

Efecto del aviveramiento prolongado sin riego en la calidad funcional de los brinzales de *Pinus halepensis* y su desarrollo en campo

Javier Vallas Cuesta, Pedro Villar Salvador*, Juan L. Peñuelas Rubira, Nieves Herrero Sierra, Susana Domínguez Lerena y Juan L. Nicolás Peragón.

Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, Ministerio de Medio Ambiente, Apdo. 249, 19080 Guadalajara. España. serranillo@dgcen.mma.es

* Autor de contacto

Resumen

El objetivo de este trabajo ha sido analizar el efecto del estrés hídrico causado por un prolongado aviveramiento sin riego sobre la calidad funcional y la capacidad de desarrollo en campo de los brinzales de *Pinus halepensis* Mill., así como establecer los límites críticos de aviveramiento en esta especie. El aviveramiento prolongado de los lotes induce una desecación de los cepellones y reduce el potencial hídrico de las plantas. Igualmente, la capacidad de rehidratación de los cepellones de turba se ve significativamente disminuida, incluso con niveles moderados de desecación. Las plantas que sufren estrés hídrico durante el aviveramiento reducen su vigor, tal como lo demuestra la reducción de su capacidad de regeneración de nuevas raíces. A corto plazo, dicha capacidad no mejora aunque las plantas sean rehidratadas antes de la plantación. Los lotes de plantas que más estrés hídrico sufrieron debido al aviveramiento, presentaron una mayor mortandad y menor crecimiento en campo. Los lotes de brinzales plantados con potenciales hídricos de madrugada inferiores a aproximadamente -2 MPa incrementaron significativamente su mortandad y con valores menores a $-1,5$ MPa redujeron su crecimiento en campo.

Introducción

El origen genético y la calidad morfo-fisiológica de las plantas son factores que juegan un papel esencial en el éxito de un proyecto de revegetación (Peñuelas, 1993). Dichas propiedades morfo-fisiológicas pueden ser en gran medida “moldeadas” por el método de cultivo en el vivero (Arnott *et al.*, 1993). Sin embargo, una vez que el brinzal sale del vivero para su plantación, estos parámetros pueden verse alterados, afectando negativamente al establecimiento de la planta en campo (Gómez Mampaso y Ocaña Bueno, 1997). Así, en el tránsito desde el vivero hasta que se realiza la plantación, el factor que más puede mermar la calidad de las plantas es el estrés hídrico. Durante el transporte, el aviveramiento o la distribución de la planta en campo, los brinzales pueden sufrir una importante deshidratación cuya intensidad dependerá de la duración de dichas operaciones, siendo el aviveramiento de la planta en campo la operación que habitualmente más tiempo lleva.

Durante el aviveramiento se tiende a almacenar la planta bajo condiciones que minimizan su transpiración (sombros, en exposiciones al norte, etc.). En multitud de ocasiones, mientras las plantas permanecen aviveradas a la intemperie, el único aporte hídrico que reciben es el de la lluvia, que no siempre se produce, lo que puede hacer que los brinzales no estén óptimamente hidratados al ser plantados.

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el efecto de la duración del aviveramiento sin riego sobre 1) algunos parámetros relacionados con la calidad fisiológica de los brinzales de *Pinus halepensis* y 2) sobre el desarrollo (crecimiento y supervivencia) de las plantas en el campo. Los parámetros de calidad fisiológica estudiados han sido el potencial hídrico y la capacidad de regeneración radical de las plantas. También se analizó el contenido de agua en los cepellones y su capacidad de resaturación. El fin último es llegar a establecer un **límite de aviveramiento**, a partir de los cuales las plantas no deben de ser plantadas para no comprometer el futuro de la plantación. Dicho límite estará basado en el potencial hídrico de los brinzales, o en variables que estimen el estado hídrico de la planta, de medición sencilla, como son el porcentaje de pérdida de peso de los contenedores o el porcentaje de volumen de agua del cepellón.

Material y métodos

Diseño del experimento

Se utilizaron brinzales de *Pinus halepensis* de una savia, cultivados en el vivero de Tragsa-El Palomar, en San Fernando de Henares (Madrid) durante el año 1997. Las semillas utilizadas procedieron del huerto semillero de Alaquás (Valencia), región de procedencia de Levante. Las plantas fueron cultivadas en bandejas ®Forest Pot 300 con una mezcla de turba y vermiculita (80:20). A finales de enero de 1998, 18 bandejas seleccionadas al azar (900 plantas) se llevaron al Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, lugar donde se llevó a cabo el estudio. La altura y el diámetro medio de las plantas utilizadas en el experimento fue $10,9 \pm 0,7$ y $0,23 \pm 0,07$ cm (media \pm error estándar) respectivamente.

Con el fin de establecer un gradiente de diferentes duraciones del aviveramiento sin riego, se repartieron al azar las bandejas en seis lotes. El lote 6 constituyó el tratamiento de mayor duración del aviveramiento, mientras que el lote 1 fue el tratamiento control, no experimentando ningún día de aviveramiento (Tabla 1). Cada lote estuvo formado por tres bandejas, cada una de ellas representando un bloque.

