

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

P. VILLAR-SALVADOR^(1,2); S. GARRACHÓN⁽³⁾; S. DOMÍNGUEZ-LERENA⁽¹⁾ J.L. PEÑUELAS⁽¹⁾; R. SERRADA⁽³⁾; L. OCAÑA⁽⁴⁾

- 1) Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, DGCONA, Ministerio de Medio Ambiente, Apdo. 249, 19004 Guadalajara, Tel. 949 21 26 51 E-Mail: serranillo@mma.es
- 2) Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid). E-mail: pedro.villar@uah.es
- 3) EUIT Forestales, Univ. Politécnica de Madrid, Avda. Ramiro de Maeztu s/n. 28040 Madrid., Tel:913367659 E-Mail: serrada@forestales.upm.es y msgm@forestales.upm.es
- 4) TRAGSA, C/ Maldonado 58, Madrid, Tel. 91 396 36 97 Email: locana@tragsa.es

RESUMEN

Se ha analizado el desarrollo en campo y la arquitectura del sistema radical seis años después de la plantación de *Pinus pinea* cultivado en el vivero en siete contenedores: Forest Pot 150 y 300 (FP150 y FP300), Root Trainer (RT), WM, Paper Pot 615 con y sin repicado químico (PP615 y PP615rq) y la bolsa cerrada de polietileno. Las plantas crecidas en envases >350 mL presentaron menor mortandad que las cultivadas en envases más pequeños. La supervivencia y el crecimiento más bajo fueron observados en los árboles cultivados en FP150, mientras que los mayores los producidos en PP615rq, RT y WM. La superficie transversal total de raíces laterales de los individuos cultivados en FP150 fue menor que la de los restantes contenedores. La proporción entre la superficie transversal total de raíces y la superficie transversal del fuste (S_T/S_F) presentó los valores más bajos (~0,5) en los brinzales cultivados en bolsa, siendo los más altos (~1) los de los cultivados en PP615rq. No se hallaron diferencias entre contenedores en el desarrollo de las raíces pivotantes ni en la distribución radial de raíces (simetría). El estado hídrico de las plantas, medido en mitad del verano, no difirió entre envases. La supervivencia y el crecimiento se correlacionaron positivamente con S_T . Igualmente, la supervivencia, pero no el crecimiento, se relacionó positivamente con S_T/S_F . No se halló relación alguna entre el desarrollo del pino piñonero en campo y la simetría de su sistema radical. Si la bolsa es excluida, el volumen del envase está positivamente relacionado con el grado de desarrollo de las raíces de *P. pinea* en campo y con su S_T/S_F .

P.C.: Crecimiento, deformación radical, mortandad, pino piñonero, repoblación,

SUMMARY

This study addressed the field performance and root structure six years after outplanting of *Pinus pinea* trees grown in the nursery in seven different containers. Assessed containers were Forest Pot 150 and 300 (FP150 and FP300), Root Trainer (RT), WM, Paper Pot 615 with and without chemical pruning (PP615 and PP615rq) and polyethylene bag. Trees raised in containers of volumes smaller than 350mL showed a higher mortality than did those reared in larger ones. Trees grown in FP150 exhibited the lowest survival and growth whereas those raised in PP615rq, RT and WM showed the highest. Total transversal surface of lateral roots in FP150 grown plants was significantly lower than the trees grown in the other containers. The ratio of the total transversal root surface to stem transversal area at root collar (S_T/S_F) presented the lowest values (~0,5) in the polyethylene bag grown trees, the highest values (~1) being observed among the PP615rq grown trees. Both tap root transversal surface or radial root symmetry and water potential did not differ among containers. Survival and growth were positively correlated with S_T . Similarly, survival but not growth showed a positive correlation with S_T/S_F . Field performance was unrelated to radial root symmetry. If polyethylene bag is not considered, S_T and S_T/S_F of *Pinus pinea* trees is positively related to the container volume in which they are raised in the nursery.

