (ISTA, 1995).

por parcela, y 1800 semillas para el conjunto del ensayo. Las parcelas se establecieron los días 14 y 15 de diciembre de 2001, y se visitaron quincenalmente hasta el inicio de la germinación, y bimensualmente hasta noviembre 2002 (se presentan los resultados de enero, mayo y octubre de 2002). En cada medida se clasificaban las semillas en cuatro categorías: germinada, no germinada, predada (mostraba daños en la cubierta seminal o síntomas de desenterramiento) o desaparecida. En el ensayo se ha determinado el porcentaje de supervivencia final como la relación porcentual entre el número de brinzales supervivientes respecto al número de semillas sembradas.

Simultáneamente, se realizó un ensayo bajo condiciones controladas en el vivero de la ETSIAM de Córdoba. En una bandeja se colocaron tres bloques de 50 semillas sin tratamiento y 50 semillas peletizadas en tres condiciones de siembra: siembra superficial, siembra a una profundidad de 2,5 centímetros, y siembra a una profundidad de 5 centímetros, que se disponen en una fila a una distancia entre puntos adyacentes de 2 cm y una separación entre filas de 3 cm aproximadamente. Como resultado, se dispone de 450 semillas por tipo de semilla y 900 semillas para el conjunto del ensayo. La tierra utilizada se recogió en la Sierra de Mijas, en una zona próxima a la parcela número uno. Los elementos gruesos de más de 4 centímetros de diámetro se desecharon. El suelo se mezcló y los horizontes no mantuvieron su estructura original. Las semillas se mantuvieron regadas a humedad óptima durante la duración del ensayo. La germinación fue medida entre el 18 de febrero y el 10 de mayo del 2002. Consideramos que la plántula había germinado a partir del momento en que se podían distinguir los cotiledones.

Tratamiento de los datos

El análisis estadístico ha comenzado con la comprobación de que los datos cumplen el requisito de normalidad y la homogeneidad de la varianza (homocedasticidad). La normalidad se ha comprobado mediante el test de

Kolmogorov-Smirnov, y la homocedasticidad por el test de Levene. Los datos porcentuales se han transformado mediante la transformación $\arctg\sqrt{x}$.

Una vez realizada la comprobación de los requisitos básicos de los datos, se ha procedido a un análisis de la varianza (ANOVA) de dos factores: tratamiento y parcela; y de un factor: tratamiento. Las dos variables consideradas fueron el método de siembra y el precondicionamiento de las semillas. Cuando el análisis de la varianza ha sido significativo se ha realizado un test de Tukey de comparación múltiple de las medias para un nivel de significación del 5% ($P \leq 0,05$).

El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico *SPSS 8.0*. Los resultados se presentan en las tablas y en las figuras como media y error estándar de cada tratamiento.

RESULTADOS

Ensayo de siembra en condiciones naturales

La germinación en las parcelas de campo se inició entre los 15 y los 30 días. En la medición de enero el mayor porcentaje de germinación se alcanzó para las semillas peletizadas en superficie (20-14,2% según parcela). En las medidas posteriores esta situación se mantiene, alcanzando el valor máximo de germinación en todos los casos la semilla peletizada en superficie. Al final del ensayo, pasado el periodo estival, la siembra superficial con semillas peletizadas es el método que consigue el mayor valor de supervivencia (13,7-9,7%, según parcela). El método de siembra en casilla, con semilla desnuda es el que alcanza los porcentajes más bajos de supervivencia, variando entre el 6,2% para la parcela de experimentación 1 y el 3,6% para la parcela de experimentación 2. El resto de los tratamientos presentan resultados variables según las parcelas, y con una tendencia a un mayor agrupamiento (figura 2; tabla 2). En los controles pre-

