

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN DE CRECIMIENTO CON N SOBRE LA ARQUITECTURA Y EL CONTENIDO DE ALMIDÓN EN LA RAÍZ DE BRINZALES DE *PINUS HALEPENSIS* MILL., *PINUS PINASTER* AITON Y *PINUS PINEA* L.

Rafael M. Navarro Cerrillo (1) y Jorge Calvo (1)

(1) Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Av. Menéndez Pidal, s/n. Apartado de correos 3048 (14080 Córdoba)

RESUM

L'objectiu d'aquest treball és estudiar els efectes de tres tractaments de fertilització de creixement amb N en l'arquitectura de l'arrel i la concentració de midó a l'arrel en *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*. Els tractaments han estat un control, una fertilització nitrogenada de referència (172.89 mg) i un tractament que aportés una quantitat de N suposadament òptima (259.49 mg). L'aplicació dels tractaments de fertilització va donar lloc a un major creixement i fibrositat de l'arrel, així com a un augment de concentració de midó a les plantes fertilitzades. Tanmateix, aquests efectes van tenir magnitud diferent segons l'atribut controlat i l'espècie.

RESUMEN

El objeto del presente trabajo es el estudio de los efectos de tres tratamientos de fertilización de crecimiento con N en la arquitectura de la raíz y la concentración de almidón en raíz en *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*. Los tratamientos han sido un control, una fertilización nitrogenada de referencia (172.89 mg) y un tratamiento que aportara una cantidad de N óptima (259.49 mg). La aplicación de los tratamientos de fertilización dio lugar a un mayor crecimiento y fibrosidad de raíz, así como a un aumento de la concentración de almidón en las plantas fertilizadas. Sin embargo, estos efectos tuvieron distinta magnitud dependiendo del atributo controlado y de la especie.

ABSTRACT

The effects of nitrogen fertilisation on three pine species (*Pinus halepensis* Mill.; *Pinus pinaster* Ait.; *Pinus pinea* L.) are studied in this work. Nutrient solutions with three levels of N were used; a control, a medium fertilisation (172.87 mg), and an optimal fertilisation solution (259.49 mg). During cultivation, architectural roots attributes were measured on three times, and a final control of scratch on root. Differences were observed depending on the fertilisation level and the pine species. Nitrogen fertilisation affected morphological root attributes, as well as concentration of no soluble carbohydrates, and cause growth differences. Nevertheless, these effects were no statistical significant and they reached different importance depending on the N level, and pine species.

KEYWORDS: *Pinus* sp., root architectural, root scratch, N fertilisation.

INTRODUCCIÓN

La calidad de la planta refleja la interacción de múltiples factores morfológicos y fisiológicos, que quedan definidos a través de unos atributos de calidad. Sin embargo, la variedad de formas de cultivo hace difícil establecer programas específicos de cultivo para cada especie, dando lugar en cada caso a una gran variedad de lotes con atributos diferentes (Schultz y Thompson, 1990). En el caso de planta forestal para repoblación, entre los atributos de calidad más relevantes están aquellos relacionados con el sistema radical, en particular la arquitectura de raíz y el contenido de carbohidratos en raíz.

La evaluación de la arquitectura de raíz siempre ha sido compleja. En términos biológicos, la arquitectura de raíz hace referencia a la configuración espacial del sistema radical (desarrollo geométrico de los ejes radicales) y a las consecuencias funcionales de esta distribución, y, por tanto, su efecto en un mayor éxito repoblador (Rose et al. 1991, Tingey et al. 1997). Tradicionalmente se ha estudiado la arquitectura de plántulas de vivero (peso seco, volumen, longitud y superficie), considerándose como indicadores potenciales de calidad de planta y respuesta postrasplante (Nambiar 1980, Rose et al. 1991). La necesidad de lograr un buen sistema radical hace recomendable conocer la relación entre cultivo y sistema radical, que va a condicionar su tamaño y morfología (Tingey et al., 1997), recomendándose aquellos cuidados culturales que favorecen una mayor fibrosidad (Deans et al. 1990, Mullín y Christl, 1982).

