

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE CULTIVO EN VIVERO EN LAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES Y EL DESARROLLO EN CAMPO DE *JUNIPERUS THURIFERA*

Pedro Villar-Salvador^{1,2}, Juan L. Peñuelas Rubira¹, Inmaculada Carrasco¹ y Luis F. Benito¹

1. Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente, Apdo. 249, 19004 Guadalajara (España). Tel. 949-212651 e-mail: jlpenuelas@mma.es;

2. Dirección actual y autor de contacto: Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, Madrid (España). Tel. 91-8856401, e-mail: pedro.villar@uah.es

Resumen

El objetivo general de este trabajo es conocer aspectos básicos del cultivo de *Juniperus thurifera*. Específicamente, hemos analizado la influencia de tres niveles de fertilización nitrogenada: baja, moderada y alta (30, 75 y 150 mg N año⁻¹, respectivamente) y dos volúmenes del contenedor de cultivo (200 y 300 ml) en los atributos de las plantas y su respuesta post-plantación. Ninguno de los tratamientos ensayados permitió la producción de brinzales de *J. thurifera* de una savia con los cepellones suficientemente consolidados para resistir su manejo durante los trabajos de plantación, necesiéndose extender el cultivo durante un segundo período vegetativo. La fertilización nitrogenada aumentó el tamaño aéreo y radical, la capacidad de producción de nuevas raíces (RGC), la concentración de N y P en la parte aérea y la concentración de N radical. La fertilización no afectó a la concentración de P radical y sólo lo hizo marginalmente sobre la la proporción masa aérea / masa radical (MA/MR). El volumen del contenedor no influyó en ninguno de los atributos medidos en el vivero. La mortandad en campo fue nula para los tratamientos ensayados. Sin embargo, el crecimiento en las plantas moderada y altamente fertilizadas fue considerablemente mayor que las poco fertilizadas. Igualmente el potencial hídrico (Ψ) durante el verano de las primeras fue más alto (menos negativo) que el de las plantas poco fertilizadas, observándose una relación positiva entre el crecimiento en campo y el Ψ estival. El crecimiento de los plantones de sabina albar también se relacionó positivamente con el tamaño inicial de las plantas, RGC y la concentración de N y P. Una vez extraída la influencia del tamaño inicial de la planta, el crecimiento en campo también se relacionó positivamente con MA/MR. El volumen del envase no tuvo ningún efecto sobre el crecimiento en campo pero sí sobre el Ψ_{alba} .

P.C.: calidad de planta, crecimiento, estrés hídrico, morfología nitrógeno

INTRODUCCIÓN

La sabina albar (*Juniperus thurifera*) es capaz de colonizar zonas de inviernos muy fríos y secas como las que existen al este de Castilla y León, sur de Aragón y noreste de Castilla-La Mancha. En las últimas décadas se ha producido una expansión de sus poblaciones en paralelo al abandono de las explotaciones agrícolas y ganaderas. Esta expansión se ha producido sobretudo en tierras agrícolas abandonadas y en pastizales donde las condiciones son relativamente favorables para la colonización de esta especie. Sin embargo, en numerosas zonas marginales con suelos delgados y pedregosos o en ladera la colonización natural de esta especie y de otras leñosas es muy limitada. En muchos de estos terrenos se realizan plantaciones con *Pinus nigra*, y en algún caso con *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*, pero en pocas ocasiones se emplea sabina albar a pesar de su elevada capacidad de crecer en lugares ambientalmente muy difíciles. Ello se debe, entre otras razones, a la dificultad de germinación de sus semillas y a la falta de información sobre cómo cultivar esta especie.

