

CRECIMIENTO RADICAL DE PLANTONES DE *PINUS HALEPENSIS* Y *P. PINEA* DURANTE EL PERÍODO HÚMEDO DEL AÑO

Guillermo Valle¹, Pablo Sardá¹, Abraham Aguilar¹, Pedro Villar Salvador^{1,2} y Juan L. Peñuelas Rubira¹

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, 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, pedro.villar@uah.es

Resumen

En este trabajo se estudia el ritmo de crecimiento radical y aéreo en campo de *Pinus halepensis* y *P. pinea* a lo largo del período húmedo del año, desde el otoño hasta el final de la primavera. Pretendemos conocer los momentos limitantes y de mayor actividad del crecimiento radical y si se produce interferencia entre el crecimiento aéreo y radical. Con esta información pretendemos contribuir a delimitar los momentos adecuados de plantación de estos pinos en zonas continentales. Para realizar el estudio, se emplearon rizotrones de metacrilato rellenos de arena y enterrados en una parcela. Cada 7-15 días se realizaron mediciones de la elongación del sistema radical. Paralelamente, se efectuaron plantaciones en cuatro momentos diferentes (a principios de noviembre y enero, y a mediados de febrero y marzo) con el fin de medir el desarrollo radical absoluto 1 mes después de la plantación. *Pinus pinea* presentó una velocidad de elongación radical mayor que la de *P. halepensis* en todo el período de estudio. Durante el período más frío del año y con temperatura del suelo entorno a 5°C, la elongación radical de *P. pinea* y *P. halepensis* fue 0.53 y 0.28 mm/día. Los máximos valores de crecimiento radical se observaron en ambas especies a mediados de junio. Las diferencias de crecimiento radical en el tiempo en ambas especies estuvieron estrechamente relacionadas con las variaciones de temperatura. Los tallos de *Pinus halepensis* comenzaron a crecer antes que los de *P. pinea* y en ninguna de las dos especies se apreció una merma del crecimiento radical asociado con el crecimiento aéreo. La producción absoluta de raíces al cabo de 1 mes en la plantación de marzo fue la mayor de las cuatro fechas de plantación, mientras que la de enero la menor. Las plantaciones de noviembre y mediados de febrero presentaron valores semejantes entre sí e intermedios entre las otras dos plantaciones. En contraste con lo observado en los rizotrones, *P. halepensis* presentó mayor producción radical absoluta que *Pinus pinea* en las cuatro fechas de plantación.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de las especies mediterráneas para superar el periodo de sequía durante su etapa juvenil, debe estar, en gran medida, condicionada por el grado de desarrollo y la profundidad que alcanzan las raíces antes del inicio de dicho periodo. Dicho crecimiento depende, entre otras cosas, de la fecha de plantación dentro del período húmedo del año (CORCHERO-DE LA TORRE *et al.*, 2002). Tradicionalmente se ha recomendado adelantar en lo posible las plantaciones para que el tiempo de crecimiento radical antes del verano sea el mayor posible. Sin embargo, en zonas de inviernos fríos, las plantaciones tempranas de otoño no necesariamente tienen porque tener un desarrollo radical significativamente mayor que las más tardías, por ejemplo, las plantaciones de final de invierno (CORCHERO DE LA TORRE *et al.*, 2002). Ello puede ocurrir si el frío en invierno inhibe durante períodos prolongados el crecimiento de las raíces. La permanencia de las plantas en el campo durante un largo periodo de tiempo sin producir raíces después de su plantación podría hacerlas más vulnerables a factores de estrés y mermar su capacidad funcional debido a una pérdida de nutrientes (VAN DEN DRIESSE, 1983; GOZALO, 1998). En zonas donde el período seco aparece muy pronto, las plantaciones tardías pueden poner en peligro la supervivencia de las plantas al no disponer éstas de tiempo suficiente para desarrollar un adecuado sistema radical. En algunas especies, todo ello se puede complicar si el crecimiento de la parte aérea y radical se interfieren, es

decir, que la brotación primaveral ralentiza o detiene el crecimiento de las raíces debido a una competencia entre sumideros de carbono (REICH *et al.* 1980).

