

CRECIMIENTO RADICAL DE PLANTONES DE *RETAMA SPHAEROCARPA*, *PISTACIA TEREBINTHUS* Y *OLEA EUROPAEA* DURANTE EL PERÍODO HÚMEDO DEL AÑO

Pablo Sardá¹, Abraham Aguilar¹, Guillermo Valle¹, Pedro Villar-Salvador^{1,2} y Juan L. Peñuelas¹

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

En este trabajo se describe el ritmo de crecimiento radical y aéreo en campo de *Retama sphaerocarpa*, *Olea europaea* y *Pistacia terebinthus* 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 estas especies. 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. *Retama sphaerocarpa* presentó durante la mayor parte del período de estudio una mayor elongación radical que las otras dos especies, mientras que *P. terebinthus* mostró los valores de elongación más bajos. Las mayores diferencias entre especies se observaron a mitad de la primavera. Durante el invierno la retama también presentó una mayor elongación radical que las otras dos especies, las cuales apenas mostraron elongación de sus raíces. Los resultados de producción absoluta de raíces en las cuatro fechas de plantación mostraron que las tres especies mostraron los valores más bajos de producción radical en enero. En retama, la plantación de marzo fue la que más raíces presentó, mientras que en el olivo y el terebinto, las plantaciones de noviembre, febrero y marzo presentaron valores parecidos de longitud radical. Salvo en enero, la producción de raíces en *P. terebinthus* 1 mes después de la plantación fue significativamente menor que el de las otras dos especies. En marzo, la retama presentó una mayor producción absoluta de raíces que el olivo, no existiendo diferencias importantes entre dichas especies en las restantes fechas.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de las especies mediterráneas para superar el periodo de sequía durante el primer año, viene en gran parte condicionada por el grado de desarrollo y la profundidad que las raíces que alcanzan antes del inicio de dicho periodo. A su vez el desarrollo radical depende de diversos factores, no sólo inherentes a la genética del propio individuo, sino también al medio en que se está desarrollando, como la temperatura edáfica o la estructura del suelo.

A pesar de que no existen muchos estudios sobre fenología radical de especies mediterráneas. Para conseguir un éxito en las plantaciones está muy difundida la idea de que lo mejor que se puede hacer para alcanzar un desarrollo radical adecuado y a tiempo, es adelantar la plantación cuanto sea posible dentro de la época húmeda del año. En este estudio se ha pretendido averiguar como son los ritmos de crecimiento de las raíces durante el periodo de temperaturas más bajas, ya que este es el factor más limitante al crecimiento cuando no existe estrés hídrico. Sin embargo, es posible que las plantaciones tempranas, de otoño, no tengan un desarrollo radical significativamente mayor que las más tardías, de finales de invierno- principios de primavera, mientras que están expuestas durante mucho más tiempo a trastornos tanto abióticos como bióticos. La permanencia de las plantas durante un largo periodo de tiempo sin producir raíces después de su plantación podría hacerlas más vulnerables a estos trastornos o, simplemente, que sufran una merma de su capacidad funcional como consecuencia de la pérdida de nutrientes (VAN DEN DRESSCHE 1983; CORCHERO, 1998;

GOZALO, 1998). Por otro lado, y a pesar de la ventaja que supone evitar estos inconvenientes, también hay que tener en cuenta que en ciertas zonas la limitación del crecimiento debido al estrés hídrico es mucho más temprana que en otras porque el período vegetativo es más corto, y que algunas especies no logran compaginar correctamente el desarrollo de la parte aérea con el del sistema radical (REICH *et al.*, 1980), lo que puede provocar que al llegar el período seco, aún no se haya alcanzado un desarrollo radical adecuado para hacerle frente.

El trabajo consta de dos estudios simultáneos, llevados a cabo con *Retama sphaerocarpa*, *Olea europaea* var. *sylvestris* y *Pistacia terebinthus*; uno de ellos empleó plantas en rizotrones, con seguimiento tanto de la parte aérea como de la radical, desde octubre hasta mediados de junio, para estudiar los ritmos de crecimiento y las interacciones entre ambas partes; el segundo estudio consistió en cuatro plantaciones consecutivas de un mes de duración en noviembre, enero, febrero y marzo con el fin de comparar los desarrollos inmediatos tras la plantación. Con esta información a lo largo del tiempo se podrían establecer los momentos óptimos de plantación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron brinzales de 1 savia cultivados en ®Plasnor 300 (*Olea europaea*), ®Plasnor 200 (*Retama sphaerocarpa*) y ®Forest Pot 200 (*Pistacia terebinthus*) con un sustrato de turba rubia y sin fertilizar. Tanto la retama como el terebinto se cultivaron desde el comienzo en el Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, pero el olivo fue inicialmente cultivado en un vivero de Ciudad Real con sombra y fertilizante de liberación lenta. En julio, los olivos fueron traídos a El Serranillo y se continuó su cultivo a pleno sol junto con las otras especies, siendo las tres especies fertirrigadas semanalmente hasta el final del verano con un fertilizante de crecimiento (20-7-19 de N, P y K).