KW: Container, Mediterranean, *Pinus pinea*, root growth, root deformation, reforestation

INTRODUCCIÓN

El volumen del contenedor puede determinar positivamente la supervivencia y el crecimiento después de la plantación (ROMERO *et al.*, 1986; DOMÍNGUEZ-LERENA, 2000). A medida que

aumenta el volumen de enraizamiento se incrementa tanto el crecimiento de los tallos como el de las raíces (LANDIS et al., 1990) y disminuye la densidad del sistema radical (masa radical/volumen). Una mayor densidad de raíces implica sistemas radicales más aglomerados que en envases de sección circular y/o con carencias de estructuras antiespiralizantes, se agravan con la formación de raíces reviradas. En envases de sección cuadrangular y con costillas longitudinales la formación de raíces reviradas es más difícil. Sin embargo, es muy frecuente que en ellos las raíces principales descendan pegadas a las paredes del envase, concentrándose en el fondo de los envases las zonas de crecimiento de las raíces. Esta conformación radical, la alta densidad de raíces y la presencia de raíces reviradas ha sido asociada con una menor capacidad de producción de raíces en campo, sobretodo de laterales y a una arquitectura muy diferenciada de la de las plantas regeneradas por semillado directo (GRENE, 1978; LINDGREN y ÖRLANDER, 1978; HALTER & CHANWAY, 1993). El tipo de envase también puede influir en el desarrollo de las raíces en campo (GRENE, 1978). Un menor grado de desarrollo del sistema radical puede disminuir la estabilidad estructural (LINDGREN y ÖRLANDER, 1978; LINDSTRÖM y RUNE, 2000) y el crecimiento de los árboles (HALTER & CHANWAY, 1993).

El objetivo de este trabajo es comparar el desarrollo (mortalidad y crecimiento) en el campo de brinzales de *Pinus pinea* cultivados en diferentes tipos de envases. Igualmente, se ha analizado la arquitectura radical de dichas plantas con el fin de examinar si se relaciona con las posibles diferencias de desarrollo en campo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han estudiado siete tipos de envase de diferentes volúmenes (Tabla 1). El cultivo se realizó en 1993, empleándose una mezcla de turba (80%) y vermiculita (20%), excepto las producidas en bolsa en las que se empleó tierra. A cada tratamiento se le aportó la misma cantidad de fertilizante y riego. La procedencia de las semillas fue La Mancha. En otoño de 1993 se realizó la plantación en Uceda (Guadalajara), que se encuentra a una altitud de 850 m, bajo un clima mediterráneo templado subhúmedo, con una precipitación media de 600 mm y una temperatura media de 13°C. Los suelos son alfisoles e inceptisoles, con texturas franco-arcillo-arenosas. La parcela de ensayo se situó en una zona llana. La preparación del suelo consistió en un acaballonado con vertedera forestal. El diseño espacial fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento y 20 plantas por repetición.

En la primavera de 1999, se midió la altura y diámetro de los individuos de los distintos tratamientos, contabilizándose el porcentaje de marras. En agosto de 1999 se determinó el potencial hídrico en seis individuos, representativos de la media de tamaño de cada tratamiento, medidos en cuatro momentos de dicho día. En otoño de ese año, 12 individuos representativos del tamaño medio de cada tratamiento fueron arrancados de raíz con una retroexcavadora. Las partes aéreas fueron cortadas, secadas al aire y pesadas. Los cepellones fueron procesados y medidos siguiendo la metodología descrita en SERRADA *et al.* (2001). En un cilindro imaginario de 18 cm de diámetro y 35 de profundidad y dividido en ocho sectores horizontales se determinó la superficie transversal total de raíces laterales (S_L), de las basales (S_B), el Índice de Simetría radial del sistema radical y la relación entre la superficie transversal total de las raíces (S_T) y la superficie transversal del fuste (S_F) medido en el cuello de la raíz.