El estudio de la fenología radical de las plantas y los factores que la modulan puede ayudar a determinar los momentos óptimos de plantación en las diferentes especies. Se han publicado multitud trabajos sobre este aspecto en especies no mediterráneas (ver LYR AND HOFFMANN 1967; RIEDACKER 1976). Sin embargo, el conocimiento sobre este tema en especies mediterráneas es mucho más limitado (ver trabajos de LESHEM, 1965; LÓPEZ *et al.*, 2001; RIEDACKER, 1986; CORCHERO DE LA TORRE *et al.*, 2002).

En este trabajo se ha estudiado el ritmo de crecimiento de las raíces de *Pinus halepensis* y *Pinus pinea* durante el periodo húmedo del año, dentro del cual se efectúan las plantaciones en ambientes mediterráneos. Para ello se han realizado dos estudios. En el primero se analizó la producción total de raíces al cabo de 1 mes en el campo de plantaciones hechas en cuatro momentos distintos. En el segundo estudio se emplearon rizotrones y se siguió la elongación de la parte aérea y la radical desde octubre hasta mediados de junio para estudiar los ritmos de crecimiento y las interacciones entre ambas partes.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo dos experimentos en los que se utilizaron brinzales de una savia que fueron cultivados en contenedores ®Forest Pot 300 con turba rubia sin fertilizar. Durante su cultivo en vivero las plantas fueron fertirrigadas con un fertilizante de crecimiento (20-7-19 de N, P y K) semanalmente hasta el otoño. El primer experimento comenzó el 15 de octubre de 2003 y se transplantaron siete plantas por especie en rizotrones (1 planta por rizotrón) que consistieron en tubos de metacrilato transparente de 1 m de longitud y 12.5 cm de diámetro interior. El grosor de las paredes del tubo fue 0.5 cm. Cada tubo estaba cerrado por debajo con una tapa que tenía un orificio no concéntrico tapado con una maya fina que permitía el drenaje de tubo. Se empleó arena de río lavada como sustrato (región granulométrica XIIa), excepto en los 5 cm inferiores del tubo que fue grava. El tubo de metacrilato se encajó en otro tubo de plástico opaco de 15 cm de diámetro que estaba embutido en el suelo de la parcela con un ángulo de 30° con respecto a la vertical. Este segundo tubo permitía la extracción del tubo de metacrilato periódicamente. En cuatro tubos de metacrilato se instalaron sondas de temperaturas del suelo, dos a 60 cm y otras dos a 20 cm de profundidad. Las mediciones de elongación radical se tomaron a partir del final del cepellón y se realizaron cada 7-14 días dependiendo de la época del año. En cada fecha de medición los tubos se extrajeron con la ayuda de un gancho. Se colocaron unos acetatos reticulados sobre la cara del tubo de metacrilato en el que se concentraban las raíces y se marcaron las raíces que habían crecido y las que habían parado su crecimiento. También se dibujaron los incrementos de longitud de las raíces en crecimiento. Simultáneamente, se midió el diámetro y altura de los tallos con un calibre y una cinta métrica, respectivamente. Con estas medidas se determinó el volumen de los tallos, asumiendo que éstos son conos. Las plantas fueron regadas con 400-800 ml de agua cada 3-9 días dependiendo de la época del año. Este primer experimento fue llevado a cabo en una parcela era llana, no sombreada por masas colindantes y que se ubicaba en el Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, que está a una altura de 650 m sobre el nivel del mar y tiene una temperatura y precipitación media anual de 13.2 °C y 410 mm, respectivamente. La disposición en el espacio de las plantas de las diferentes especies fue al azar.