El volumen del envase condiciona significativamente el crecimiento de las plantas en vivero. Un incremento de la cavidad de enraizamiento aumenta la tasa de fotosíntesis y el crecimiento de los brinzales, sin alteraciones importantes entre la proporción de masa aérea y masa radical (ROMERO *et*

al., 1986; LANDIS *et al.*, 1990; SAMUELSON & SÉLLER, 1993). Los brinzales cultivados en contenedores más grandes suelen presentar mayor supervivencia y crecimiento que los producidos en cavidades pequeñas (DOMÍNGUEZ- LERENA, 1997; VILLAR-SALVADOR *et al.*, 2001).

La fertilización es otra de las prácticas viverísticas que más incidencia tienen sobre la calidad final de la planta. Aunque todos los nutrientes minerales son fundamentales, el nitrógeno es el que más influye en el crecimiento de las plantas. Algunos trabajos previos han demostrado una relación positiva entre la fertilización nitrogenada recibida por los plantones durante su cultivo y su posterior supervivencia y crecimiento en campo (OLIET *et al.*, 1997; VAN DEN DRIESSCHE, 1991, VAN DEN DRIESSCHE, 1992; VILLAR-SALVADOR *et al.*, 2004).

El objetivo de este trabajo es contribuir al conocimiento del cultivo de la sabina albar. Específicamente, se ha analizado la influencia de tres niveles de fertilización nitrogenada (30, 75 y 150 mg N año⁻¹) y dos volúmenes del contenedor de cultivo (200 y 300 ml) en algunos atributos funcionales y la respuesta post-plantación de las plantas. Además, se ha analizado qué relación existe entre los parámetros funcionales de las plantas al salir del vivero y su desarrollo en campo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el cultivo se utilizaron semillas obtenidas de Pedraza (Segovia). Las semillas se germinaron en un semillero y cuando las plántulas tuvieron unas pocas semanas se transplantaron a contenedores ®Forest Pot 200 y 300, ambos con una densidad de cultivo de 387 plantas m⁻² y una apertura del alveolo de 15 cm². El sustrato de cultivo fue turba rubia sin fertilizar. Se diferenciaron tres niveles de fertilización nitrogenada: 30, 75 y 150 mg N planta⁻¹ año⁻¹. La concentración de los restantes elementos minerales fue la misma. El N se aportó en forma de NH₄NO₃ con una pureza de 33.5%. La cantidad de P y K recibida por cada planta fue 40 y 75 mg año⁻¹, respectivamente. Para el P se empleó ácido fosfórico (pureza 85%) y para el K se utilizó sulfato de potasio (pureza 50%). Los oligoelementos fueron aportados a partir de un preparado comercial (Kanieltra, Hydro Agri, Oslo, Noruega). El cultivo se extendió a lo largo de dos años. La fertilización fue semanal y se prolongó durante 28 semanas. El primer año (2002) se comenzó a principios de mayo finalizando en la tercera semana de noviembre, mientras que el segundo año (2003) se comenzó a mediados de abril hasta final de octubre. El fertilizante se aplicó manualmente a cada planta con la ayuda de una jeringa. Debido a que la disolución fertilizante presentó una concentración elevada se procedió a regar las plantas (20 l m⁻²) después de aplicarla con el fin de diluir la solución fertilizante en el cepellón. El riego durante todo el cultivo fue dirigido a mantener las plantas bien hidratadas. El verano del segundo año el riego fue casi diario y en algunas ocasiones se tuvo que regar más frecuentemente las plantas más fertilizadas. El número de tratamientos ensayado fue 6, resultado de combinar los dos volúmenes de contenedor y los tres niveles de fertilización nitrogenada. Cada tratamiento estuvo representado por 2 bandejas, las cuales fueron dispuestas en el espacio de forma aleatoria.