Junto a la arquitectura radical, el contenido en carbohidratos acumulados en la raíz constituye uno de los atributos más importantes de cara a la calidad de la planta. Algunos autores han sugerido que los carbohidratos acumulados podrían suministrar la energía para el crecimiento inicial de la raíz (Binder et al. 1990, Noland et al. 1997). Con el fin de promover el aumento de las reservas, se han propuesto una serie de cuidados culturales en los viveros que favorezcan el balance producción-consumo; esto es, que reduzcan la tasa de crecimiento y favorezcan la actividad fotosintética. Los más relevantes son la densidad del cultivo, la inducción de estrés hídrico, el riego y la fertilización equilibrada (Tingey et al. 1997, Puttonen, 1986). Lo anterior pone de manifiesto la importancia de estudiar la relación entre prácticas de cultivo en vivero, en particular la fertilización, y el crecimiento radical, asociado al contenido de carbohidratos.

En este sentido, el principal objetivo de este trabajo consiste en estudiar el efecto de la fertilización de crecimiento con N durante la fase de crecimiento sobre la arquitectura radical y el contenido de carbohidratos no estructurales en raíz de planta de vivero de tres especies de *Pinus* sp. mediterráneas (*Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus halepensis* Mill.).

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. El cultivo de la planta

En este trabajo se han seleccionado tres especies de pinos mediterráneos (*Pinus pinea* L., *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus halepensis* Mill.); es decir, respectivamente,

pino piñonero, pino resinero y pino carrasco). La semilla empleada procede de rodales selectos propiedad del Ministerio de Medio Ambiente, siendo la procedencia del *Pinus pinea* L. Sierra Morena (Córdoba), la del *Pinus pinaster* Ait. el Levante interior (Valencia) y la del *Pinus halepensis* Mill. la Sierra de Gata-Hurdes (Cáceres).

El cultivo de la planta se realizó en el Centro de Investigación y Formación Agraria (CIFA) de Córdoba, a 92 m sobre el nivel del mar. El pino piñonero se cultivó en envases FOREST-POT300 (300 cm³), mientras que el pino carrasco y el pino resinero se cultivaron en ARNABAT48A (250 cm³). El cultivo se realizó sobre sustratos artificiales (70% de turba negra y 30% de perlita). El calendario de cultivo se prolongó desde la siembra en febrero de 2000 hasta el alzado en noviembre de 2000.

En el presente estudio se han ensayado tres tratamientos de fertilización de crecimiento con nitrógeno: el **tratamiento 0**, que corresponde a la solución testigo que es el agua de riego sin ningún aporte exterior; el **tratamiento 1**, que es la fertilización de referencia derivada de los valores utilizados en algunos viveros de Andalucía, y el **tratamiento 2**, que suministra una cantidad de nitrógeno óptima para el crecimiento de las plantas (Landis, 1989). Con esto se consigue que haya un incremento gradual en la cantidad de nitrógeno aportado por cada tratamiento.

La fertilización se realizó de forma manual para asegurar una adecuada dosificación. Se optó por incorporar 150 ml de solución fertilizante por planta cada dos semanas, iniciándose la segunda semana de junio hasta la última semana de septiembre (siete fertilizaciones a lo largo de la fase de crecimiento). La cantidad total de nitrógeno en cada uno de los tratamientos estudiados al final del cultivo fue, en el tratamiento 1, de 172.87 mg, y en el tratamiento 2, de 259.49 mg.

4.2. Arquitectura de la parte radical

La caracterización de la arquitectura radical se ha realizado mediante el programa informático de análisis radical Win Rhizo V3.10b (Regent Instruments Inc., 1996) (SG86I140QM-Universitat de Lleida). La muestra para cada tratamiento y especie fue de cuatro plantas, en las que se determinaron los siguientes parámetros: longitud total del sistema radical (cm) (LT), área total del sistema radical (cm²) (AT), longitud total de raíz por metro cúbico de sustrato (cm/m³) (LV), volumen total del sistema radical (cm³) (VT). Se realizaron tres mediciones a lo largo de la fase de crecimiento (julio, agosto y septiembre).

4.3. Contenido en carbohidratos

La concentración de almidón se analizó mediante tecnología NIRS (Palacios et al., 2001). Los espectros se obtuvieron con un equipo monocromador de barrido continuo FOSS-NIRSystem 6500 System I, del Servicio Centralizado-Banco de Muestras de la Universidad de Córdoba (*software* ISI NIRS 3 versión 3.11-Infrasoft International). El número de muestras por tratamiento y especie fue de 4, a partir de las cuales se obtuvo el contenido en raíz de almidón.