En el segundo experimento se hicieron plantaciones a comienzos de noviembre y enero, y a mediados de febrero y marzo. En cada fecha se transplantaron cinco plantas por especie en macetas de tres litros (una planta por maceta) usándose el mismo sustrato que en el primer experimento. Para evitar que el sustrato se perdiera por los agujeros de drenaje, éstos se taparon parcialmente con cinta de embalar. Las macetas se enterraron en un surco quedando el borde superior de la maceta al ras de la tierra de la parcela de estudio, que coincidió con la del primer experimento. La disposición de los individuos en el surco fue aleatoria y después de cada plantación los brinzales permanecieron en el campo un mes. Posteriormente las plantas se extrajeron, se lavaron las raíces de arena, se cortaron todas las raíces que sobresalían del cepellón y se midió su longitud. Las plantas fueron regadas cada

3-7 días.

Los datos se analizaron por análisis de varianza (ANOVA), considerando como la fecha de plantación y la especie como factores fijos. Para los datos del primer experimento se realizó ANOVA de medidas repetidas.

RESULTADOS

La temperatura media del aire durante el periodo de estudio estuvo comprendida entre 0.4°C en febrero y 25°C en junio. La temperatura máxima absoluta del aire fue 36.9°C en junio y la mínima absoluta -6.3°C en enero. Los valores de temperatura del aire más bajos se produjeron entre enero y mediados de marzo, registrándose los más altos a principios de junio (Figura 1A). La temperatura media del suelo a 20 cm varió entre 2.1°C en enero y 31.6°C a final de mayo. Entre mediados de diciembre y principios de marzo, la temperatura del suelo a 20 cm de profundidad estuvo alrededor de 5°C. A partir del principio de marzo tanto la temperatura del aire como la del suelo empezaron a subir, superando los 10°C a mitad de dicho mes. La temperatura mínima absoluta del suelo a 20 cm fue -0.1 °C, obtenida el 2 de marzo, mientras que la máxima absoluta fue 40.6°C registrada el 31 de mayo. Las mayores diferencias entre la temperatura del aire y la del suelo se dieron entre noviembre y febrero, siendo las diferencias menores durante la primavera. La temperatura media del suelo a 60 cm normalmente fue más alta que la medida a 20 cm, excepto en las últimas semanas en las que la tendencia se invirtió. La temperatura a 60 cm varió entre 6.7°C en enero y 23°C en junio.

El crecimiento en volumen de los tallos de *P. halepensis* comenzó aproximadamente a principios de marzo, mientras que el de *P. pinea* lo hizo a principios de abril. En ambas especies el crecimiento fue muy rápido en el mes de junio, principalmente debido a una rápida elongación de los tallos (Figura 1B).

La elongación radical presentó importantes diferencias entre fechas de medición ($P < 0.001$). Durante el período de estudio, *Pinus pinea* mostró mayor elongación radical que *Pinus halepensis* ($P = 0.023$). El crecimiento radical en ambas especies se mantuvo bajo y relativamente constante desde noviembre a principios de marzo con valores de elongación radical inferior a 1 mm/día (Figura 1C).