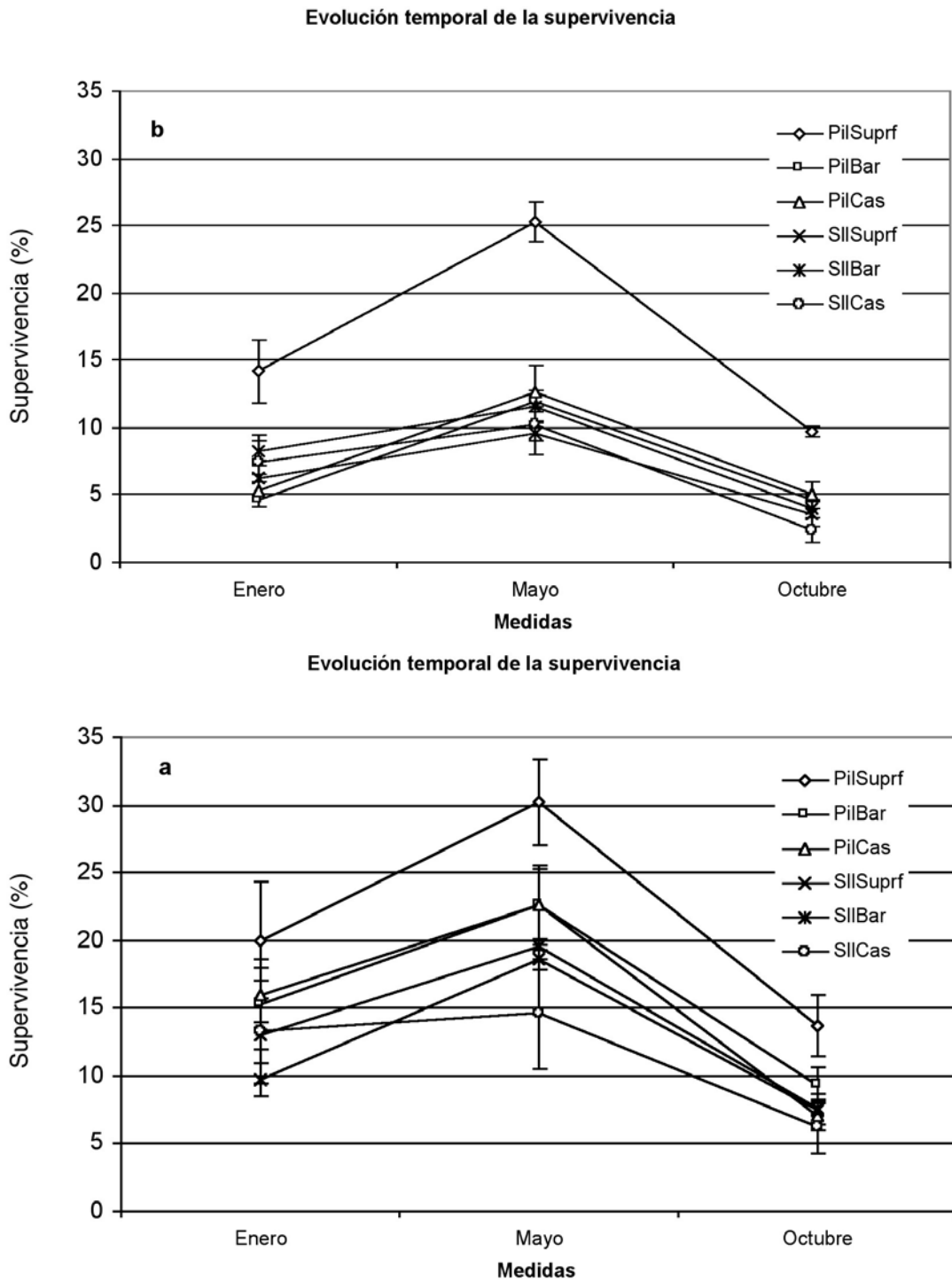


Figura 2 - Porcentaje de germinación y supervivencia de plántulas en las parcelas 1 y 2 en la medición de enero, mayo y octubre de 2002 (media±error estándar de la media) (Pil=semilla pildoraza; SII=semilla no tratada; Superf=siembra en superficie, Bar=siembra con barrón; Cas=siembra en casilla).

Figure 2 - Percent germination curves of *Pinus halepensis* and seedling survival in plot 1 and 2 in January, May and October 2002 (Mean value per treatment ± standard error of the mean) (Pil=semilla pildoraza; SII=semilla no tratada; Superf=siembra en superficie, Bar=siembra con barrón; Cas=siembra en casilla).

Tratamiento	Enero 2002				Mayo 2002				Octubre 2002				
	PG	NG	PR	DP	PG	NG	PR	DP	PG	NG	PR	DP	MT
Píldora en superficie	20,0a	78,0	0,0	2,0	30,2a	64,7	5,1	0,0	13,7a	64,7	0,0	5,1	16,5
Píldora con barrón	15,3a	84,7	0,0	0,0	22,6ab	77,4	0,0	0,0	9,3a	77,4	0,0	0,0	13,3
Píldora en casilla	16,0a	84,0	0,0	0,0	22,6ab	77,4	0,0	0,0	7,1a	77,4	0,0	0,0	15,5
Semilla en superficie	9,7a	75,9	6,3	8,1	18,6ab	54,4	12,1	14,9	7,5a	54,4	12,1	22,1	11,1
Semilla con barrón	13,0a	84,9	2,1	0,0	19,6ab	77,0	3,4	0,0	7,6a	77,0	3,4	0,0	16,2
Semilla en casilla	13,3a	85,6	1,1	0,0	14,6b	82,7	2,7	0,0	6,2a	82,7	2,7	0,0	8,4

Tabla 2a - Valores descriptivos de la parcela 1 (PG=semilla germinada; NG=semilla no germinada; PR=semilla predada; DP=semilla desaparecida; MT=plántula muerta). Valores medios por tratamiento (\pm error típico de la media) Las medias con alguna letra en común dentro de cada especie no son significativamente diferentes según el test de Tukey con un nivel de significación del 0,05

Table 2a - Descriptive variables for plot 1 (PG=germinated seed; NG=no germinated seed; PR=predated seed; DP=missing seed; MT=dead seedling). Mean value per treatment (\pm standard error of the mean). Simplexes with an identical letters belong to the same subset as determinate using Tukey's test of multiple comparisons at a significance level of 0.05.