4.4. Tratamiento de los datos

El análisis estadístico descriptivo de los datos se realizó con el paquete estadístico SPSS 8.0. El método estadístico empleado fue el análisis de varianza (ANOVA).

Especies	<i>P. halepensis</i>				<i>P. pinaster</i>				<i>P. pinea</i>						
	ARQUITECTURA RADICAL (1ª medida)								ARQUITECTURA RADICAL (2ª medida)						
Tratamiento	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
LT (cm)	45.43a	41.67a	53.12a	44.15a	33.09a	57.62a	88.62a	86.54b	34.60a						
AT (cm²)	10.57a	9.03a	11.42a	11.15a	7.92a	13.60a	23.06b	23.53b	9.29a						
LV (cm/m²)	44.75a	41.57a	53.01a	42.79a	33.05a	56.88a	88.08a	85.79a	34.55b						
VT (cm³)	0.20a	0.15a	0.19a	0.23a	0.15a	0.26a	0.48a	0.51a	0.20b						
Tratamiento	0	1	2	0	1	2	0	1	2						
Tratamiento	0	1	2	0	1	2	0	1	2						
LT (cm)	87.12a	106.79a	119.45a	90.76a	225.5ab	287.12b	154.26a	130.07a	128.4a						
AT (cm²)	22.12a	26.77a	31.56a	23.57a	61.44ab	83.52b	40.45a	40.55a	42.38a						
LV (cm/m²)	86.94a	119.27a	104.73a	90.29a	224.8ab	283.71b	152.93a	127.34a	128.71a						
VT (cm³)	0.45a	0.66a	0.52a	0.49a	1.33ab	1.99b	0.85a	1.02a	1.08a						
Tratamiento	0	1	2	0	1	2	0	1	2						
Tratamiento	0	1	2	0	1	2	0	1	2						
LT (cm)	278.43a	292.89a	449.79a	426.15a	606.77a	559.28a	547.05a	564.49a	572.10a						
AT (cm²)	72.07a	82.60a	111.4a	105.95a	149.37a	132.25a	137.09a	145.23a	134.30a						
LV (cm/m²)	277.75a	291.83a	449.16a	555.90a	692.62a	576.65a	541.63a	557.29a	569.82a						
VT (cm³)	1.49a	1.87a	2.20a	2.11a	2.95a	2.50a	2.79a	3.02a	2.52a						

Tabla 1. Valor final de los atributos de arquitectura radical en función de los tratamientos de fertilización ensayados. Letras iguales indican pertenencia a un mismo subconjunto según el método para comparaciones múltiples de Scheffé, para un nivel de significación de 0,05.

Tras el análisis de la varianza, en aquellos casos en que había diferencias significativas, se realizaron un test de comparación de medias empleando el método de Scheffé para comparaciones múltiples (García y Lara, 1998) para un nivel de significación del 5%.

5. RESULTADOS

5.1. Arquitectura radical

El pino carrasco sólo presentó diferencias significativas para las variables de arquitectura de raíz en longitud total de raíz ($\text{sig}=0.047$) y la longitud por volumen de sustrato ($\text{sig}=0.046$) en la tercera medición para el tratamiento de máxima fertilización. El área total y el volumen total no presentaron diferencias significativas en ninguna de las medidas (tabla 1).

En el caso de pino resinero, el tratamiento 2 dio lugar a diferencias significativas en la segunda medida para todos los atributos de raíz: la longitud total de raíz ($\text{sig}=0.036$), el área total ($\text{sig}=0.021$), la longitud por volumen de sustrato ($\text{sig}=0.046$) y el volumen total ($\text{sig}=0.053$) (tabla 1).

El pino piñonero presentó diferencias significativas en todas las variables de arquitectura de raíz en la primera medición, obteniéndose los valores máximos para el control y el tratamiento 1. En la segunda y tercera medición (tabla 1) esas diferencias desaparecieron.

5.1.2. Atributos fisiológicos

La concentración de almidón en raíz para el pino carrasco ($\text{sig}=0.031$) y el pino resinero ($\text{sig}=0.031$) al final del cultivo presentaba diferencias significativas en los tratamientos de fertilización. El pino piñonero, sin embargo, no presentó diferencias significativas en la concentración de almidón en raíz ($\text{sig}=0.071$) entre los tratamientos. Estos resultados se mantuvieron para los valores de contenido total para pino carrasco y resinero, pero aparecieron diferencias significativas de contenido en pino piñonero ($\text{sig}=0.021$) (tabla 2, figura 1).