El experimento comenzó el 29 de enero, regándose todos los contenedores hasta saturación para posteriormente, después de drenar, pesarse las bandejas con el fin de conocer su peso máximo en saturación. Ese mismo día se situaron las bandejas del lote 6 en un invernadero, lugar en el que se llevó a cabo la fase de aviveramiento. Los demás lotes permanecieron en otro invernadero contiguo regándose cada dos o tres días con el fin de mantener las plantas bien hidratadas. A los 6, 13, 22, 28 y 33 días después de haber comenzado el experimento, los lotes 5, 4, 3, 2 y 1 respectivamente, fueron trasladados al invernadero de aviveramiento. Una vez en dicho invernadero las bandejas no recibieron ningún riego hasta el final del experimento, el 3 de marzo de 1998.

Durante el transcurso del experimento, los invernaderos permanecieron con todas sus ventanas abiertas con el fin de equiparar las condiciones de temperatura y humedad relativa del interior con las del exterior. El aviveramiento se realizó en un invernadero por dos motivos. Por un lado, para evitar que las plantas en proceso de aviveramiento no se rehidrataran con la lluvia. Por otro lado, para evitar que las lotes en espera de ser aviverados no tuvieran un régimen lumínico diferente de los que ya estaban siendo aviverados y que pudiera distorsionar los resultados. En la Figura 1 se representa la evolución de la

temperatura, la humedad relativa del aire y la de la radiación fotosintéticamente activa experimentada por las plantas durante el aviveramiento, siendo la temperatura media y la humedad relativa del aire de $9,1 \pm 0,3^\circ \text{C}$ y $67,5 \pm 2,1 \%$ (media \pm error estándar), respectivamente. La radiación fotosintéticamente activa media fue de $576 \pm 56 \mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. La temperatura experimentada por las plantas en el invernadero coincidió con la que ocurre en numerosas áreas de la Península Ibérica durante el periodo de plantación, La radiación correspondió a un sombreado que redujese a la mitad la radiación al aire libre, muy parecido al que a menudo se dan a las plantas cuando se aviveran en el campo colocándolas bajo un cobertizo.

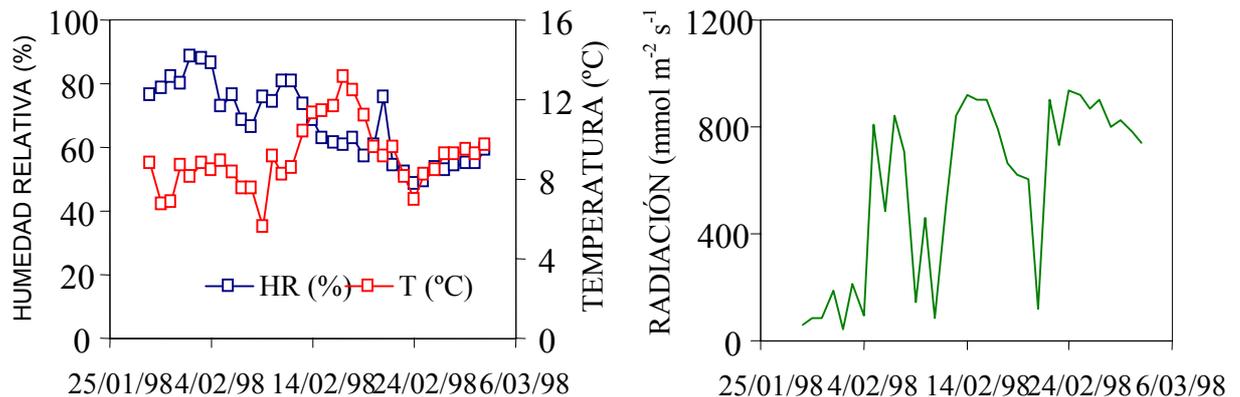


Figura 1. Evolución de la temperatura y de la humedad relativa del aire (a) y de la radiación fotosintéticamente activa (b) durante el periodo de aviveramiento.

El día que finalizó el proceso de aviveramiento, se separaron plantas pertenecientes a los seis lotes para, por un lado, medir distintas variables funcionales de las mismas y, por otro lado, para ser plantadas. La plantación se realizó el mismo 3 de marzo en una parcela del Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo" (Guadalajara, altitud 650 m). Antes de la plantación, los contenedores fueron sumergidos durante un minuto en bidones de agua con el fin de rehidratar las plantas conforme a la pauta seguida habitualmente en las plantaciones forestales. El diseño espacial de la parcela consistió en tres bloques completos al azar, respetándose los bloques establecidos inicialmente en el diseño de aviveramiento. En cada bloque se plantaron 30 brinzales por lote de aviveramiento.

Variables estudiadas en las plantas aviveradas

Las plantas no empleadas en la plantación fueron usadas para la caracterización fisiológica de los lotes. Las variables analizadas fueron:

a) Potencial hídrico de madrugada al final del aviveramiento.