Dos semanas después de finalizar el cultivo, se muestreó de forma aleatoria 16 individuos por tratamiento (8 por bandeja). Las plantas fueron congeladas a -25 °C hasta su procesamiento en el laboratorio. Para su procesamiento las plantas fueron descongeladas separándose la parte aérea de la radical por el punto de inserción de los cotiledones. El cepellón fue deshecho separándose la turba de las raíces, las cuales fueron lavadas con agua de grifo y posteriormente enjuagadas con agua destilada. La parte aérea fue lavada con agua jabonosa y posteriormente enjuagada con agua destilada. Las partes aéreas y radicales se secaron en una estufa de aire forzado a 50 °C durante 48 horas y finalmente pesadas y molidas por separado. Del material molido se determinó la concentración de N y P de la parte aérea y la radical.

Para medir la capacidad de las plantas de producir nuevas raíces (RGC), se transplantaron ocho plantas por tratamiento tomadas al azar a contenedores de 3 L con perlita. Las plantas permanecieron al aire libre desde el 10 de noviembre 2003 al 19 de febrero de 2004. Las plantas se mantuvieron bien hidratadas durante este tiempo y al final del mismo las plantas se extrajeron de los envases y se cortaron todas las raíces blancas mayores de 1 cm que se proyectaban fuera del cepellón. A continuación se secaron en una estufa a 50°C y se pesaron. La RGC de una planta se definió como la masa total de nuevas raíces de más de 1 cm.

La plantación se realizó en febrero de 2003 en Prado Esquiladores, en la Serranía de Cuenca. La parcela era un antiguo pastizal y es llana con un suelo arcilloso y gran cantidad de piedra caliza. La preparación del suelo fue un subsolado de 60 cm de profundidad y la parcela consistió en 4 surcos de aproximadamente 40 m, separados entre sí 2m. De cada bandeja de cultivo se obtuvieron 14 individuos que fueron separados en dos grupos de 7 plantas. Cada grupo de 7 plantas fue posicionado al azar en la parcela. Después de la plantación y de nuevo en diciembre de 2003 se realizaron mediciones de altura y diámetro del tallo. A partir de dichas variables se determinó el volumen del tallo asumiendo que este es un cono. En julio y agosto de 2003, se realizaron mediciones de potencial hídrico al alba y al mediodía (13 h solar) con una cámara de Scholander. El análisis de los datos se realizó por ANOVA, anidando el factor bandeja (factor aleatorio) a los factores principales, fertilización y contenedor (factores fijos). Se efectuaron regresiones para analizar la relación entre el crecimiento en campo y los parámetros de calidad medidos en vivero.

RESULTADOS

Al finalizar el primer año de cultivo, las plantas presentaron partes aéreas muy pequeñas de 4-6 cm de longitud y ninguno de los tratamientos produjo cepellones suficientemente consolidados para ser resistir el manejo de la planta en los trabajos de plantación. Por ello se optó por continuar el cultivo otro período vegetativo más. Al finalizar el segundo año de cultivo, se observó que la fertilización N incrementó el tamaño de las plantas, especialmente las variables relacionadas con el tamaño de la parte aérea ($P=0.001$), y en menor medida el de la parte radical ($P=0.058$). La relación entre la masa aérea y la masa radical (MA/MR) sólo fue afectada marginalmente por la fertilización ($P=0.08$). El contenedor no influyó significativamente en ninguna de las variables analizadas, excepto el diámetro en donde se observó que las plantas cultivadas en 300ml tendieron ($P=0.06$) a tener mayor diámetro que las cultivadas en 200ml.

La capacidad de producir nuevas raíces (RGC) se vio significativamente aumentado por la fertilización ($P=0.016$). Las plantas cultivadas con 30 mg N año⁻¹ presentaron un RGC 2.6 y 2.4 veces menor que las plantas cultivadas con un nivel moderado y alto de N, las cuales no presentaron diferencias entre sí. El volumen del envase no afectó RGC (Tabla 1).

Tabla 1. Datos morfológicos, capacidad de producir nuevas raíces (RGC) y concentración de N y P de brinzales de *Juniperus thurifera* de dos savias cultivados bajo tres niveles de fertilización nitrogenada (30, 75 y 150 mg año⁻¹) y en contenedores de 200 y 300 ml. MA/MR es la relación entre la masa aérea y la radical. Los datos son medias \pm 1 error estándar.