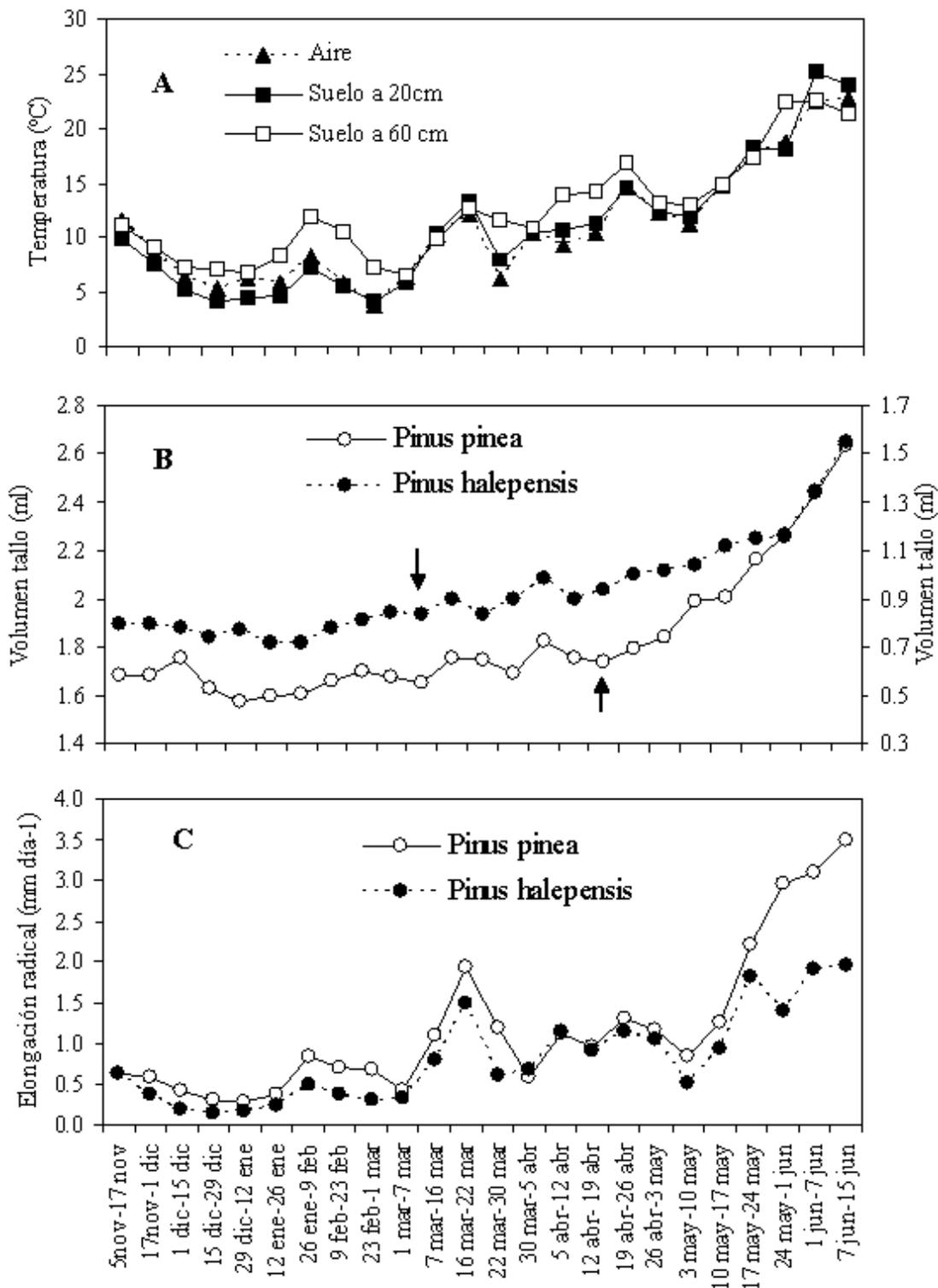


Figura 1. Variación de la temperatura media del aire y la del suelo a 20 y 60 cm de profundidad (A) y, del crecimiento de la parte aérea (B) y de las raíces (C) en brinzales de *Pinus pinea* y *Pinus halepensis* durante el periodo de estudio. En la figura de crecimiento del tallo, los datos de *P. halepensis* corresponden con el eje derecho y los de *P. pinea* con el izquierdo. Las flechas en la Figura B indican el comienzo aproximado del crecimiento aéreo. Los datos de crecimiento son medias de 6-7 individuos.