El potencial hídrico de madrugada ($\Psi_{\text{madrugada}}$) se midió el día de la plantación, antes del alba. Se seleccionó al azar nueve plantas por lote de aviveramiento. La medición se realizó con una cámara de Scholander utilizándose ramas laterales. El potencial hídrico es una medida del estado hídrico de los brinzales, tiene valores negativos, sus unidades son de presión y se expresa en megapascales (MPa) ($1 \text{ Mpa} = 10 \text{ bar}$). Como referencia al lector, indicar que las plantas bien hidratadas en vivero presentan valores de $\Psi_{\text{madrugada}}$ que

varían entre -0,05 a -0.3 MPa, que las raíces del pino carrasco frenan su crecimiento a -0.7 MPa (Leshem, 1970) y que el punto de pérdida de turgencia en dicha especie es a -2.2 MPa (Villar Salvador *et al.*, 1999).

b) Pérdida de peso de las bandejas.

Las bandejas de los distintos fueron pesadas y se calculó el porcentaje de pérdida de peso experimentado por cada una durante el aviveramiento (PP_{bandejas}) mediante la siguiente expresión:

$$PP_{\text{bandejas}} = [(\text{Peso inicial}) - (\text{Peso final})] \cdot 100 / (\text{Peso inicial})$$

El peso inicial de las bandejas representa su peso máximo en saturación, determinado antes de comenzar el aviveramiento.

c) Contenido de agua del cepellón.

El contenido de agua volumétrico en los cepellones (VA cepellón), se determinó con un TDR de varillas de 5 cm de longitud. El número de cepellones medido fue de 12 por lote de aviveramiento.

d) Capacidad de resaturación del cepellón.

Esta variable fue determinada para conocer si la turba desecada, que es el sustrato habitualmente empleado en el cultivo de planta forestal, dificultaba la rehidratación del cepellón. El mismo día de la plantación se realizó un test de capacidad de resaturación de cepellones utilizándose nueve plantas por lote de aviveramiento. La capacidad de resaturación se calculó según la expresión:

$$\text{Resaturación (\%)} = [\text{Peso 1 minuto}] \cdot 100 / [\text{Peso inicial}]$$

siendo el Peso 1 minuto, el peso del conjunto cepellón + planta tras sumergir el cepellón en agua un minuto y dejar drenar, y Peso inicial, el peso del cepellón completamente hidratado + planta antes de iniciar el aviveramiento (peso máximo en saturación).

e) Capacidad de regeneración radical.

En el día de la plantación también se inició un test de capacidad de regeneración radical (CRR) (Burdett, 1987). Se emplearon 180 plantas (30 plantas por lote). Para analizar si la rehidratación de la planta por inmersión del cepellón durante un minuto es capaz de influir en la respuesta de los brinzales que han permanecido aviverados sin riego, se dividieron las plantas en dos grupos de 90 individuos. Al primero se le sometió a un test de CRR sin que las plantas fueran previamente rehidratadas, mientras que las plantas del segundo grupo fueron rehidratadas a base de sumergir sus cepellones en agua durante un minuto antes de iniciar el test. Para la realización de la CRR, las plantas se transplantaron a contenedores de 3 litros rellenos con perlita y permanecieron en un invernadero durante 28 días, siendo regadas cada dos o tres días. Transcurrido dicho tiempo, las plantas se extrajeron y todas las raíces blancas mayores de un centímetro que se proyectaban fuera del cepellón fueron cortadas y contadas. La CRR de una planta se definió como el número de nuevas raíces formadas de más de un centímetro.

Crecimiento y supervivencia de los brinzales en campo

Tras la plantación, se hizo un seguimiento del crecimiento de los brinzales de los lotes de aviveramiento. Para ello se hizo una medición base del diámetro y de la altura de los 540

brinzales plantados al día siguiente de la plantación (4 de marzo 1998) y una segunda medición hacia finales del verano, el 3 de septiembre de 1998. El crecimiento en altura y en diámetro se halló en valor absoluto por diferencia entre ambas mediciones. Se determinó el incremento de volumen de los tallos como una medida que integró el incremento de diámetro y altura, asimilando los tallos a estructuras cilíndricas.

El mismo día que se realizó la segunda medición de altura y diámetro se hizo un recuento de marras en la parcela.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis factoriales de la varianza (ANOVA), siendo los factores analizados la duración del aviveramiento y el bloque. En el caso del test de CRR, se incorporó, además, el factor rehidratación previa de las plantas. En los ANOVA significativos, la comparación múltiple de medias se efectuó con el test de Tukey.

Resultados

Desde un punto de vista cualitativo el aspecto de los cepellones y de las plantas difirió claramente entre lotes, especialmente cuando se comparó los lotes 5 y 6 con los restantes. En los que más tiempo estuvieron aviverados, muchas de las plantas tenían el ápice del tallo caído (pérdida de turgencia), los cepellones mostraban un aspecto acartonado y en ellos no había o apenas se apreciaban raíces blancas.