Los datos fueron analizados por análisis de la varianza (ANOVA). En el caso de las mediciones de arquitectura radical y masa de los árboles, la unidad muestral fue el individuo y para la supervivencia la repetición. El potencial hídrico fue analizado por una ANOVA de medidas repetidas.

RESULTADOS

Después de seis años, FP150 mostró los valores más bajos de supervivencia mientras que las plantas cultivadas en PP615rq presentaron tres veces más supervivencia. Sin embargo, el ANOVA indicó que las diferencias de supervivencia no eran significativas (Tabla 1), lo cual atribuimos a la elevada variabilidad entre repeticiones. Sin embargo, un test de chi cuadrado reveló una asociación

muy significativa entre el tipo de contenedor y el número de individuos muertos y vivos ($\chi^2=32,5$ $P<0,001$, $gl=6$). Igualmente, al agrupar los contenedores por volúmenes se observó que las plantas cultivadas en volúmenes inferiores a 350 mL tendieron a presentar menor supervivencia que los producidos en volúmenes mayores ($< 350\text{mL}=34\%$ vs. $\geq 350\text{ mL}=60\%$; $F=3,77$ $P=0,06$).

RT y PP615rq presentaron los mayores crecimientos mientras que FP150 y la bolsa los menores. En el caso de FP150, su crecimiento fue la mitad de los individuos cultivados en RT y PP615rq. Los demás envases mostraron valores intermedios. Ψ , medido en mitad del verano del sexto año, no presentó diferencias entre envases (Tabla 1).

Tabla 1. Supervivencia (S), crecimiento en masa de la parte aérea, potencial hídrico (Ψ) y arquitectura radical de plantas de *Pinus pinea* seis años después de la plantación y cultivados en diferentes contenedores. En la parte inferior de cada variable se indica el valor de F derivada de la ANOVA y su probabilidad crítica asociada. Las medias con la misma letra no presentan diferencias significativas. S_L = superficie transversal de raíces laterales; S_B = superficie transversal de raíces pivotantes; S_T/S_F = relación entre la superficie transversal total de raíces y la superficie transversal del fuste.

Contenedor (volumen, mL)	S (%)	Masa aérea (kg)	Ψ (Mpa)	S_L (cm^2)	S_B (cm^2)	S_T/S_F	Índice de Simetría
FP150 (150)	22	0,75 c	-2,10	2,16 b	2,40	0,63 ab	2,8
FP300 (300)	47	1,24 abc	-2,23	4,42 ab	1,96	0,65 ab	3,1
RT (350)	63	1,55 a	-2,23	6,83 a	1,08	0,70 ab	3,0
PP615 (424)	62	1,14 abc	-2,18	6,58 a	1,17	0,75 ab	2,7
PP615rq (424)	78	1,50 a	-2,18	5,49 a	2,32	1,01 a	3,7
WM (500)	55	1,33 ab	-2,10	7,19 a	2,25	0,98 a	3,2
Bolsa (700)	43	1,06 bc	-2,08	3,98 ab	0,65	0,53 b	3,2
	1,17 $P=0,37$	5,42 $P<0,001$	0,94 $P=0,48$	5,9 $P<0,001$	F=1,16 $P=0,34$	F=3,16 $P=0,009$	F=1,12 $P=0,36$

En cuanto a la arquitectura de las raíces, no se encontraron diferencias significativas en el Índice de Simetría ni de superficie transversal de las raíces pivotantes (S_B). No obstante, es interesante destacar el pobre desarrollo de las raíces pivotantes en las plantas cultivadas en bolsa con respecto a los demás envases. La superficie transversal de raíces laterales (S_L) y la relación entre la superficie transversal total de raíces y la del fuste (S_T / S_F) sí presentaron variaciones muy significativas relacionadas con el tipo de contenedor. Los individuos cultivados en PP615rq y WM presentaron un $S_T / S_F \sim 1$, mientras que los producidos en bolsa fue $\sim 0,5$, siendo este valor significativamente menor al de los primeros. El resto de contenedores mostraron S_T / S_F intermedios entre dichos envases (Tabla 1). S_L mostró una variación de más de 3,5 veces entre FP150, que mostró los valores más bajos, y WM y RT que presentaron los más altos. Un resultado muy semejante se observó con S_T (datos no mostrados).