6. DISCUSIÓN

En este trabajo sólo se encontraron diferencias significativas en longitud total y longitud total por unidad de volumen en pino carrasco. Sin embargo, los tratamientos de fertilización con N ofrecen los valores más altos en todas ellas, pero sin que el tratamiento de máxima fertilización haya obtenido los valores mayores para todas las especies y tratamientos. El tratamiento 1, de media fertilización, da lugar a los mayores valores de todos los atributos de arquitectura radical estudiados para *Pinus pinaster*; y el tratamiento 2, de máxima fertilización, induce un mayor crecimiento radical en *Pinus halepensis*. El comportamiento de *P. pinea* parece estar menos definido, existiendo diferencias entre los tratamientos de fertilización y los diferentes atributos (tabla 1). Las diferencias observadas entre espe-

Especies	<i>P. halepensis</i>		<i>P. pinaster</i>		<i>P. pinea</i>		
	1	2	0	1	2	0	
CONTENIDO DE ALMIDÓN EN RAÍZ							
Tratamiento	0	2	0	1	2	0	2
Concentración de almidón en raíz (mg/g tejido)	16.81ab	10.95a	3.60a	8.53ab	11.74b	15.22a	14.88 a
Contenido de almidón en raíz (mg)	1.59a	1.53a	0.84a	3.27b	4.32b	5.27a	9.19ab

Tabla 2. Contenido de almidón en raíz en función del tratamiento de fertilización aplicado. Letras iguales indican pertenencia a un mismo subconjunto según el método para comparaciones múltiples de Scheffé, para un nivel de significación de 0,05.

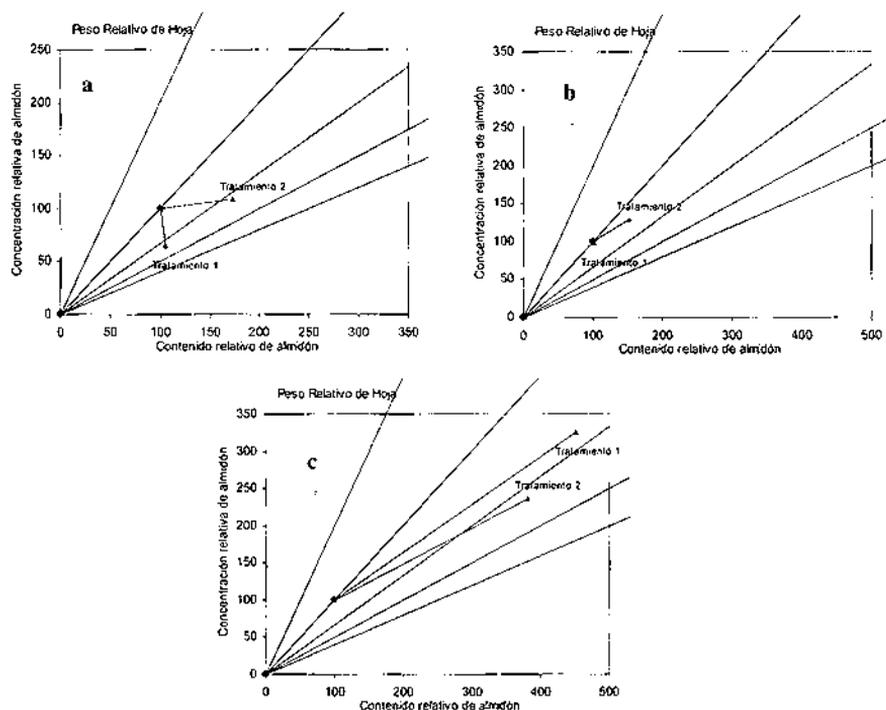


Figura 1. Análisis vectorial del contenido de carbohidratos para *P. halepensis* (a), *P. pinaster* (b) y *P. pinea* (c)

cies y tratamientos puede deberse a la diferente respuesta de cada especie a la fertilización, lo cual ya se ha observado en ensayos realizados en cultivo hidropónico (Gallegos et al., 2001).