Desde un punto de vista cuantitativo, el aumento del tiempo de aviveramiento sin riego produjo un incremento del porcentaje de pérdida de peso de las bandejas con respecto a su peso inicial en saturación debido a una caída del contenido de agua en los cepellones (Tabla 1). Este efecto se tradujo en una caída del potencial hídrico de madrugada de las plantas. Los lotes 1, 2 y 3 presentaron valores de $\Psi_{\text{madrugada}}$ elevados y semejantes. Sin embargo, a partir de los 11 días de aviveramiento sin riego (lote 3), cuando las bandejas habían experimentado pérdidas de peso del 40%, se observó un descenso significativo del $\Psi_{\text{madrugada}}$, tal como reflejan los datos de los lotes 4, 5 y 6 (Tabla 1).

Después de sumergir los cepellones durante un minuto en agua, los lotes 5 y 6 presentaron capacidades de resaturación de tan solo el 65%, frente a las plantas control o las del lote 2 que fueron cercanas al 95% (Tabla 1). Al abrir los cepellones rehidratados de los lotes 5 y 6 se observaron numerosas zonas mal hidratadas e incluso completamente secas. Esta incapacidad de rehumectación de los cepellones coincide con numerosas experiencias hechas en el Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo” en las que se ha constatado que la rehidratación de la turba es muy difícil por debajo de valores de $\Psi_{\text{madrugada}}$ del cultivo de $-1,8$ MPa. La menor capacidad de rehumectación de los cepellones de turba sugiere, que cuando experimenten una fuerte desecación las plantas tendrán más dificultad para tomar agua del suelo, aun estando éste muy húmedo. De hecho, pudimos observar que las plantas de los lotes 5 y 6 una vez transplantados en el campo después del aviveramiento, tardaron de 3-4 semanas en alcanzar el mismo estado hídrico de las plantas control (Vallas Cuesta, 1998), posiblemente en el momento en el que las raíces en crecimiento se embutieron en el suelo circundante al cepellón.

Tabla 1.- Número de días de aviveramiento sin riego experimentado por cada lote y sus correspondientes valores medios \pm un error estándar de potencial hídrico de madrugada medio ($\Psi_{\text{madrugada}}$), porcentaje de pérdida de peso de las bandejas con respecto a saturación (PP bandejas), porcentaje de volumen de agua en el sustrato medido con un TDR (VA cepellón) y capacidad de resaturación del cepellón. Los datos en paréntesis son el error estándar. Las medias en una misma variable con la misma letra indica que no difieren estadísticamente entre sí ($P \geq 0.05$).

Lote	Días de aviveramiento	$\Psi_{\text{madrugada}}$ (-MPa)	PP bandejas (%)	VA cepellón (%)	Resaturación cepellón (%)
1 (control)	0	-0,46 \pm 0,05 a	11,1 \pm 0,4 d	24,7 \pm 1,17 a	94,5 \pm 1,6 a
2	5	-0,64 \pm 0,04 ab	21,4 \pm 1,5 c	16,4 \pm 1,67 b	93,8 \pm 1,5 a
3	11	-0,79 \pm 0,12 ab	40,1 \pm 0,6 b	7,6 \pm 1,42 c	83,5 \pm 1,5 b
4	20	-1,63 \pm 0,25 c	53,6 \pm 1,8 a	1,75 \pm 0,79 d	74,8 \pm 2,3 c
5	27	-2,51 \pm 0,55 c	57,8 \pm 0,9 a	0,02 \pm 0,02 d	64,9 \pm 1,8 d
6	33	<-3,79 \pm 0,96 *	59,0 \pm 0,9 a	0 \pm 0 d	65,2 \pm 1,7 d

* En el caso del lote 6 hubo dos muestras cuyo $\Psi_{\text{madrugada}}$ superó el valor máximo de la cámara de Scholander (-6,5 MPa), por lo que este lote no se tuvo en cuenta al hacer el ANOVA.

La capacidad de regeneración de raíces (CRR) de las plantas también se vio afectada negativamente por el aviveramiento (Foto 1 y Figura 2). Las plantas control y la de los lotes 2 y 3 presentaron una CRR elevada, no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Es en los lotes 4, 5 y 6 donde se observó una reducción significativa de la CRR (Figura 2). Los lotes 5 y 6, los que mayor tiempo de aviveramiento experimentaron, produjeron entre un 65-75% menos de raíces que el control. En ningún caso la rehidratación de las plantas antes de realizar el test de CRR mejoró su capacidad de producción de nuevas raíces (Figura 2), es decir, que una vez que las plantas han sufrido una fuerte desecación, el riego o imbibición en agua antes de la plantación no mejora su vigor a corto plazo.