La supervivencia y el crecimiento de *Pinus pinea* seis años después de la plantación en campo, se correlacionó significativamente y de manera positiva con S_T (Figura 1). La supervivencia también se relacionó positivamente con la proporción S_T / S_F si bien la correlación sólo fue significativa a una probabilidad crítica $P\leq 0,1$. No se encontraron relaciones significativas del Índice de Simetría con la supervivencia ($r=0,59$ $P=0,18$) ni con el crecimiento (Figura 1).

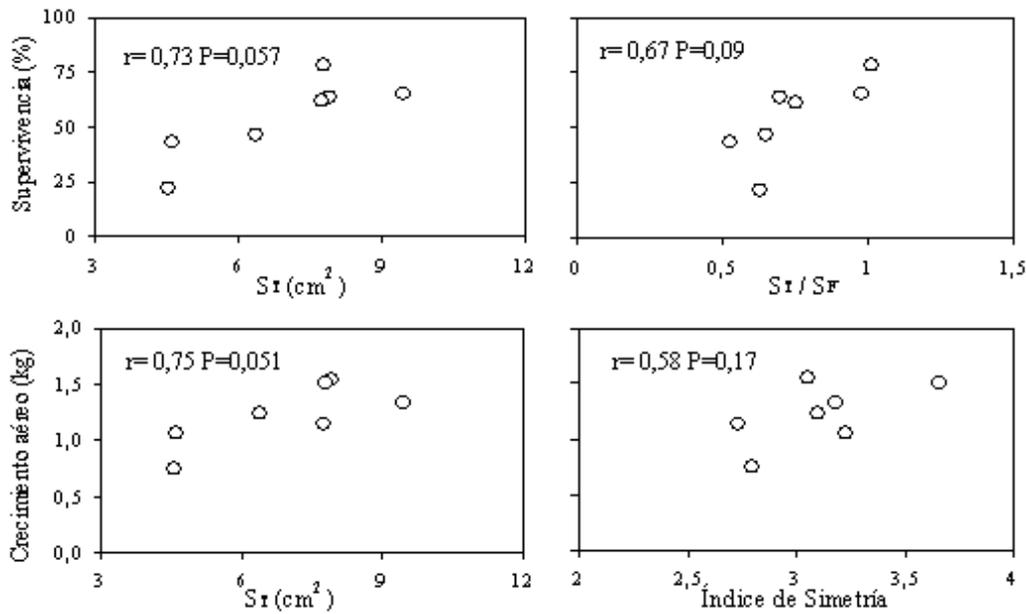


Figura 1. Relación de la supervivencia y el crecimiento de plantas de *P. pinea* con S_T , S_T/S_F y la simetría del sistema radical. Abreviaturas igual que en Tabla 1