El sistema radical de plantas más fertilizadas con N durante la fase de crecimiento resulta ser más voluminoso, con una mayor fibrosidad y una clara tendencia a ser más largo, por lo que la fertilización parece estimular el crecimiento radical. En todos los casos se observa que la fertilización ha promovido la formación de un mayor número de raíces laterales a lo largo del eje principal, con un ligero aumento de la longitud total y de la longitud total por volumen de sustrato. Sin embargo, las diferencias no son significativas en ningún caso respecto al tratamiento control. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Nambiar (1980), que indican que el número de raíces laterales de primer orden en *Pinus radiata* no está relacionado con las prácticas de vivero. El efecto de la fertilización con N se considera que es mayor en el crecimiento de la parte aérea de la planta, por su relación con el sistema fotosintético (Cornelissen et al. 1997, Sikstrom et al. 1998), con un efecto más evi-

dente en el aumento del crecimiento, tanto en altura como en peso seco. El mayor crecimiento aéreo puede justificar, en parte, el mayor crecimiento radical, aunque éste no parece estar tan influenciado por la fertilización (Van den Driessche, 1992), como por otras características del cultivo, tales como el contenedor (Krasowski y Owens, 2000) o el sustrato (Heiskanen y Rikala, 2000), lo que parece corroborarse en este ensayo. Posiblemente, el P y el K influyen más activamente en el crecimiento del sistema radical, ya que se ha comprobado que las plantas que presentan la arquitectura radical más compleja son las que presentan una mayor concentración de P y K en sus tejidos (Gallegos et al., 2001).

La relación entre la arquitectura radical y la respuesta postrasplante se conoce muy poco, aunque se supone que el arraigo viene limitado por los procesos de crecimiento de los ejes radicales, formación de raíces laterales y dirección de la elongación de los nuevos ejes. Los tratamientos de fertilización con N parecen inducir una mayor fibrosidad de la raíz, por lo que pueden ser los más recomendables, ya que posiblemente mejoran la capacidad de explorar el suelo y la velocidad de formación de nuevas raíces. Un sistema radical más fibroso y más largo promueve una mejor supervivencia (Atzmon et al., 1994), puesto que una raíz con numerosas raicillas poco lignificadas asegura una buena captación de agua y nutrientes debido a la alta permeabilidad de la superficie radical de las raíces no suberificadas (Chung y Kramer, 1975). Los programas de fertilización deben adecuarse para asegurar un mayor crecimiento y fibrosidad del sistema radical, que favorezcan una arquitectura radical más voluminosa y ramificada.

Respecto al contenido de carbohidratos no solubles en raíz, en este trabajo se encontraron diferencias significativas en función de los tratamientos de fertilización. Los valores máximos se obtienen siempre para algunos de los tratamientos de fertilización, pero estas diferencias sólo son claras en *Pinus pinaster*, resultando mucho menos claras para las otras dos especies. Los valores de concentración radical de almidón obtenidos en este ensayo han sido superiores a los valores aportados por Palacios et al. (2001) para planta de *Pinus pinea* no fertilizada, aunque la tendencia es que estos valores sean relativamente constantes para cada género (Rose y Aztkinson, 1992). El mayor contenido de carbohidratos puede venir asociado a un mayor número de raíces finas que va acompañado de una mayor acumulación de carbohidratos, lo cual se ha comprobado para *Pinus pinea*, donde la acumulación se produce principalmente en raíces laterales (Atzmon et al. 1994, Kanan y Kailash 1997). La hipótesis de una mayor acumulación en raíces laterales está apoyada por el hecho de que los tejidos jóvenes y los meristemos presentan una mayor capacidad de acumulación de carbohidratos (Daie, 1985).

Los carbohidratos son importantes en el crecimiento y la supervivencia inicial de la plántula. Una reserva adecuada de carbohidratos permite incrementar la resistencia a la sequía por su capacidad para ajustar osmóticamente y mantener el turgor positivo a potencial bajo del xilema (Ritchie, 1982). En diferentes ensayos se ha comprobado que las plántulas con alto contenido de almidón forman más raíz