La reducción de la CRR estuvo estrechamente ligada con el nivel de estrés hídrico padecido por las plantas al final del aviveramiento una respuesta que coincide con la observada por otros autores (Girard *et al.*, 1997; Villar Salvador *et al.*, 1999). Valores de $\Psi_{\text{madrugada}}$ superiores a -1 MPa y pérdidas de peso de las bandejas inferiores al 40% con respecto a su peso en saturación, no afectaron la CRR de las plantas (Figura 3a y 3b), rondando entre 60 y 80 el número de nuevas raíces producidas. Por debajo de dichos valores la capacidad de producción de nuevas raíces se redujo drásticamente, lo cual coincide con lo observado por otros autores.

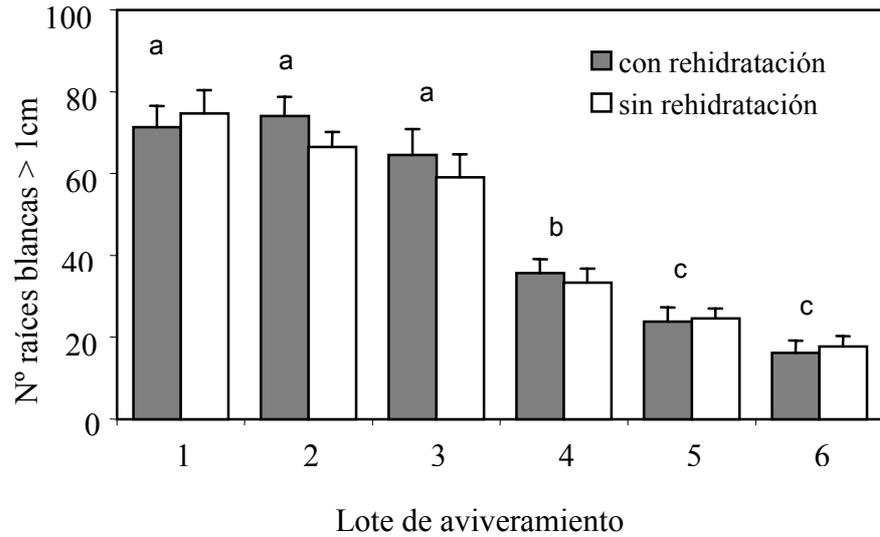


Figura 2.- Número de raíces medias producidas por cada lote de aviveramiento en brinzales no rehidratados y rehidratados antes del test de CRR. Las horquillas representan el error estándar. Los lotes con las mismas letras indican que no difieren estadísticamente entre sí ($P \geq 0.05$).

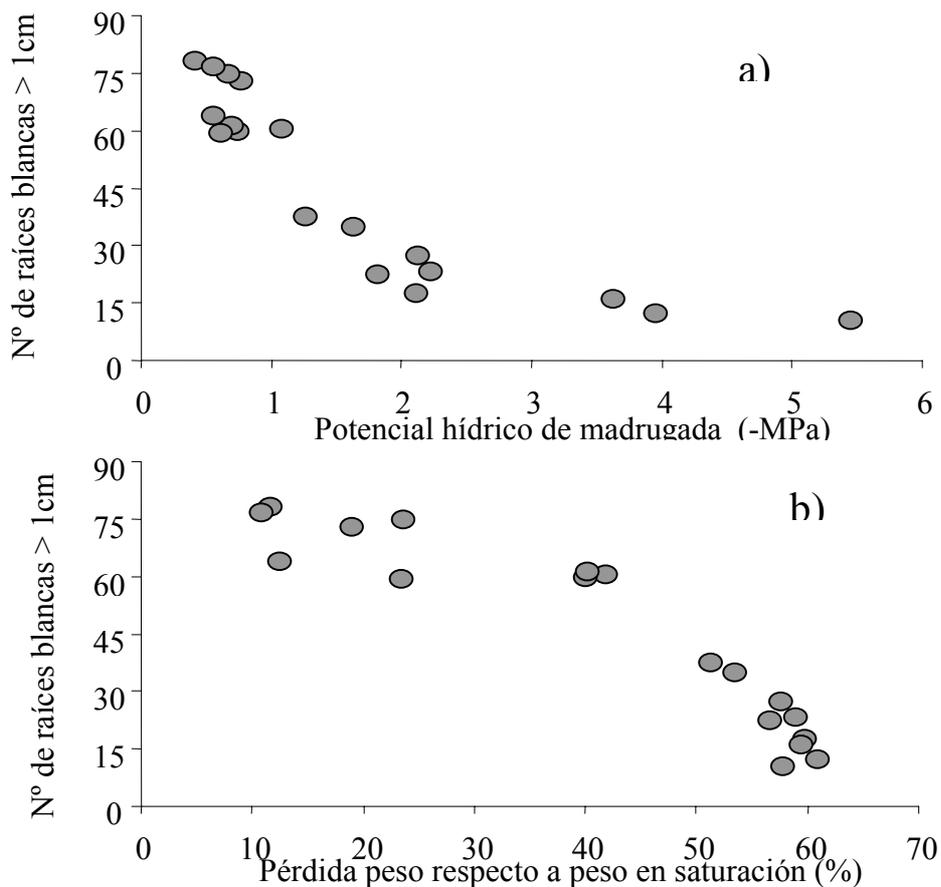


Figura 3.- Relación entre el potencial hídrico de madrugada (a) de los brinzales de *Pinus halepensis* y el porcentaje de pérdida de peso de las bandejas con respecto a su peso en saturación al finalizar el aviveramiento (b), con el número de raíces nuevas de más de 1 cm generadas por las plantas en un test de CRR.