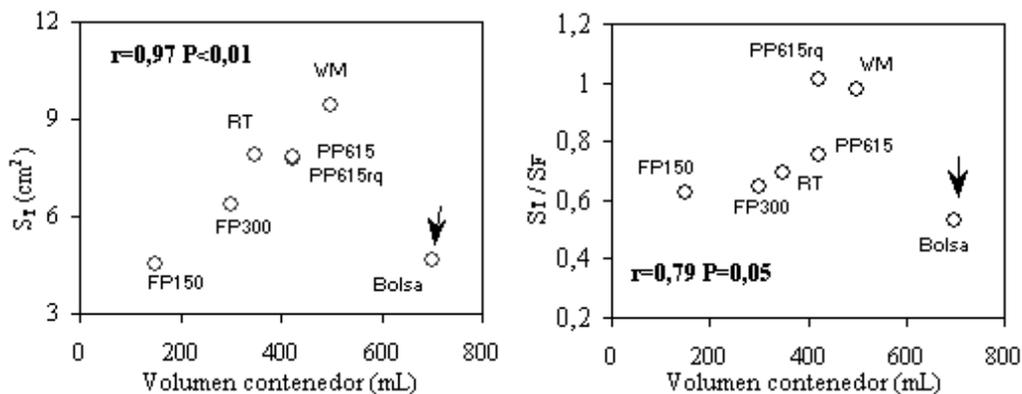


Figura 2. Relación de la superficie total de raíces (S_T) y S_T/S_F con el volumen del envase en el que crecieron las plantas en vivero en árboles de *P. pinea*. Los coeficientes de correlación están determinados sin la bolsa (flecha).

El crecimiento tampoco se correlacionó significativamente con S_T/S_F ($r=0,56$ $P=0,17$). Si se prescinde de los datos de bolsa, S_T y S_T/S_F mostraron una estrecha y positiva relación con el volumen del envase en el que fueron producidas en el vivero (Figura 2).

DISCUSIÓN

El desarrollo en campo de *P. pinea* presentó diferencias notables en función del contenedor en el que fueron cultivadas en el vivero. En general, los individuos producidos en envases de reducido volumen presentaron mayor mortandad que los cultivados en los de mayor volumen. Resultados parecidos han sido observados en *P. taeda* y *P. palustris* (ROMERO *et al.*, 1986). La excepción a esa regla, lo constituyó la bolsa que presentó un porcentaje de marras elevado pese a tener un gran volumen. A diferencia de los otros envases, el sustrato utilizado en la bolsa fue tierra en vez de turba y el tipo sustrato ejerce una importante influencia sobre la calidad final de la planta (GHUEL *et al.*, 1989). En este estudio, las plantas producidas en bolsa fueron las que presentaron, junto con las de FP150, los crecimientos más pobres, tanto de parte aérea como de raíz al finalizar el cultivo

(DOMÍNGUEZ LERENA, comunicación personal). Dicho menor vigor morfológico, podría explicar la elevada mortandad y el escaso crecimiento en campo observado entre las plantas cultivadas en este tipo de envase.

El grado de desarrollo de las raíces, sobre todo el de las laterales, presentó diferencias ligadas al tipo de envase. Además, dichas diferencias se relacionaron con la supervivencia y el crecimiento de los árboles, de tal forma que los tratamientos que presentaron mayor desarrollo radical fueron los que exhibieron menos marras y mayor crecimiento. En *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus contorta*, la mayor velocidad de crecimiento del regenerado natural en comparación con el de los individuos cultivados en contenedor, también se correlacionó positivamente con un mayor desarrollo de las raíces laterales (HALTER Y CHANWAY, 1993). La proporción S_T/S_F , que es una estima de la eficiencia de transporte de agua desde las raíces al tallo, también mostró diferencias entre envases. En repoblaciones jóvenes (7-9 años) de *Pinus sylvestris* los individuos cultivados en Paper pot presentan menor S_T/S_F que los crecidos de semillados directos (LINDSTRÖM y RUNE, 2000). En nuestro estudio, los individuos crecidos en bolsa mostraron las eficiencias más bajas, mientras que los crecidos en PP615rq y WM las más elevadas, observándose una relación positiva (significativa a $P < 0,1$) de dicha eficiencia con la supervivencia, pero no con el crecimiento. Este resultado sugiere que, en *Pinus pinea*, además del grado de desarrollo del sistema radical lateral, la eficiencia de abastecimiento de agua a la parte aérea es importante para su desarrollo en campo. Según estos resultados, sería de esperar que el estado hídrico de las plantas con menor desarrollo radical y menor S_T/S_F fuese peor que las de características contrarias, especialmente en verano. Sin embargo, no hemos encontrado diferencias de potencial hídrico entre envases.