	Baja (30 mg N año ⁻¹)		Moderada (75 mg N año ⁻¹)		Alta (150 mg N año ⁻¹)	
	200 ml	300 ml	200 ml	300 ml	200 ml	300 ml
Altura (cm)	11.1 \pm 0.54	11.7 \pm 0.90	16.4 \pm 1.76	18.4 \pm 0.38	21.8 \pm 1.02	19.7 \pm 0.95
Diámetro (mm)	2.4 \pm 0.13	3.0 \pm 0.18	3.1 \pm 0.12	3.7 \pm 0.20	3.6 \pm 0.11	3.8 \pm 0.14
Masa aérea (g)	1.41 \pm 0.15	1.75 \pm 0.14	2.54 \pm 0.23	3.44 \pm 0.33	3.64 \pm 0.33	3.67 \pm 0.26
Masa raíz (g)	1.19 \pm 0.17	1.30 \pm 0.14	1.55 \pm 0.11	2.19 \pm 0.26	2.09 \pm 0.18	2.26 \pm 0.32
MA / MR	1.24 \pm 0.06	1.40 \pm 0.08	1.66 \pm 0.11	1.67 \pm 0.13	1.78 \pm 0.10	1.77 \pm 0.14
RGC (mg)	131 \pm 25	161 \pm 23	408 \pm 47	345 \pm 59	249 \pm 24	441 \pm 92
N aéreo (mg g ⁻¹)	8.83 \pm 1.04	9.30 \pm 0.56	11.15 \pm 0.69	10.40 \pm 1.01	13.43 \pm 0.83	13.05 \pm 1.79
N raíz	8.00 \pm 0.15	8.25 \pm 0.54	9.93 \pm 0.37	7.25 \pm 0.39	10.23 \pm 0.32	9.80 \pm 1.10

(mg g ⁻¹)						
P aéreo	0.93±0.07	1.02±0.13	1.11±0.09	1.03±0.05	1.24±0.04	1.25±0.20
(mg g ⁻¹)						
P raíz	0.77±0.05	0.84±0.09	0.90±0.06	0.70±0.02	0.82±0.05	0.76±0.14
(mg g ⁻¹)						

La concentración de N y P fue mayor en la parte aérea que en la radical. En el caso del P, las diferencias se acentuaron con el incremento de la fertilización N. La concentración de N y P de la parte aérea (N_A y P_A) se incrementó significativamente con la fertilización (N_A , $P=0.005$; P_A , $P=0.019$) (Tabla 1). Por ejemplo, la N_A de las plantas fertilizadas con 75 y 150 mg N año⁻¹ fue un 18 y 45% mayor, respectivamente, que las plantas fertilizadas con 30 mg N año⁻¹. La fertilización N también incrementó la concentración de N en la raíz (N_R), pero el efecto sólo fue aparente en los contenedores de 200 ml, mientras que en los de 300 ml, la fertilización con 75 mg N año⁻¹ redujo N_R (interacción fertilización × contenedor, $P=0.001$). No se observó ningún efecto de la fertilización N en vivero sobre la concentración de P radical.

No se observó ninguna marra durante el primer año en campo. En cambio, el incremento de volumen del tallo se vio afectado positivamente y de modo muy significativo por la fertilización previa en vivero ($P<0.001$). Las plantas moderada y fuertemente fertilizadas presentaron un 320 y 350%, respectivamente, mayor crecimiento que las poco fertilizadas. Las diferencias de crecimiento entre las plantas fertilizadas con 75 y 150 mg N año⁻¹ no fueron significativas (Figura 1). El volumen del envase no afectó el crecimiento. Al introducir el tamaño inicial de la planta en el momento de la plantación como covariable, los resultados no se vieron modificados, es decir que la fertilización afectó positivamente el crecimiento a pesar de ser el tamaño inicial una covariable significativa.