La CRR se considera como una medida del vigor de las plantas. Plantas sanas y vigorosas tienden a producir mayor cantidad de raíces que plantas de escasa calidad morfo-fisiológica (Ritchie, 1985; Simpson y Ritchie, 1997). De hecho, en consonancia con nuestros resultados, TINUS (1996) concluyó que la CRR es un buen indicador de daños inducidos por estrés hídrico en *Pseudotsuga menziesii*. Por lo tanto, la relación negativa entre la CRR y el $\Psi_{\text{madrugada}}$ observada en nuestro estudio sugiere que las plantas que han experimentado un fuerte nivel de estrés hídrico como resultado de un prolongado aviveramiento sin riego reducen su vigor. Esta respuesta parece deberse a los daños que sufren especialmente las raíces finas (Coutts, 1982) y a la reducción de la capacidad de transporte de agua por el xilema debido a la aparición de embolias en las traqueidas y vasos conductores (Girard *et al.*, 1997; Bates y Niemiera, 1996).

Una consecuencia de la pérdida de vigor de las plantas largamente aviveradas, fue la reducción de la supervivencia y el crecimiento después del primer verano en campo (Tabla 2). Los cuatro primeros lotes de aviveramiento presentaron valores elevados y semejantes de supervivencia (>95%). Sin embargo, el lote 6 presentó el porcentaje de supervivencia más bajo, siendo significativamente inferiores al de los cuatro primeros lotes de aviveramiento. El lote 5 mostró un porcentaje intermedio (Tabla 2).

A diferencia de la supervivencia, el crecimiento de los brinzales se manifestó menos sensible al estrés hídrico causado por un prolongado aviveramiento. Aunque el crecimiento en altura y diámetro mostró una tendencia a disminuir a partir del lote 4, solamente el lote 6 presentó una reducción estadísticamente significativa en su crecimiento con respecto a los lotes que menos tiempo permanecieron aviverados (Tabla 2).

Tabla 2.- Supervivencia y crecimiento medio (± 1 error estándar) en campo de los lotes de aviveramiento de *Pinus halepensis* medido a principios de septiembre. Las medias con las mismas letras indican que no difieren estadísticamente entre sí ($P \geq 0.05$).

Nivel de aviveramiento	Supervivencia (%)	Incremento en altura (cm)	Incremento en diámetro (mm)
1 (control)	100 \pm 0,0 a	19,3 \pm 1,0 abc	3,89 \pm 0,1 ab
2	97,8 \pm 1,1 ab	20,9 \pm 1,2 ab	3,84 \pm 0,1 ab
3	97,8 \pm 2,2 ab	22,7 \pm 0,7 a	4,07 \pm 0,2 a
4	96,7 \pm 3,3 ab	18,3 \pm 1,3 abc	3,13 \pm 0,4 ab
5	86,7 \pm 5,1 bc	17,4 \pm 0,8 bc	3,20 \pm 0,4 ab
6	76,7 \pm 6,7 c	15,4 \pm 0,8 c	2,84 \pm 0,1 b

Al igual que lo observado con la CRR, la supervivencia y, en menor medida, el crecimiento en volumen (altura x diámetro) de las plantas después de 6 meses en el campo, se relacionó negativamente con el estado hídrico de las plantas en el momento de la plantación. Cuando el $\Psi_{\text{madrugada}}$ de los brinzales plantados fue superior a -2 MPa (Figura 4a), la supervivencia se mantuvo por encima del 90%, pero por debajo de dicho valor y con pérdidas de peso de las

bandejas cercanas al 52% la supervivencia disminuyó rápidamente (Figura 4b). El incremento en volumen de los tallos también mostró un patrón de respuesta similar con el estado hídrico de las plantas (Figura 4) si bien el comienzo de la caída del mismo con el estrés hídrico ocurrió a valores más altos de potencial hídrico (aproximadamente $-1,5$ MPa) y con menor pérdida de peso de las bandejas que la supervivencia.