ces nuevas, especialmente cuando se establecen en un ambiente estresante (Noland et al. 1997, Kannan y Kailash 1997). Las reservas de carbohidratos aparentemente juegan un papel importante y específico al suministrar los asimilados para la respiración y el crecimiento, por lo que un mayor contenido de carbohidratos en raíz resulta ventajoso para la supervivencia de las plantas. Sin embargo, se sabe muy poco sobre el papel específico que juegan estos componentes en la supervivencia, el crecimiento y el desarrollo de brinzales (Loescher et al. 1990, Entry et al. 1998), ya que la formación de nuevas raíces es un proceso consumidor de energía, y sólo puede ocurrir a expensas de sustancias metabólicas, particularmente fotosintatos originados en la parte aérea (Atzmon et al., 1994). Algunos autores no han observado una relación significativa de las reservas de carbohidratos con el potencial de regeneración radical (Reid, 1986), y además el crecimiento inicial de la raíz en coníferas es más dependiente de los fotosintatos corrientes (Philipson, 1988). Sin embargo, parece también demostrado que el porcentaje de almidón en la raíz decrece rápidamente en raíces laterales cuando comienza el crecimiento vigoroso de la raíz, proceso que a su vez parece resultar independiente de la fotosíntesis (Van den Driessche, 1987, 1991), unido a que la interconversión entre carbohidratos es continua y la función de los diferentes metabolitos variable, por lo que la separación en carbohidratos de reserva y activos puede ser difícil de determinar. Parece por tanto, que, aunque los carbohidratos son requeridos para el crecimiento radical, la concentración de reservas no es lo único que va a determinar el crecimiento radical, por lo que el uso de carbohidratos como indicador de vigor no parece apropiado (Puttonen, 1986).

Las prácticas de cultivo, no obstante, deben promover aquellos programas de fertilización que mejoren la formación de raíces laterales, una mayor fibrosidad y una adecuada concentración de carbohidratos de reserva, aunque la utilización de estos atributos como predictores de supervivencia y crecimiento puede resultar poco específica. En brinzales de coníferas, con un estado fisiológico semejante, la fibrosidad y el contenido de almidón pueden ser factores importantes en la formación de nuevas raíces y en su supervivencia, especialmente cuando son plantadas en un ambiente estresante.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo del INIA y la CICYT, a través de la convocatoria del Proyecto estratégico movilizador de I+D de apoyo a la forestación mediante la financiación del proyecto *Definición del ciclo de cultivo de cuatro especies forestales (Quercus ilex L.; Pinus pinea L.; Ceratonia siliqua L.; y Olea europaea L.) de especial importancia en los programas de forestación en tierras agrarias en Andalucía (FO96-006)*. El programa Win Rhizo ha sido utilizado gracias a la amabilidad de D. Jesús Pemán, de la Universitat de Lleida.

Bibliografía

- AZTMON, N., REUVENI, O., y RIOV, J. 1994. Lateral root formation in pine seedlings. *Trees* 8: 268-277.
- BINDER, W., FIELDER, P., SCAGE, R., y HRINLIK, G. 1990. Temperature and time-related variation of root growth in some conifer species. *Can. J. of For. Res.* 20: 1192-1199.
- CHUNG, H., y KRAMER, P. 1975. Absorption of water and nutrients through suberized and unsuberized roots of loblolly pine. *Can. J. For. Res.* 5: 229-235.
- CORNELISSEN, J.H., WERGER, M.J., CASTRO-DIEZ, P., VAN RHEENEN, J.W., ROWLAND, y A.P. 1997. Foliar nutrients in relation to growth, allocation and leaf traits in seedlings of a wide range of woody plant species and types. *Oecologia* 11: 460-469.
- DAIE, J. 1985. Carbohydrate partitioning and metabolism on crops. *Hort. Rev.* 7: 69-108.
- DEANS, J., LUNDERG, C., CANNELL, M., MURAY, M., y SHEPPARD, L. 1990. Root system fibrosity of Sitka spruce transplants: relationship with root growth potential. *Forestry* 63: 1-7.
- ENTRY, J.A., RUNION, G.B., PRIOR, S.A., MITCHELL, R.J., y ROGERS, H.H. 1998. Influence of CO₂ enrichment and nitrogen fertilization on tissue chemistry and carbon allocation in longleaf pine seedling. *Plant and Soil* 200: 3-11.
- GALLEGOS PÉRULA, V., NAVARRO CERRILLO, R.M., y ALCANTARA VARA, E. 2001. Deficiencias nutritivas en las plantas de una savia de tres especies del género *Pinus* sp. en cultivo hidropónico. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, vol. 10 (1).
- GARCIA, J., y LARA, A.M. 1998. *Diseño estadístico de experimentos. Análisis de la varianza*. Grupo Editorial Universitario. Granada.
- HEISKANEN, J., y RIKALA, R. 2000. Effect of peat-based container media on establishment of scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings after transplanting in contrasting water conditions. *Sand. J. For. Res.* 15: 49-57.
- KANNAN, D., y KAILASH, P.K. 1997. Fertilization response on growth, photosynthesis, starch accumulation, and leaf nitrogen status of *Cassia siamea* seedling under nursery conditions. *Journal of Sustainable Forestry* 4: 141-157.
- KRASOWSKI, M.J., y OWENS, J.N. 2000. Morphological and physiological attributes of root systems and seedling growth in three different *Picea glauca* reforestation stock. *Can. J. For. Res.* 30: 1669-1681.
- LANDIS, T.D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. En: T.D. Landis, R.W., Tinus, S.E., McDonald, y J.P. Barnett (ed.). *The Container Tree Nursery Manual*. Vol. 4. *Agriculture Handbook*, nº 674. US Department of Agriculture, Forest Service. Washington DC, p. 1-70.
- LOESCHER, W., MCLAMANT, T., y KELLER, J. 1990. Carbohydrate reserves. Translocation and storage in woody plant roots. *Hort Science*, vol. 25 (3): 274-280.
- MULLIN, R., y CHRISTL, C. 1982. Morphological grading of white pine nursery stock. *Forestry Chronicle* 58: 40-43.