Se llevaron a cabo dos experimentos. En el primero 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 (1 planta por maceta) con arena de río (región granulométrica XIIa). 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. La parcela era llana, no estaba sombreada por masas colindantes y 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 de los individuos en el surco fue aleatoria y después de cada plantación los brinzales permanecieron en 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.

El segundo experimento comenzó el 15 de octubre de 2003 y se transplantaron siete plantas por especie en rizotrones (1 planta por rizotrófon) 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. El sustrato fue la misma arena utilizada en las plantaciones del primer experimento, 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 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 de los tallos con un calibre. Las plantas fueron regadas con 400-800 ml de agua cada 3-9 días dependiendo de la época del año y la disposición en el espacio de las plantas de las diferentes especies fue al azar.

Los datos se analizaron por análisis de varianza (ANOVA), considerando la fecha de plantación y la especie como factores fijos. Para el segundo 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, y 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 a 20 cm 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 diámetro de los tallos de *R. sphaerocarpa* y *O. europaea* comenzó a mediados de abril mientras que en *P. terebinthus* ocurrió a principios de junio. El mayor incremento en diámetro lo presentó *O. europaea*, con una variación de 0,58 cm; en *R. sphaerocarpa* este incremento fue de 0,19 cm; y en *P. terebinthus* fue de 0,25 cm. La brotación del terebinto se inició en la primera mitad de abril, mientras que en las otras dos especies la brotación ocurrió en la segunda mitad de abril.

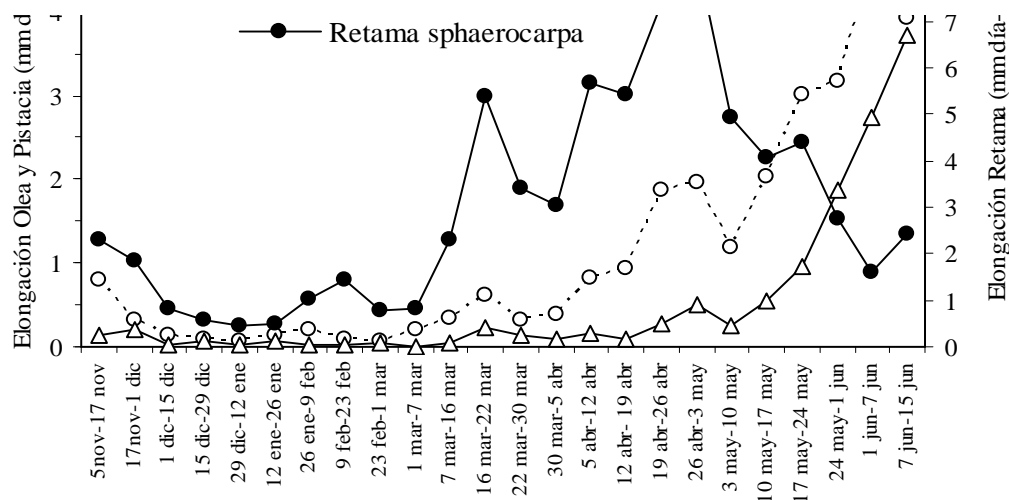


Figura 1. Variación de la temperatura media del aire y la del suelo a 20 y 60 cm de profundidad (A) y, del crecimiento de la parte aérea (B) y la elongación de las raíces (C) en brinzales de *Retama sphaerocarpa*, *Olea europaea* y *Pistacia terebinthus* durante el periodo de estudio. Las flechas en la Figura B indican el comienzo aproximado del crecimiento aéreo. Los datos de crecimiento son medias de 5-7 individuos.