El potencial hídrico al alba (Ψ_{pd}) de los plántones en campo durante el verano se vio significativamente afectado por la fertilización ($P=0.001$) y por el volumen del contenedor ($P=0.018$). Las plantas fuertemente fertilizadas presentaron, en las dos fechas de estudio, menor Ψ_{pd} que las poco y moderadamente fertilizadas (Figura 2). Por otro lado, los plántones cultivados en contenedores de 300 ml presentaron en promedio un Ψ_{pd} más negativo que los cultivados en los envases de 200 ml (-1.71 vs. -1.49 MPa para FP 300 y FP200, respectivamente). En cuanto al potencial hídrico mínimo, las plantas fuertemente fertilizadas en vivero presentaron valores más positivos que los otros dos niveles de fertilización nitrogenada, si bien dicho efecto se registró en la medición de julio pero no en la de agosto, momento en el que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (interacción fertilización × fecha de medición $P=0.015$).

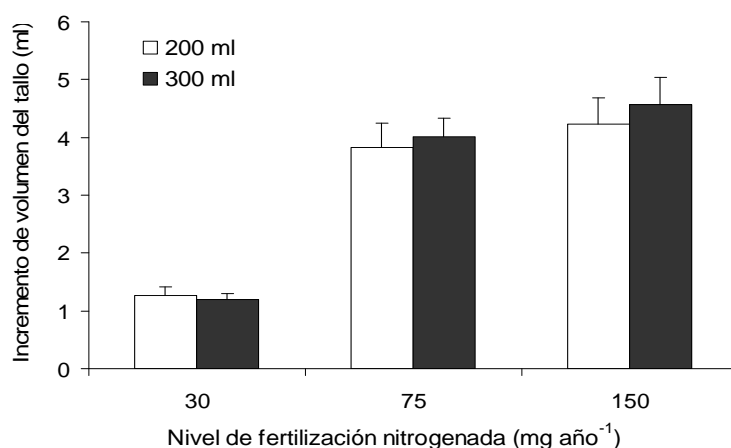


Figura 1. Crecimiento en volumen de los tallos después del primer periodo vegetativo en campo de plántones de *Juniperus thurifera* que fueron cultivados en el vivero con tres niveles de fertilización

nitrogenada y en contenedores de 200 y 300 ml. Los datos son medias \pm 1 error estándar, n=20.

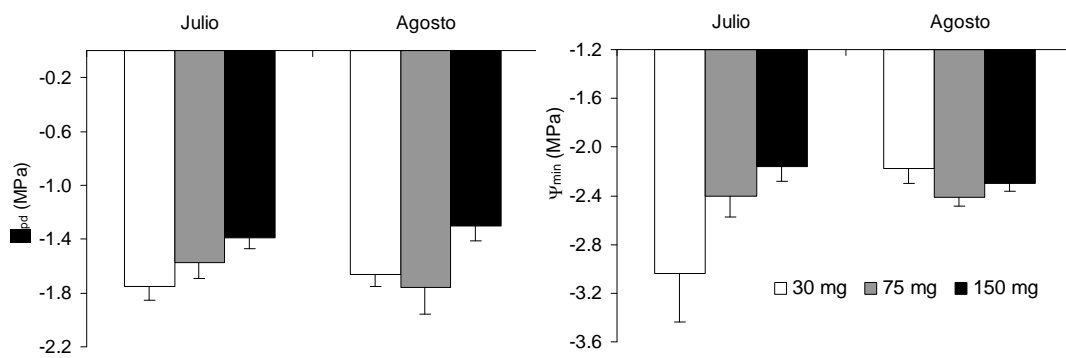


Figura 2. Potencial hídrico al alba (Ψ_{pd}) y al mediodía (Ψ_{min}) de plantones de *Juniperus thurifera* determinados en dos fechas del primer verano en campo. Los plantones fueron cultivados en vivero con tres niveles de fertilización nitrogenada. Los datos son medias \pm 1 error estándar, n=4.