Tratamiento	Enero 2002				Mayo 2002				Octubre 2002				
	PG	NG	PR	DP	PG	NG	PR	DP	PG	NG	PR	DP	MT
Píldora en superficie	14,2a	81,6	0,0	4,2	25,3a	67,7	0,0	7,0	9,7a	67,7	0,0	7,0	15,6
Píldora con barrón	4,6a	95,4	0,0	0,0	12,0b	88,0	0,0	0,0	4,6b	88,0	0,0	0,0	7,4
Píldora en casilla	5,3a	94,7	0,0	0,0	12,6b	87,4	0,0	0,0	5,0b	87,4	0,0	0,0	7,6
Semilla en superficie	6,3a	78,8	7,1	7,8	9,8b	65,6	9,5	15,1	3,6b	65,6	14,2	25,8	6,2
Semilla con barrón	8,3ab	90,4	1,3	0,0	11,6b	86,5	1,9	0,0	4,0b	86,5	2,3	0,0	7,6
Semilla en casilla	7,5a	92,5	0,0	0,0	10,3b	88,5	1,2	0,0	2,4b	88,5	1,7	0,0	4,1

Tabla 2b - Valores descriptivos de la parcela 2 (PG=semilla germinada; NG=semilla no germinada; PR=semilla predada; DP=semilla desaparecida; MT=plántula muerta). Valores medios por tratamiento (\pm error típico de la media) Las medias con alguna letra en común dentro de cada especie no son significativamente diferentes según el test de Tukey con un nivel de significación del 0,05

Table 2b - Descriptive variables for plot 1 (PG=germinated seed; NG=no germinated seed; PR=predated seed; DP=missing seed; MT=dead seedling). Mean value per treatment (\pm standard error of the mean). Simplexes with an identical letters belong to the same subset as determinate using Tukey's test of multiple comparisons at a significance level of 0.05.

sentas en ambas parcelas no apareció ningún brinjal de pino carrasco, lo que confirma la ausencia de semillas de esta especie en el suelo (estos datos no se incluyen en el análisis estadístico).

En las dos parcelas, los porcentajes de germinación de las siembras realizadas con semillas peletizadas fueron mayores que los realizados con semillas desnudas, excepto para el procedimiento de siembra con barrón realizada con semillas desnudas en la parcela número 1. Se observa que los porcentajes de germinación son mayores en la parcela de experimentación 1, que en la parcela de experimentación 2.

El análisis de varianza de dos factores, muestra los efectos de cada factor (tabla 3).

Origen de la variabilidad	Cuadrado medio	Valor de F	Probabilidad asociada
Factor 1	96,6	12,83	<0,01
Factor 2	256,0	34,01	<0,01
Interacción 1 y 2	3,7	0,49	0,782
Valor residual	7,5		
Total	363,8		

Tabla 3 - Resultado de aplicar Anova con dos factores: tratamiento (factor 1) y parcela de experimentación (factor 2).

Table 3 - Two factors ANOVA results: treatment (factor 1) and plot (factor 2).

El primer factor representa el tipo de tratamiento y el segundo factor el tipo de parcela de experimentación (parcela 1 o 2). La diferencia entre las dos parcelas de experimentación es significativa, los porcentajes de germinación son mayores en la parcela de experimentación 1, que es la parcela que pre-

senta una mayor pedregosidad. La diferencia entre los tratamientos de siembra, es también significativa.

Ensayo de siembra en condiciones controladas

La germinación en condiciones controladas tuvo lugar entre los días 21 y 42. El mayor porcentaje de germinación se alcanzó para las semillas peletizadas en superficie (77%), seguidas por las semillas peletizadas enterradas a una profundidad de 2,5 centímetros (36%), por las semillas desnudas en superficie (17,3%), por las semillas peletizadas a 5 centímetros de profundidad (6%), por las semillas desnudas a 2,5 centímetros de profundidad (3,3%) y finalmente, por las semillas desnudas enterradas a 5 centímetros (0%) (figura 3).