En promedio, la elongación radical en *P. pinea* durante el período más frío (mitad de diciembre a final de febrero) fue 0.53 mm/día, mientras que en *P. halepensis* fue de 0.28 mm/día. Ambas especies tuvieron un pico de crecimiento en marzo, alcanzándose una elongación media de 2.5 y 2

mm/día en *P. pinea* y *P. halepensis*, respectivamente. A partir de mediados de mayo se produjo un aumento en el crecimiento radical de ambas especies, alcanzándose los máximos valores en junio con valores medios de elongación de 5.5 mm/día en *P. pinea* y 2.7 mm/día en *P. halepensis*. El valor máximo de elongación en *P. pinea* fue de 10.9 mm/día registrado el 7 de junio, mientras que el de *P. halepensis* fue de 9.6 mm/día registrado también el mismo día. En ambos casos se trató de raíces pivotantes a profundidades mayores de 50 cm. Cabe destacar que los días que se produjeron estos elevados crecimientos en raíces a una profundidad de más de 50 cm, el crecimiento en las raíces superficiales fue muy reducido, con valores de 0.2 mm/día en *P. pinea* y 0.6 mm/día en *P. halepensis*. La velocidad media de crecimiento radical del pino piñonero y el pino carrasco desde mediados de diciembre a principios de febrero fue el 15 y 14%, respectivamente, del valor máximo de elongación registrado en primavera.

Se observaron diferencias muy significativas entre fechas de plantación en la producción radical al cabo de 1 mes ($P < 0.001$), siendo las plantaciones de enero y la de marzo las que menor y mayor crecimiento radical mostraron, respectivamente (Figura 2). Las plantaciones de noviembre y febrero mostraron valores parecidos e intermedios con respecto a las otras dos fechas. En contraste con el seguimiento de la elongación radical en los rizotrones, en este segundo experimento de fechas de plantación, el crecimiento radical de *P. halepensis* fue mayor que el de *P. pinea* ($P < 0.001$).

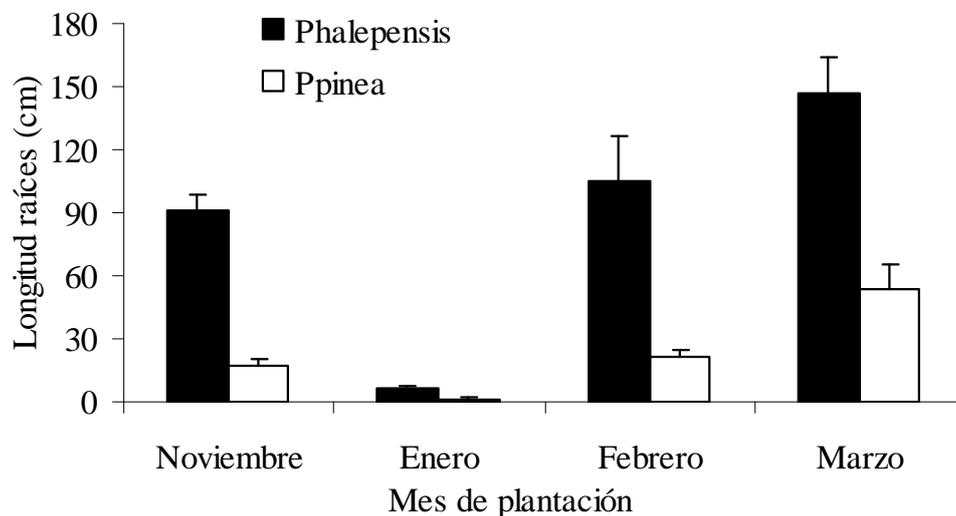


Figura 2. Longitud total de raíces producidas después de 1 mes en campo de brinzales de *Pinus halepensis* y *P. pinea* plantados en cuatro fechas diferentes. Los datos son medias \pm 1 error estándar, $n=5$.

DISCUSIÓN

El ritmo de elongación radical en ambos pinos se ajustó muy bien a las variaciones temporales de la temperatura, especialmente la del suelo. En todas las circunstancias el pino piñonero mostró una elongación radical mayor que el pino carrasco. Al igual que otras especies del mundo templado, la elongación radical se mantuvo muy baja mientras la temperatura media del suelo a 20 cm y la del aire fue inferior a 10°C. A mediados de marzo, cuando la temperatura del suelo a 20 cm sobrepasó por primera vez 10°C (ver Figura 1) se produjo un aumento importante del crecimiento radical en ambas especies. Sin embargo cuando la temperatura media del aire y del suelo superó los 15°C es cuando el crecimiento radical fue muy rápido. En un estudio anterior se observó que *P. halepensis* también presentaba un crecimiento radical muy reducido cuando la temperatura del suelo era inferior a 10°C (GOZALO CANO, 1998). Los 10°C también se ha visto como una temperatura límite por debajo del cual el crecimiento de las raíces en otras coníferas se ralentiza fuertemente (RIEDACKER, 1976;