- NAMBIAR, E. 1980. Root configuration and root regeneration in *Pinus radiata* seedling. *Forest Science* 10: 249-263.
- NOLAND, T., MOHAMED, G., y SCOTT, M. 1997. The dependence of root growth potential on light level, photosynthetic rate, and shoot starch content in jack pine seedlings. *New Forests* 13: 105-119.
- PALACIOS, G., NAVARRO, R.M., y DEL CAMPO, A. 2001. Desarrollo y evaluación de una ecuación NIRS para la determinación del contenido de almidón en raíces de plantas forestales. *III Congreso Forestal Nacional*. Tomo III: 804-810.
- PHILIPSON, J. 1988. Root growth in strike spruce and Douglas-fir transplants: dependence on the shoot and stored carbohydrates. *Tree Physiology* 4: 101-108.
- PUTTONEN, P. 1986. Carbohydrate reserves in *Pinus sylvestris* seedling needles as an attribute of seedling vigor. *Scand. J. For. Res.* 1(2): 181-193.
- RITCHIE, G.A. 1982. Carbohydrate reserves and root potential in Douglas-fir seedlings before and after cold storage. *Can. J. F. Res.* 12: 905-912.
- ROSE, R., y ATKINSON. 1992. Nursery morphology and preliminary comparison of 3-year field performance of 1+0 and 2+0 bareroot Ponderosa pine seedlings. *Tree Planters Notes* 43: 153-158.
- ROSE, R., ROSE, C.L., OMI, S.K., FORRY, K.R., DURALL, D.M., y BIGG, W.L. 1991. Starch determination by perchloric acid vs enzymes: evaluating the accuracy and precision of six colorimetric methods. *J. Agric. Food Chem.*, vol. 39, n° 1: 2-11.
- SCHULTZ, R., y THOMPSON, J. 1990. Nursery practices that improve hardwood seedling root morphology. *Tree Planter's Notes Summer* 1990: 21-32.
- SIKSTROM, U., NOHRSTEDT, H.O., PETTERSSON, F., y JACOBSON, S. 1998. Stem growth response of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* to nitrogen fertilization as related to needle nitrogen concentration. *Trees: Structure and Function* 12: 208-214.
- TINGEY, D.T., PHILLIPS, D.L., JOHNSON, M.G., STROM, M.J., y BALL, J.T. 1997. Effect of elevated CO₂ and N fertilization on fine root dynamics and fungal growth in seedling *Pinus ponderosa*. *Environ. Exp. Bot.* 37: 73-83.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. 1987. Importance of current photosynthate to new root growth in planted conifer seedlings. *Can. J. For. Res.* 17: 776-782.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. 1991. Effects of nutrients on stocks performance forests. En: Van den Driessche, R. (ed.). *Mineral Nutrition of Conifer Seedling*. CRC Press. Boca Raton Ann Arbor Boston, p. 229-260.
- 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. *Can. J. For. Res.* 22: 740-749.