El inicio de la germinación de semillas peletizadas ocurrió en promedio 18 días antes que las semillas desnudas, lo cual se refleja en el valor T₅₀ (tiempo necesario para alcanzar un porcentaje de germinación del 50%), que corresponde a 31 días de media para las semillas peletizadas y 50 días para las semillas des-

nudas. Transcurrido un periodo de 35 días el porcentaje de germinación para las semillas peletizadas en superficie era del 43% y para las semillas peletizadas a 2,5 centímetros de profundidad del 33%, mientras que, para las semillas peletizadas a 5 centímetros era del 5% y para las semillas desnudas situadas en superficie y a 2,5 cm de profundidad, los porcentajes de germinación fueron del 0%. Transcurrido un periodo de 81 días el porcentaje de germinación para las semillas peletizadas en superficie fue del 77%, para las semillas peletizadas a 2,5 centímetros de profundidad del 36%, y para las semillas peletizadas a 5 centímetros del 6%; para las semillas desnudas, tanto en superficie como a 2,5 cm de profundidad, los porcentajes de germinación máximos fueron del 17 y del 3% respectivamente (figura 3).

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo muestran que las semillas peletizadas son más eficaces que las semillas sin recubrimiento en las siembras postincendio. Las semillas peletizadas alcanzaron los valores máximos de germina-

Comparativa de germinaciones

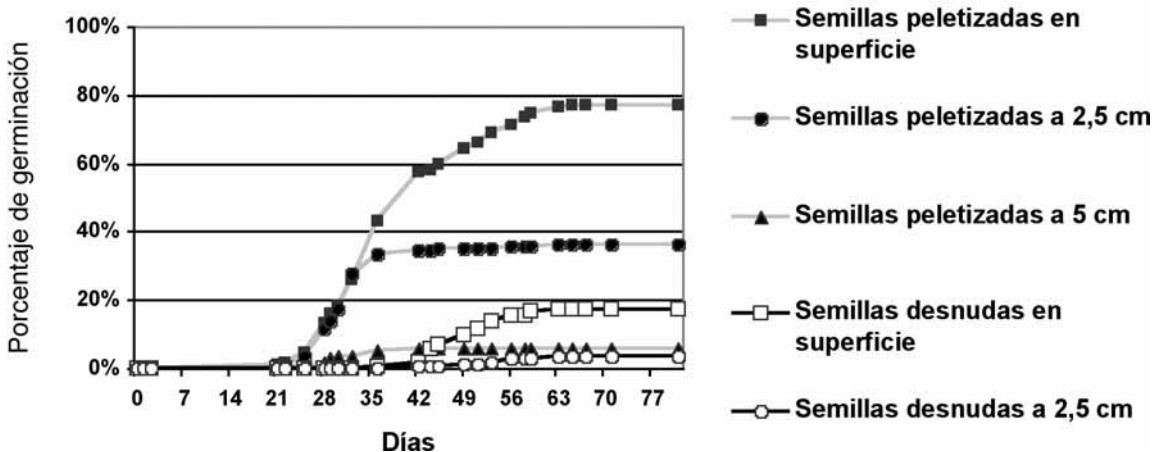


Figura 3 - Curvas de germinación (%) de los distintos tratamientos de siembra utilizados. El tratamiento correspondiente a semillas desnudas a 5 cm. de profundidad no germinó, y no se representa en la figura.

Figure 3 - Cumulative germination curves (%) as a function of seed treatment and sowing depth.

ción/supervivencia en la siembra superficial, frente a los realizados con barrón o con casilla. Las semillas sin recubrimiento obtuvieron los valores máximos de supervivencia para los procedimientos de siembra en superficie y siembra con barrón, frente a los procedimientos de siembra en casilla. No se observaron tampoco variación en la germinación según posturas de siembra, no existiendo aparentemente una agregación de la germinación en determinados lugares de las parcelas.

Los porcentajes de germinación y supervivencia obtenidos en este ensayo son algo superiores que los obtenidos por otros autores. En ensayos de siembra con semillas desnudas de pino carrasco PEÑUELAS *et al.* (2000) obtiene valores comprendidos entre el 1,8%, y el 7% en las zonas de pendiente débil para siembras con labor superficial. Las condiciones climáticas favorables del año 2002 pueden explicar parte del mayor número de semillas germinadas en nuestro estudio. En efecto, se produjeron precipitaciones durante la instalación de las parcelas, así como, durante la siembra, lo que constituye unas condiciones ideales para la germinación. En estas condiciones de humedad y temperatura, el tiempo existente entre la siembra y la germinación se redujo, por lo que disminuyó la predación, siendo este el factor principal de fracaso en la siembra de pino carrasco (PEÑUELAS *et al.*, 2000).