LOPUSHINSKY & MAX, 1990). En los dos pinos la elongación radical en invierno, cuando la temperatura del suelo estaba cerca de 5°C, fue el 15% del valor máximo registrado en primavera, unos valores semejantes a los observados en *Quercus coccifera* y *Q. faginea* (AGUILAR et al., 2005) y superiores al de *Retama sphaerocarpa*, *Olea europaea* y *Pistacia terebinthus*, que fueron 9%, 2% y 1%, respectivamente (SARDÁ et al., 2005). En términos absolutos la velocidad de crecimiento radical de ambos pinos durante el invierno fue semejante o ligeramente mayor (en el caso de *P. pinea*) que el de la coscoja y el quejigo, pero claramente inferiores al de la retama y muy superiores al del olivo y el terebinto (AGUILAR et al. 2005; SARDÁ et al., 2005). Nuestros datos de crecimiento radical en invierno de *P. halepensis* contrastan como lo observado por RIEDACKER (1976) en Argelia, que no detectó crecimiento invernal en el pino carrasco. Cabe destacar que dicho autor empleó plantones a raíz desnuda y ello podría haber condicionado su resultado. En cambio, nuestros resultados sí coinciden con los datos de CORCHERO DE LA TORRE et al. (2002) que si apreciaron una elongación radical invernal en este pino en un estudio realizado en Guadalajara y con planta cultivada en contenedor. LESHEM (1965) observó que en zonas de inviernos suaves de Israel el período de mayor actividad radical era el invierno.

El crecimiento aéreo del pino carrasco fue más precoz que el del pino piñonero. En ninguna de las dos especies se observó una reducción del crecimiento radical debido al crecimiento aéreo. Estos resultados son coincidentes con otros trabajos realizados con *P. halepensis* en los que tampoco se apreció dicha interferencia (RIEDACKER, 1986; CORCHERO et al., 2002). Tampoco se ha observado interferencia entre el crecimiento radical y el aéreo en algunas coníferas boreales (LANGLOIS et al., 1983). Ello sugiere que estas dos especies de pino presentan una capacidad fotosintética y/o pueden movilizar grandes cantidades de azúcares de reserva para atender simultáneamente ambos sumideros de C. En *Quercus faginea*, *Olea europaea* y *Pistacia terebinthus* tampoco se observó una reducción del crecimiento radical debido al crecimiento aéreo (AGUILAR et al., 2005 y SARDÁ et al, 2005), pero sí en *Quercus coccifera* (AGUILAR et al., 2005).

Las plantaciones realizadas en fechas diferentes mostraron que ambos pinos produjeron mayor cantidad de raíces en la plantación de marzo, mientras que la menor producción se observó en la plantación de enero. Este patrón también se ha observado en otras especies mediterráneas estudiadas en el mismo período. (AGUILAR et al., 2005; SARDÁ ET AL, 2005) y son explicables por las temperaturas contrastadas de ambos períodos (T^a aire y suelo en enero = 6.6 y 5.3°C y T^a aire y suelo en marzo=9.8 y 10.7°C). Las principales diferencias entre especie fue la producción radical en las plantaciones de febrero y noviembre. Mientras en ambas fechas la producción de raíces en los pinos fue muy similar, en *Q. coccifera* y *Q. faginea* la plantación de noviembre presentó una mayor producción radical que la de febrero.