El crecimiento de los plantones en campo se relacionó positivamente con la masa de la parte aérea (Figura 3) y RGC ($r^2=0.56$ $P=0.006$, regresión no mostrada). Ambas variables presentaron una baja redundancia y en un modelo de regresión múltiple ambas fueron estadísticamente significativas, si bien es la masa de la parte aérea la que mayor varianza explica. El crecimiento en campo también se relacionó con la concentración de N y de P pero son redundantes con el tamaño de la parte aérea (datos no mostrados). Una variable que merece una atención especial es la relación entre el crecimiento en campo y MA / MR. La correlación parcial del incremento de volumen del tallo en campo con MA / MR manteniendo la masa aérea constante, mostró una relación positiva y marginalmente significativa ($r=+0.57$ $P=0.065$, tolerancia = 0.65), es decir, que plantas con MA / MR más elevado fueron las que presentaron mayor crecimiento en campo. El crecimiento en campo de los plantones también se relacionó positivamente con su potencial hídrico medio durante el verano (media del Ψ_{pd} y Ψ_{min} en julio y agosto) (Figura 3).

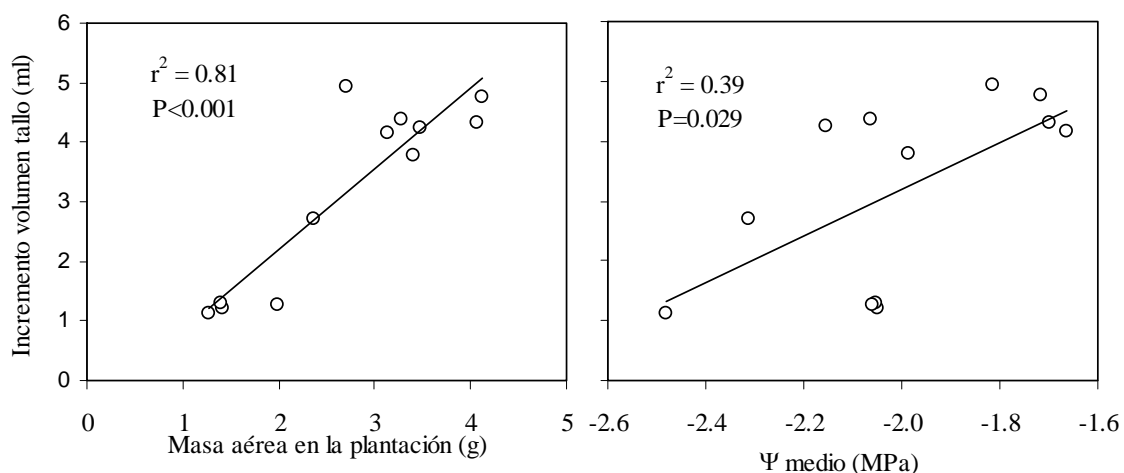


Figura 3. Relación entre el crecimiento en volumen del tallo en campo y la masa aérea al realizar la plantación (izquierda) y el potencial hídrico medio (media del Ψ_{pd} y Ψ_{min} en julio y agosto) del primer verano en campo (derecha) de plantones de *Juniperus thurifera*.

DISCUSIÓN

Con los contenedores y regímenes de fertilización empleados en este estudio no se han podido producir plantones de 1 savia con una calidad suficiente para ser manejada en los trabajos de repoblación. Posiblemente si se emplearan contenedores más pequeños, por ejemplo de 100-150 ml, sería posible obtener plantones de *Juniperus thurifera* de 1 savia con cepellones consolidados, pero su tamaño seguiría siendo muy pequeño y por tanto vulnerables al trasplante. Además, las plantas cultivadas en envases pequeños tienden a tener peor desarrollo en campo que las cultivadas en contenedores más grandes (DOMÍNGUEZ LERENA et al., 2000; ROMERO et al., 1986).