La predación es una de las limitaciones principales en trabajos de siembra directa, NILSON & HJÄLTÉN (2003) encontraron hasta un 48% de semilla perdida, siendo algo menor (30 %) en las semillas cubiertas. Otros autores han encontrado pérdidas próximas al 100% (BERGSTEN, 1985; NYSTRAND, 1998; PEÑUELAS *et al.*, 2000). En nuestro caso, la predación no ha sido muy importante (<20%), en particular en la semilla peletizada, donde prácticamente ha sido inexistente. La semilla peletizada no es detectable por los predadores, aunque si puede ser detectada por aquellos que utilizan el olfato para la localización, por lo que la semilla no queda totalmente libre de la predación. En el caso de este ensayo, los resultados

obtenidos en campo, podrían ser atribuidos a numerosas causas o a la combinación de varias de ellas: una reducción de la predación por especies que utilizan la vista para la detección de semillas (aves), el carácter generalista de muchos de los predadores existentes en la zona por lo que disminuye la predación sobre los pelet al ser poco apetecible, y la desaparición temporal de la predación por hormigas.

Por otro lado, los mejores porcentajes de germinación y supervivencia de las semillas peletizadas también son influidos por las mejoras que aportan los substratos que rodean las semillas. Las semillas desnudas están en contacto directo con la ceniza, la cual tiene un alto valor del pH y una presión osmótica elevada que inhiben la germinación (NE'EMAN *et al.*, 1993; HENIG-SEVER *et al.*, 1996, 1999). Además, el pel modifica el microclima en la vecindad de la semilla, alterando la humedad, la temperatura y la evaporación. Si se considera conjuntamente la humedad y la temperatura la influencia en la germinación es muy grande (WINSA & BERGSTEN, 1994; WINSA, 1995; OLESKOG & SALEN, 2000 a, b). La temperatura óptima para la germinación de las semillas del pino carrasco se encuentran alrededor de 15°C, situándose el óptimo en 18,5°C, a temperaturas superiores (25º- 28°C) e inferiores (por debajo de 10°C) se retrasan o inhiben la germinación (CALAMASSI *et al.*, 1984; THANOS, 2000). El efecto microclimático sobre la germinación en semilla peletizada se ha podido comprobar al reducirse significativamente el tiempo de germinación de la semilla peletizada en condiciones controladas.

Los porcentajes de supervivencia son también diferentes según la parcela de experimentación considerada. Las dos parcelas se diferencian principalmente por la pedregosidad, por lo que podemos atribuir las diferencias en los porcentajes de supervivencia a esta variable de estación. Un alto porcentaje de pedregosidad favorecería la presencia de microrelieve en las proximidades de las piedras de mayor tamaño, lo que puede explicar esta diferencia al

favorecer una mayor retención de agua y proporcionar una protección a la semilla frente a la erosión, predación y condiciones de excesiva radiación.

Las pruebas realizadas en este trabajo permiten clasificar las técnicas de siembra, de la más eficaz a la menos eficaz, en el orden siguiente: siembra superficial de semilla peletizada, semilla peletizada a 2,5 centímetros de profundidad, semilla desnuda en superficie, semilla peletizada a 5 centímetros de profundidad, semilla desnuda a 2,5 centímetros de profundidad y semilla desnuda a 5 centímetros de profundidad. Estos resultados son coherentes con los obtenidos en condiciones controladas, lo que demuestra que a mayor profundidad, menor es la probabilidad de que la semilla germine (influencia negativa de la profundidad sobre la germinación) y, por otra parte, que las semillas peletizadas proporcionen mayores porcentajes de germinación y supervivencia que las semillas desnudas.

La cobertura de la semilla por una capa de suelo tiene varios efectos. Físicamente, el medio ambiente bajo la capa de suelo difiere del que la semilla encuentra en la superficie, por ejemplo en lo que respecta a la cantidad y calidad de la luz (SKORDILIS & THANOS, 1997; THANOS, 2000), humedad, y variación de temperaturas (GOBBI & SCHLICHER, 1998; THANOS & DASKALAKOU, 2000). SARVAS (1950) ha documentado una importante pérdida de germinación en *Pinus* como consecuencia de la ausencia de luz, alcanzándose los valores máximos cuando se expone a luz blanca. Esta característica explica la influencia negativa de la profundidad sobre la germinación (las semillas enterradas no reciben luz). Además, considerando el tamaño de la plántula de pino de carrasco, es comprensible la dificultad que este tiene para alcanzar la superficie si la semilla se coloca demasiado profunda. En general, se aconseja colocar las semillas a una profundidad aproximada entre 1,5 y 2 veces el diámetro de la semilla (PEMÁN & NAVARRO, 1998), por lo que la profundidad ideal para las semillas del pino de carrasco sería 8 milímetros, muy inferior a la utilizada en los trata-

mientos en este ensayo. La preparación de siembra con barrón suele situar la semilla a una profundidad que oscila entre 3 y 5 centímetros, y en casilla se puede sembrar a una profundidad menor de 3 centímetros, aunque resulta complicado asegurar una profundidad uniforme. A profundidades próximas a 5 cm se ha observado una fuerte caída de la germinación (ESHEL *et al.*, 2000; NE'EMAN *et al.*, 1993). Por otra parte, a una plántula que está en la superficie o al interior de un pel colocado directamente sobre el suelo, le puede resultar mucho más difícil enterrar su raíz en el suelo. Se ha observado en el campo como muchas semillas colocadas en la superficie del suelo, han germinado pero la raíz no fue capaz de penetrar eficazmente en el horizonte superficial, sin que se haya observado la formación de costra superficial.