Un resultado que cabe resaltar es que en las plantaciones el crecimiento radical absoluto de *P. halepensis* fue mayor que el de *P. pinea*. Sin embargo, en los rizotrones se observó el patrón contrario, es decir, *P. pinea* presentó una elongación radical mayor que *P. halepensis*. Creemos que esta discrepancia es debida al método de trabajo empleado en ambos estudios. En el experimento de los rizotrones sólo se midieron unas pocas raíces vigorosas mientras que en las plantaciones se midieron todas las raíces nuevas. En los rizotrones, *P. pinea* mostró un número mucho menor de raíces creciendo contra la pared del rizotróon que *P. halepensis*. Sin embargo, las pocas raíces presentes de *P. pinea* tenían mayor elongación que las de *P. halepensis*.

Con los datos obtenidos en este trabajo proponemos que en las zonas continentales mediterráneas con inviernos fríos, las plantaciones de ambas especies se centren a final de octubre y noviembre ya que las plantas producirán rápidamente nuevas raíces y tendrán un cierto crecimiento invernal mientras las temperaturas medias del suelo no descendan por debajo de 5°C. CORCHERO et al., (2002) observó que las plantaciones tempranas de *Pinus halepensis* presentaban más producción de raíz que las más tardías.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con fondos del Ministerio de Medio Ambiente y de los proyectos ECOFIARB (Ren2000-0163-P4-05) y CGL2004-00355/BOS. Agradecemos a Rafael Serrada, Catedrático de Selvicultura de la EU de Ingeniería Técnica Forestal de Madrid, las facilidades dadas para la realización de este trabajo como parte de los proyectos de fin de carrera de Guillermo Valle,

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, A.; VALLE, G.; SARDÁ, P.; VILLAR-SALVADOR, P & PEÑUELAS RUBIRA, J.L. (2005). Crecimiento radical de plantones de *Quercus coccifera* y *Q. faginea* durante el período húmedo del año. Actas del IV Congreso Forestal Español (en prensa)
- CORCHERO DE LA TORRE, S.; 1998. *Estudio del ritmo de crecimiento en campo de las nuevas raíces en brinzales de Quercus ilex a lo largo de la temporada de plantación: Bases para establecer los momentos óptimos de plantación*. Proyecto Fin de Carrera, EUIT Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.
- GOZALO CANO, M. 1998. *Estudio del ritmo de crecimiento en campo de las nuevas raíces en brinzales de Pinus halepensis a lo largo de la temporada de plantación: Bases para establecer los momentos óptimos de plantación*. Proyecto Fin de Carrera, EUIT Forestal, Universidad Politécnica de Madrid.
- LESHEM, B. 1965. The annual activity of intermediary roots of the Aleppo Pine. *Forest Science* 3: 291-298
- LOPEZ, B.; SABATÉ, S. & GRACIA, C. 1998. Fine roots dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density. *Tree Physiology* 18: 601-606.
- LOPUSHINSKY, W. & T.A. MAX 1990. Effect of soil temperature on root and shoot growth and on budburst timing in conifer seedlings transplants. *New Forests* 4: 107-124.
- LANGLOIS, C.G., GODBOUT, L. & FORTIN, J.A. (1983). Seasonal variation of growth and development of the roots of five second year conifer species in the nursery. *Plant and Soil*. 71:55-62.
- LYR, H., HOFFMAN, G. 1967. Growth rates and growth periodicity of tree roots. *International review of forest research*. 2: 181-226.
- RIEDACKER, A. 1976. Rythmes de croissance et de régénération des racines des végétaux ligneux. *Ann. Sci. Forest.* 33(3): 109-138.
- RIEDACKER, A. 1986. Production et plantation de plants à racines nues ou en conteneurs. *Revue forestière française*. Vol 38: 226-236.
- SARDÁ, P., AGUILAR, A., VALLE, G., VILLAR-SALVADOR, P & PEÑUELAS RUBIRA, J.L. (2005). Crecimiento radical de plantones de *Retama sphaerocarpa*, *Pistacia terebinthus* y *Olea europaea* durante el período húmedo del año. Actas del IV Congreso Forestal Español (en prensa)