La fertilización tuvo un efecto mucho más significativo sobre las características funcionales de las plantas que el volumen del contenedor. El volumen del contenedor sólo afectó al diámetro mientras que el resto de variables examinadas fueron influenciadas por el nivel de fertilización nitrogenada. Un resultado semejante también se observó en *Quercus ilex* (VILLAR SALVADOR, et al. 2004). En nuestro estudio, la fertilización aumentó el tamaño de las plantas, incrementó la concentración de N y P aéreo e incrementó RGC. Esta última variable se considera que es una medida del vigor e integridad funcional de las plantas (SIMPSON & RITCHIE, 1997). Las principales diferencias debidas a la fertilización se observaron entre los plantones que recibieron una fertilización baja y aquellos que recibieron una fertilización media y alta, los cuales presentaron pocas diferencias entre sí.

No se observaron marras en campo en nuestro experimento aunque durante el verano los tratamientos experimentaron niveles moderados de estrés hídrico (ver Figura 2). Sin embargo, se observaron diferencias muy significativas de crecimiento relacionadas con el régimen de fertilización recibido en el vivero. Las plantas poco fertilizadas mostraron un considerable menor crecimiento que las plantas que recibieron una fertilización moderada y alta. Este efecto positivo de la fertilización en vivero también se ha puesto de manifiesto reiteradamente en otras especies mediterráneas (OLIET et al., 2004; PUÉRTOLAS et al., 2003; VILLAR-SALVADOR et al., 2000; VILLAR-SALVADOR et al., 2004). Además, el estado hídrico en el campo de los plantones poco fertilizados en vivero fue peor que el de las plantas moderada y altamente fertilizadas. Este resultado es muy interesante ya que demuestra que a pesar de que las plantas poco fertilizadas son más pequeñas y tienen menor MA / MR, una configuración morfológica que potencialmente confiere una mayor resistencia al estrés hídrico (LLORET et al., 1999), tuvieron un peor comportamiento fisiológico frente la sequía que las plantas fuertemente fertilizadas, las cuales presentaron los atributos morfológicos contrarios. Pensamos que el potencial hídrico más alto en las plantas moderada y altamente fertilizadas se debió a que desarrollaron sistemas radicales más profundos y /o extensos que las plantas poco fertilizadas. En apoyo a esta idea hemos visto que en el vivero las plantas poco fertilizadas presentaron menor capacidad de formación de nuevas raíces que las plantas moderada y altamente fertilizadas.

El crecimiento en campo de las plantas se relacionó positivamente con el potencial hídrico medio durante el verano. Como el crecimiento principal de los plantones fue primaveral, la relación observada sugiere que los plantones de crecimiento más vigoroso presentaron mejor estado hídrico en verano que los que presentaron crecimientos más pobres. Las plantas que mayor crecimiento en campo mostraron fueron las de mayor tamaño aéreo y MA/MR. Resultados semejantes se han observado en encina y pino piñonero (VILLAR-SALVADOR et al., 2000; VILLAR-SALVADOR et al., 2004) y sugieren que las plantas con más follaje y mayor MA/MR muestran un balance de carbono más favorable que las que presentan los atributos contrarios. Las plantas con MA/MR bajos (plantas poco fertilizadas) deben tener unos costes energéticos de mantenimiento mayores que las plantas de MA/MR altos (plantas altamente fertilizadas) con lo que la cantidad de energía disponible para otras funciones (por ejemplo nuevo crecimiento) es menor en las primeras. El mayor RGC de las plantas moderada y altamente fertilizadas en comparación con las poco fertilizadas es una evidencia de dicha hipótesis.