Los ensayos de siembra tanto en condiciones de campo como en condiciones controladas demuestran que, de manera general, las semillas peletizadas son más eficaces que las semillas desnudas para el establecimiento de brinzales después del fuego. Esta mayor eficacia se puede explicar por la mayor predación de las semillas desnudas, así como por el efecto inhibitorio de la ceniza. Las diferencias entre las semillas peletizadas y las semillas desnudas resultan evidentes en condiciones de campo para todos los procedimientos de siembra. La ventaja de la siembra superficial no está tan clara para las semillas desnudas, tanto en condiciones de campo como en condiciones controladas. Sin embargo, si lo está para las semillas peletizadas. Las semillas desnudas colocadas en condiciones de campo se exponen a una predación significativa, que se ve reducida al enterrar las semillas hasta en un 50% (HULME, 1998). La existencia de predación en condiciones de campo puede explicar la ventaja de la siembra superficial en condiciones controladas. El hecho de que la ventaja se conserve para las semillas peletizadas hace pensar que estas sufren una predación mínima. De hecho, es lógico pensar en un principio, que la bola de arcilla que rodea las semillas las protege contra los ataques de

hormigas y de pájaros haciéndola menos palatable e incluso menos transportable.

En muchas condiciones de restauración posincendio la fuerte pendiente y el acceso a la mayor parte de la masa es difícil. Bajo tales condiciones, la ejecución de la plantación se hace muy difícil y parece más razonable la siembra para restaurar las zonas donde la regeneración natural es escasa. Si se opta como método de repoblación por la siembra, se puede aconsejar, a la vista de los resultados de este estudio, el uso de semillas peletizadas en superficie. Estas ofrecen buenos porcentajes de germinación (entre el 25 y el 30%) transcurridos 6 meses. Suponiendo un porcentaje de supervivencia de plántulas procedentes de regeneración natural del 50% después de dos años (MARTÍNEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 1999), puede considerarse una supervivencia para las semillas sembradas del 12,5% al 15% al final de dos años. Si deseamos obtener densidades de 3000 plántulas por hectárea al cabo de dos años, una cifra razonable para un bosque con papel protector, sería necesario sembrar entre 20.000-24.000 semillas por hectárea; es decir, de 13.500 a 16.000 bolas de arcilla. Los porcentajes de germinación para las semillas desnudas en superficie oscilan entre el 10,7% y el 18,7%. Con las suposiciones anteriores sobre los porcentajes de supervivencia al final de 2 años, estas variarían entre 5,3 y el 9,3%. Para obtener una densidad de 3000 plántulas al cabo de 2 años, sería necesario sembrar con esta técnica entre 33.000 y 57.000 semillas por hectárea. El precio de las semillas peletizadas de manera artesanal es de 60 euros por mil bolas de arcilla. Los precios de la repoblación forestal descritos, oscilarían entonces entre 810 y 960 euros por hectárea. El kilo de semilla del pino carrasco tiene un coste medio de 62,5 y contiene aproximadamente 45.000 semillas. El coste de las repoblaciones forestales, efectuado con semillas desnudas, oscilaría entre 45,8 y 79,2 euros por hectárea. Las repoblaciones forestales con semillas peletizadas, supondría un coste de 12 a 17 superior. El aumento en el porcentaje de supervivencia de las plántulas inducidas por la bola de la arcilla no compensa el coste de la fabricación de éste. Queda, sin

embargo ver el estado futuro de las plántulas (vigor, crecimiento, etc.) para poder definir la técnica de siembra a usar. A priori, parece que solamente las especies con semillas de precio elevado podrían justificar su recubrimiento. Sin embargo, la mecanización del proceso de elaboración de los pelet permitiría una importante reducción del precio final, abaratando considerablemente el coste de las siembras con semillas recubiertas.