Las diferencias de desarrollo radical y S_T/S_F estuvieron directamente relacionadas con el volumen del contenedor, con la excepción de la bolsa. Ello significa que los pinos piñoneros producidos en alvéolos de elevado volumen producen un mayor desarrollo radical lateral con eficiencias de abastecimiento al fuste más altas que los cultivados en volúmenes más pequeños. Como se ha mencionado previamente, estas características parecen relacionarse positivamente con el desarrollo de las plantas en campo. La excepción de la bolsa podría deberse al tipo de sustrato y a la falta de repicado de las raíces, factores que quizás han distorsionado el efecto del volumen.

El desarrollo de las raíces pivotantes no difirió significativamente entre tratamientos. Ello puede deberse al tipo de suelo de la parcela, en el que existe una suela de labor de arcilla muy compacta que probablemente haya limitado por igual el desarrollo de las raíces descendentes. Aunque no hemos encontrado diferencias de simetría radical entre envases, todos los contenedores mostraron Índices de Simetría bajos, es decir sistemas radicales bastante asimétricos. Normalmente las plantas cultivadas en contenedor producen sistemas radicales mucho menos simétricos que los semillados naturales (NICHOLS & ALM, 1983; HALTER & CHANWAY, 1993; LINDSTRÖM y RUNE, 2000). En *P. sylvestris*, la asimetría radical inducida por el envase es especialmente importante en plantaciones jóvenes pero tienden a desaparecer en las adultas (LINDSTRÖM y RUNE, 2000).

En conclusión, podemos afirmar que los brinzales de *P. pinea* producidos en envases de gran volumen presentan menos marras, crecen más y el desarrollo de su sistema radical y la proporción entre la superficie transversal del sistema radical y el del fuste es más alto que el de las plantas cultivadas en volúmenes pequeños.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido co-financiado por fondos propios de la DGCONA y del proyecto “Estudio de los efectos diferidos de las deformaciones radicales producidas en el cultivo de plantas forestales sobre pies de masas repobladas” INIA-CICYT. FOA97-1651. La realización de este trabajo por S. Garrachón ha sido posible gracias a una beca INIA.

BIBLIOGRAFÍA

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 de las plantas de Pinus pinea en campo*. Actas del 1er Simposio del pino piñonero, Tomo 1. 203-209.
- GHUEL, J.M.; FALCONNET, G. & GRUEZ, J. (1989). *Caractéristiques physiologiques et survie après plantation d'eplants de Cedrus atlantica élevés en conteneurs sur différents types de substrats de culture*. Ann. Sci. For. 46:1-14.
- GRENE, S. (1978). *Root deformations reduce root growth and stability*. Proceedings of the Root form of Planted Trees Symposium. pp: 150-155. BC Ministry Forests, Can. For. Serv.
- HALTER, M.R.; CHANWAY, C.P. (1993). *Growth and root morphology of planted and naturally-regenerated Douglas fir and Lodgepole pine*. Ann. Sci. For. 50:71-77
- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; MCDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. (1990) *Containers and growing media*. Vol 2. In: The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbook 674. Washington, DC. USDA For. Serv. 88 pp
- LINGREN, O.; ÖRLANDER, G. (1978). *A study on root development and stability of 6 to 7 year old container plants*. Proceedings of the Root form of Planted Trees Symposium. pp: 142-144. BC Ministry of Forests, Can. For. Serv..
- LINDSTRÖM, A.; RUNE, G. (1999). *Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: effects on root growth, tree stability and stem straightness*. Plant and Soil 217: 31-39.
- NICHOLS, T.J.; ALM, A.A. (1983). *Root development of container-reared, nursery-grown, and naturally regenerated pine seedlings*. Can. J. For. Res. 13: 239-245.
- ROMERO, A.E.; RYDER, J.; FISHER, J.T.; MEXAL, J.G. (1986) *Root system modification of container stock for arid land plantings*. Forest Ecology and Management 16: 281-290
- SERRADA, R.; VILLAR SALVADOR, P.; DOMÍNGUEZ LERENA, S.; GARRACHÓN, S. & SERRADA, M. (2001). *Propuesta de metodología para estudios sobre morfología radical arbórea*. Actas del III Congreso Forestal Español (en prensa).