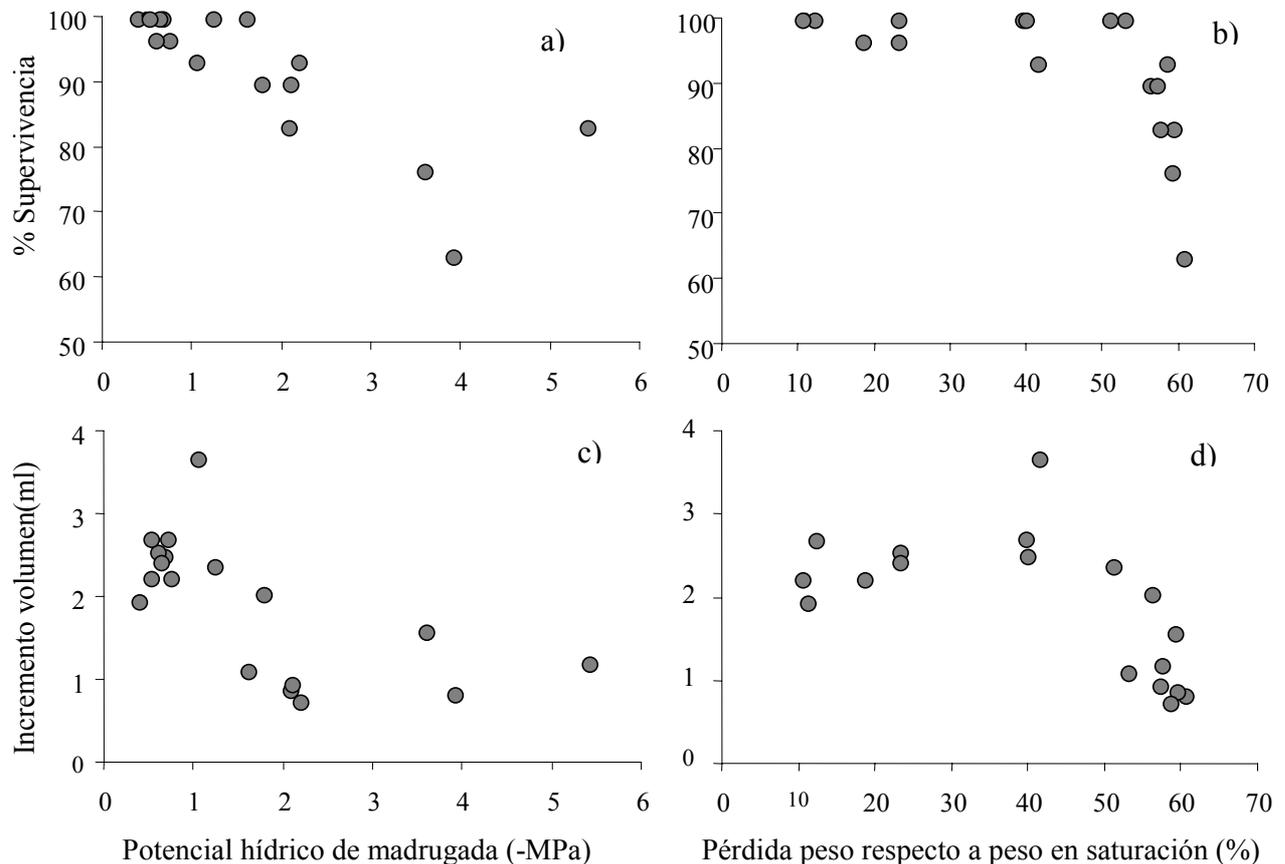


Figura 4.- Relación entre el potencial hídrico de madrugada de los brinzales de *Pinus halepensis* y el porcentaje de pérdida de peso de las bandejas con respecto a su peso en saturación el día de la plantación, con la supervivencia (a y b) y el incremento en volumen (c y d) 6 meses después en campo.

Conclusiones y recomendaciones

El prolongado aviveramiento de los brinzales de *Pinus halepensis* sin riego produce una reducción significativa del contenido hídrico de las plantas y de los cepellones, así como de la capacidad de resaturación de estos últimos. Si la desecación de las plantas supera un umbral de $\Psi_{\text{madrugada}}$ de entorno a -1 MPa, se produce una pérdida del vigor de las mismas, que se refleja en una pérdida de la capacidad de producir nuevas raíces. Cuando los brinzales son transplantados con valores de $\Psi_{\text{madrugada}}$ inferiores a aproximadamente -2 MPa, el porcentaje de marras se eleva rápidamente. Por otro lado, la práctica de rehidratar las plantas que han experimentado una apreciable desecación durante el aviveramiento antes de la

plantación, no mejora su vigor a corto plazo ni permite una completa rehumectación de los cepellones.