Al igual que el crecimiento en vivero, el volumen del contenedor no ha influido en el crecimiento en campo. Esto contrasta con lo observado en estudios con otras especies (DOMÍNGUEZ- LERENA, 1997; VILLAR-SALVADOR et al., 2001). Ello quizá se deba al lento crecimiento de esta especie o bien que en el rango de volúmenes ensayado, el volumen del contenedor no influye en el desarrollo de la sabina albar.

Agradecimientos

Este proyecto se financió con fondos del Ministerio de Medio Ambiente y del proyecto CICYT: Biología reproductiva de poblaciones naturales y desarrollo de la técnica de cultivo en vivero de *Juniperus thurifera*: bases para la conservación y restauración en sabinares (AGL2001-1061).

BIBLIOGRAFÍA

- DOMÍNGUEZ- LERENA, S. 1997. La importancia del envase en la producción de plantas forestales. *Quercus*, 134 (abril): 34-37.
- DOMÍNGUEZ LERENA, S., CARRASCO, I., HERRERO, N., OCAÑA, L., NICOLÁS, J.L., & PEÑUELAS, J.L. 2000. Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento en campo de las plantas de *Pinus pinea* en campo. In 1er Simposio del pino piñonero (*Pinus pinea*), Vol. I, pp. 203-209, Valladolid.
- LLORET, F., CASANOVAS, C., & PEÑUELAS, J. 1999. Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Functional Ecology*: 13, 210-216.
- OLIET, J., PLANELLES, R., SEGURA, M.L., ARTERO, F., & JACOBS, D.F. 2004. Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedling under controlled-release fertilizer. *Horticulture Science*., 103: 113-129.
- OLIET, J.A., PLANELLES, R., LÓPEZ, M., & ARTERO, F. 1997. Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. *Cuadernos Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 4: 69-79.
- PUÉRTOLAS, J., GIL, L., & PARDOS, J.A. 2003. Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry*, 76: 159-168.
- ROMERO, A.E., RYDER, J., FISHER, J.T., & MEXAL, J.G. 1986. Root system modification of container stock for arid land plantation. *Forest Ecology and Management*. 16, 281-290.
- SAMUELSON, L.J., SELLER, J.R. 1993. Red spruce seedling gas exchange in response to elevated CO₂, water stress, and soil fertility treatments. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 954-959.
- SIMPSON, D.G. & RITCHIE, G.A. 1997. Does RGP predict field performance? A debate. *New Forest*. 13: 253-277.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. 1991. Influence of container nursery regimes on drought resistance of seedlings following planting. I. Survival and growth. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 555-565.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. 1992. Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen, and potassium treatments. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 740-749.
- VILLAR-SALVADOR, P., DOMÍNGUEZ LERENA, S., PEÑUELAS RUBIRA, J.L., CARRASCO, I., HERRERO SIERRA, N., NICOLÁS PERAGÓN, J.L., & OCAÑA BUENO, L. 2000. Plantas grandes y mejor nutridas de *Pinus pinea* L. tienen mejor desarrollo en campo. In 1er Simposio del pino piñonero (*Pinus pinea* L.), Vol. 1, pp. 219-227. Junta de Castilla y León, Valladolid.
- VILLAR-SALVADOR, P., GARRACHÓN, S., DOMÍNGUEZ-LERENA, S., PEÑUELAS-RUBIRA, J., SERRADA, R., & OCAÑA, L. 2001. Desarrollo en campo, arquitectura radical y estado hídrico seis años después de la plantación de brinzales de *Pinus pinea* cultivados en diferentes tipos de contenedor. In III Congreso Forestal Español "Sierra Nevada 2001", Vol. 3, pp. 791-798. Sociedad Española de Ciencias Forestales, Granada.
- VILLAR-SALVADOR, P., PLANELLES, R., ENRÍQUEZ, E., & PEÑUELAS RUBIRA, J. 2004. Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecology and Management* 196: 257-266.