Las conclusiones más importantes de este trabajo parecen indicar que la siembra de semilla peletizadas de pinos carrasco representa un método de repoblación forestal eficaz pero de discutible viabilidad económica. Sin embargo, la mejora del proceso de recubrimiento puede reducir hasta 5 veces el costo actual de la semilla peletizada (en experiencias realizadas en Semillas Silvestres SL), lo cual permitiría la realización de siembras con un coste final mucho menor al actual. La profundidad de la siembra y la intensidad de la predación son dos datos esenciales para el éxito de la repoblación forestal; ya que tienen una influencia negativa en esta. El papel protector del pel de arcilla con respecto a la predación, así como la variación de las condiciones microclimáticas en el entorno de la semilla, puede explicar la mayor eficacia de este técnica. Las practicas habituales de siembra directa (tipo siembras aéreas), pueden tener una eficacia cuestionable por la fuerte predación, así como al dificultad de preparaciones sencillas del tipo de escarificados superficiales, lo que puede hacer difícil la germinación. La peletización puede reducir notablemente las labores de siembra asegurando una germinación más adecuada, y simplificando la siembra por medios aéreos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el apoyo de la Delegación de Málaga de la Consejería de Medio Ambiente. En particular los autores quieren agradecer la ayuda de José Antonio Román y Cesar Vicente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEE, J.K. 1998. Fire and pine ecosystems. En Richardson, D.M. (ed) Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, 193-218 pp.
- ALLUÉ ANDRADE J.L. 1990. Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. M. Agricultura, INIA. Madrid.
- BARBERO, M., R. LOISEL & P. QUEZEL. 1998. Pines of the Mediterranean Basin. En: Richardson D.M. (ed). Ecology and Biogeography of *Pinus*, Cambridge University Press, Cambridge, 153-170 pp.
- BERGSTEN, U. 1988. Pyramidal indentations as a microsite preparation for direct seeding of *Pinus sylvestris* (L.) Scand. J. For. Res. 3: 493-503.
- CASTELL, C. & J. I. CASTELLÓ. 1996. Metodología y resultados de la siembra aérea efectuada en el parque natural de Garraf. Montes, 46: 51-57.
- CALAMASSI R., M. FALUSI & A. TOCCI. 1984. Effects de la temperature de germination et de la stratification sur la germination des semences de *Pinus halepensis* Mill. Silvae Genet., 33: 133-139.
- ESCUADERO, A., M. V. SANZ, J. M. PITA, & F. PÉREZ GARCÍA. 1999. Probability of germination after heat treatment of native Spanish pines. Annals of Forest Science, 56 (6): 511-520.
- ESHEL, A., N. HENIG-SEVER & G. NE'EMAN. 2000. Spatial variation of seedling distribution in an east Mediterranean pine woodland at the beginning of a post-fire succession. Plant Ecology, 148: 175-182.
- FERRAN, M., 1997. SPSS para WINDOWS. Programación y análisis estadístico. Ed. Mc Graw-Hill. Madrid. 580 pp.
- FULLER, R.; LANDIS, T.; CUMMINGS, J.; & J. GUARINO. 1984. Mesurool 75% seed treater as a bird repellent seedcoat treatment. Tree Planter's Notes 85: 12-17.
- FUCHS, M.A.; KRANNINTZ, P.G.; & HARESTAD, A.S. 2000. Factors affecting emergence and first-year survival of seedlings of Garry oaks (*Quercus garryoma*) in British Columbia, Canada. For. Ecol. Manage. 137: 209-219.
- GOBBI, M.; & SCHICHLER, T. 1998. Survival of *Austrocedrus chilensis* seedlings in relation to microsite conditions and forest thinning. For. Ecol. Manage. 111: 137-146.
- HENIG-SEVER, N., A. ESHEL & G. NE'EMAN. 1996. pH and osmotic potential of pine ash as post-fire germination inhibitors. Physiol. Plant., 96: 71-76.
- HENIG-SEVER, N., A. ESHEL & G. NE'EMAN. 1999. Regulation of the germination of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) by nitrate, ammonium, and gibberellins, and its role in post-fire forest regeneration. Physiology Plantarum, 108: 390-397.
- HULME, P.E., 1998. Post dispersal seed predation and seed bank persistence. Seed Science Research 8: 513-519.
- ISTA. 1995. Understanding seed vigour. ISTA Vigour Seed Committee. Ginebra.
- KEELEY J.E. 1994. Seed germination patterns in fire-prone Mediterranean-climate regions. En: Arroyo M.T., P.H. Zedler y M.D. y Fox (eds) Ecology and Biogeography of Mediterranean Ecosystems in Chile, California and Australia. Springer-Verlag, New York, NY, 239-273 pp.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. J., P. FERRANDIS, J. DE LA HERAS y J. M. HERRANZ. 1999. Effect of wood removal on the natural regeneration of *Pinus halepensis* after fire in a pine forest in Tus valley (SE Spain). Forest Ecology and Management, 123: 1-10.
- NATHAN, R. & G. NE'EMAN. 2000. Serotiny, seed dispersal and seed predation in *Pinus halepensis*. En: Ne'eman, G. y Trabaud, L. (eds) Ecology, Biogeography and management of *Pinus halepensis* and *Pinus brutia*. Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, Backhuys Publishers, Leiden, 105-118 pp.
- NAVARRO CERRILLO, R. M.; FERNÁNDEZ REBOLLO, M. P.; SALAS CABRERA, F.; NAVARRO MEZQUITA, C.; FERNÁNDEZ PALACIOS, A., 2000. Directrices para la restauración del área afectada por el incendio de los Barrios (Cádiz). Montes, 60: 24-31.