Bajo las condiciones experimentales de este trabajo, la duración crítica del aviveramiento sin riego a partir del cual se produjo una merma significativa de la calidad funcional de las plantas, fue de 11 a 20 días. Desde un punto de vista práctico sería ideal establecer unos límites temporales para controlar el límite de aviveramiento. Sin embargo, no recomendamos el tiempo como un criterio de control del aviveramiento en el campo, ya que no es objetivo. La velocidad de desecación de las plantas depende de muchos factores: su tamaño, el volumen del contenedor en el que han sido producidas (Vallas Cuesta, 1998), las condiciones microclimáticas durante el aviveramiento, el grado de hidratación de las plantas al salir del vivero, etc. Basta con una pequeña alteración de algunos de estos factores para que los tiempos observados en este estudio experimenten variaciones apreciables. Por ello, es muy difícil establecer unos tiempos críticos recomendables si bien lógicamente lo ideal es que el tiempo que deban permanecer las plantas aviveradas en campo sin riego sea el menor posible. El mejor criterio para decidir la duración segura del aviveramiento es conocer directamente el estado hídrico de las plantas, midiendo su potencial hídrico. Sin embargo, tal medición presenta una serie de inconvenientes logísticos y precisa que el personal implicado esté adiestrado especialmente. Por ello, recomendamos otros métodos objetivos que resultan más sencillos pero suficientemente adecuados, como son la determinación del contenido de agua en los cepellones, empleando medidores de tipo TDR, convenientemente calibrados para los sustratos en los que son producidas las plantas, o bien controlando la pérdida de peso de las bandejas con respecto a su peso en saturación. Para ello solamente se necesita una pequeña balanza casera con una precisión de 250-500 g. Como guía, en la Tabla 3 se proporciona los límites aproximados de porcentaje de pérdida de peso con respecto a su peso en saturación de diversos cultivos de *Pinus halepensis* realizados en el Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo” con distintos tipos de bandejas forestales, a partir de los cuales estimamos se puede incrementar el riesgo de que las plantas sufran pérdidas de desarrollo en la plantación. Igualmente se proporcionan los pesos que tienen las bandejas de dichos cultivos cuando están en saturación. El sustrato empleado fue turba rubia

Tabla 3.- Peso en saturación (bandeja + sustrato en saturación + planta) de referencia de varios tipos de bandejas de cultivo de planta forestal y porcentaje de pérdida de peso límite de aviveramiento para que las plantas no sufran daños. El peso en saturación es el obtenido después de un riego abundante y prolongado del cultivo o bien después de sumergir las bandejas en agua y dejarlas drenar durante una hora.

	Forest Pot 200	Forest Pot 300	Forest Pot 400	Arnabat 48A (250ml)	Arnabat 48C (300ml)	Plasnor 200	Plasnor 300	Root Trainer (350 ml)	Poliforest
Peso en saturación (kg)	> 7,8	9,5-11,5	10-10,5	8	10,5-11,5	>6,5	>9,3	>9,3	>11,4
Pérdida de peso límite (%)	40-44	40-45	60-70	45-50	40-45	58-65	70-76	-	-

Bibliografía

- ARNOTT J.T.; GROSSNICKLE, S.C.; PUTTONEN, P.; MITCHELL, A.K. y FOLK, R.S. (1993). *Influence of nursery culture on growth, cold hardiness, and drought resistance of yellow cypress*. Canadian Journal of Forest Research 23, 2537-2547.
- BATES, R.M. y NIEMIERA, A.X.; (1996). *Effect of transplanting on shoot water potential of bareroot washington hawthorn and norway maple trees*. Journal of Environmental Horticulture, 14: 1-4.
- BURDETT, A.N. (1987). *Understanding root growth capacity: theoretical considerations in assesing planting stock quality by means of root growth tests*. Canadian Journal of Forest Research, 17: 768-775.
- COUTTS, M.P. (1982). *Water relations of Sitka spruce seedlings after root damage*. Annals of Botany, 49: 661-668.
- GIRARD, S.; CLEMENT, A.; COCHARD, H.; BOULET-GERCOURT, B y GUEHL, J.M.. (1997). *Effects of desiccation on post-planting stress in bare-root Corsican pine seedlings*. Tree Physiology, 17: 429-435.
- GÓMEZ MAMPASO, V.; y OCAÑA BUENO, L.; (1997). *Las marras causadas por defectos en las operaciones de reforestación*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 4: 35-42.
- LESHEM, B. (1970). *Resting roots of Pinus halepensis : structure, fuction, and reaction to water stress*. Botanical Gazette, 131 :99-104
- PEÑUELAS, J.L. (1993). *Calidad de la planta forestal para el plan de reforestación de tierras agrícolas*. Montes, 33: 84-97.
- RITCHIE, G.A. (1985). *Root Growth Potential: principles, procedures, and predictive ability*. En: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major test pp 93-104. Editado por Mary L. Duryea, Oregon State University, Corvallis.
- SIMPSON, D.G. y RITCHIE, G.A. (1997). *Does RGP predict field performance? A debate*. New Forests, 13:253-277
- TINUS, R.W. (1996). *Root growth potential as an indicator of drought stress history*. Tree Physiology, 16: 795-799.
- VALLAS CUESTA, J. (1998). *Estudio del efecto del estado hídrico de los brinzales de Pinus halepensis antes de la plantación en su calidad funcional y su capacidad de desarrollo posterior en campo*. Proyecto Fin de Carrera. EUIT Forestal. Madrid. 121 pp.
- VILLAR SALVADOR, P.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS J.L. y CARRASCO, I. (1999). *Effect of water stress conditioning on the water relations, root growth capacity, and the nitrogen and non-structural carbohydrate concentration of Pinus halepensis Mill. (Aleppo pine) seedlings*. Annals of Forest Science 56: 459-465.