- NE'EMAN, G., H. LAHAV E. & I. IZHAKI. 1992. Spatial pattern of seedlings one year after fire in a Mediterranean pine forest. *Oecologia*, 91 (3): 365-370.
- NE'EMAN, G., I. MEIR & R. NE'EMAN. 1993. The influence of pine ash on the germination and early growth of *Pinus halepensis* Mill. and *Cistus salvifolius* L. *Water Science and Technology*, 27 (7-8): 525-532.
- NILSON, M.E. & HJÄTTÉN, J. 2003. Covering pine-seeds immediately after seeding: effects on seedling emergence and on mortality through seed-predation. *Foreste Ecology and Management* 176: 449-457.
- NOLTE, D.L.; & BARNETT, J.P. 2000. A repellent to reduce mouse damage to longleaf pine-seed. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 45: 169-174.
- NUÑEZ, M.R. & L. CALVO. 2000. Effect of high temperatures on seed germination of *Pinus sylvestris* and *Pinus halepensis*. *Forest Ecology and Management*, 131: 183-190.
- NYSTRAND, O. 1998. Post-dispersal predation on conifer seeds and juvenile seedlings in boreal forests. *Acta University of Agricultural Sueciae*.
- OLESKOG, G.; & SAHLÉN, K. 2000 A. Effects of seedbed substrate on moisture conditions and germination of Scots pine (*Pinus sylvestris* (L.)) seed in a mixed conifer stand. *N. For.* 20: 119-123.
- OLESKOG, G.; & SAHLÉN, K. 2000 B. Effects of seedbed substrate on moisture conditions and germination of Scots pine (*Pinus sylvestris* (L.)) seed in a clear-cut. *J. For. Res.* 15: 225-236.
- PEMÁN, J. & R. M^a. NAVARRO CERRILLO. 1998. *Replantaciones Forestales*. Universitat de Lleida. Llérida.
- PEÑUELA RUBIRA, J.L., DOMÍNGUEZ-LERENA, S., N. HERRERO SIERRA, J.L. NICOLÁS PERAGON, J.C. COSTA, A. RODRÍGUEZ & M. SÁNCHEZ. 2000. *Siembras directas en zonas degradadas de Andalucía*. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.
- ROGERS, J.G. 1974. Responses of caged red-winged blackbirds to two types of repellents. *J. Wild. Manage.* 38: 418-423.
- SANZ PASTOR, J. M. & F. PIEROLA. 1995. *Replantaciones por siembra*. Montes, 62: 135-137.
- SARVAS, R. 1959. Effect of light on the germination of forest tree seeds. *Oikos*, 2: 109-119.
- SCHREINER, A.; BAUER, E.M.; & KOLLMANN, J. 2000. Reducing predation of conifer seeds by clear-cutting *Rubus fruticosus* agg in two mountain forest stands. *Dor. Ecol. Manage.* 126: 281-290.
- SKORDILIS A. & C.A. THANOS. 1997. Comparative physiology of seed germination strategies in the seven pine species naturally growing in Greece. En: Ellis R.H., M. Black, A.J. Murdoch y T.D. Honng (eds) *Basic and Allied Aspects of Seed Biology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 623-632 pp.
- TAPIAS, R., L. GIL, P. FUENTES-UTRILLA & J. A. PARDOS. 2001. Canopy seed banks in Mediterranean pines of south-eastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill., *P. pinaster* Ait., *P. nigra* Arn. and *P. pinea* L. *Journal of Ecology*, 89: 629-638.
- THANOS, C. A. & E. N. DASKALAKOU. 2000. Reproduction in *Pinus halepensis* en *P. brutia*. En: Ne'eman, G. y Trabaud, L. (eds) *Ecology, Biogeography and management of Pinus halepensis and Pinus brutia*. Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, Backhuys Publishers, Leiden, 79-90 pp.
- THANOS, C. A. 2000. Ecophysiology of seed germination in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. En: Ne'eman, G. y Trabaud, L. (eds) *Ecology, Biogeography and management of Pinus halepensis and Pinus brutia*. Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin, Backhuys Publishers, Leiden, 37-50 pp.
- WINSA, H.; & BERGTEN, U. 1994. Direct seeding of *Pinus sylvestris* using microsite preparation and invigorated seed lots of different quality: 2-year results. *Can. J. For. Res.* 24: 77-86.
- WINSA, H. 1995. Influence of rain shelter and site preparation on seedling emergence of *Pinus sylvestris* (L.) after direct seeding. *Scand. J. For. Res.* 10: 167-175.