En cuanto a la elongación radical, se observaron diferencias significativas entre especies, si bien las diferencias dependieron de la época del año (interacción especie x fecha de medición, $P < 0.001$). Así, *R. sphaerocarpa* presentó una considerable mayor elongación radical que el olivo y el terebinto en casi todas las fechas de medición, excepto en las mediciones de junio, momento en el que la elongación radical de la retama fue igual o inferior a la del olivo y el terebinto. En promedio, la elongación radical de *R. sphaerocarpa* fue 3 y 6 veces mayor que la del olivo y el terebinto, respectivamente. En la retama, la elongación de las raíces no se detuvo durante el invierno siendo el crecimiento medio durante las semanas más frías (mediados de diciembre a mediados de febrero) de 0.80 mm día^{-1} . En el mismo periodo, la elongación radical del terebinto y el olivo fue muy reducida o nula (0.12 y 0.04 mm día^{-1} , respectivamente). A partir del final de febrero y comienzos de marzo, la retama y el olivo incrementaron paulatinamente la velocidad de crecimiento radical. Los valores más elevados de elongación radical en retama se alcanzaron a principios de mayo con valores medios de $8,36 \text{ mm día}^{-1}$. A partir de esta fecha, la elongación radical de esta especie sufrió un continuo descenso hasta el final del estudio. En *O.europaea*, el máximo crecimiento radical se alcanzó en junio siendo en promedio $4,58 \text{ mm día}^{-1}$. A finales de abril y comienzos de mayo *P. terebinthus* empezó a incrementar sustancialmente su elongación radical, el cual fue hasta ese momento prácticamente nulo. El valor máximo de elongación radical en el terebinto se alcanzó al final del periodo de estudio y fue $3,7 \text{ mm día}^{-1}$.

Se observaron diferencias muy significativas de producción radical entre especies en las cuatro fechas de plantación, si bien estas diferencias variaron entre las fechas de plantación (interacción especie x fecha de plantación $P < 0.001$). En concreto, en la plantación de enero no se observaron diferencias significativas entre las especies, mientras que en las plantaciones de noviembre y febrero la producción absoluta de raíces de la retama y el olivo fueron mayores que la del terebinto, no existiendo diferencias entre las dos primeras especies (Figura 2). Finalmente, en la plantación de marzo, la retama presentó mayor longitud de raíces que las otras dos especies, mientras que el olivo desarrolló un nivel intermedio de raíces entre la retama y el terebinto. Cabe destacar que el máximo de producción radical de retama se observó en la plantación de marzo, el del olivo se midió en la de noviembre, si bien fue muy parecida a las de las plantaciones de febrero y marzo. En el terebinto, las diferencias de producción radical entre fechas de plantación fueron muy pequeñas.

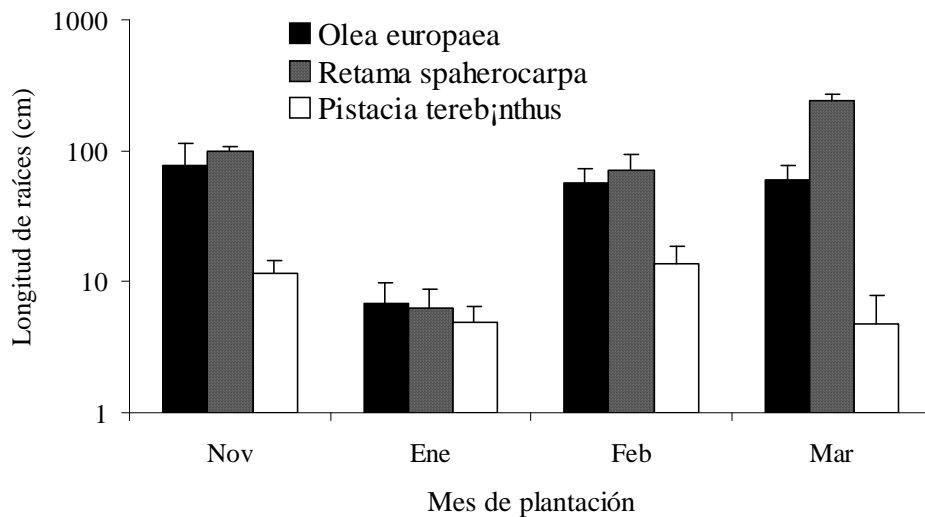


Figura 2. Longitud total de raíces producidas después de un mes en campo de brinzales de *Olea europaea*, *Retama sphaerocarpa* y *Pistacia terebinthus* plantados en cuatro fechas diferentes. Los datos son medias \pm 1 error estándar.

DISCUSIÓN

Las tres especies presentaron diferencias importantes de elongación radical. Exceptuando el último período de estudio, *R. sphaerocarpa* mantuvo una clara mayor elongación radical que las restantes especies, mientras que *P. terebinthus* fue la que menor elongación radical mostró. El crecimiento de las tres especies estuvo fuertemente acoplado a las variaciones de temperatura, tanto en sus tendencias generales, como en sus ligeras oscilaciones. Además, las variaciones de elongación radical respondieron a los cambios de temperatura ocurridos inmediatamente antes de las mediciones de elongación. En *Quercus ilex*, sin embargo, CORCHERO DE LA TORRE (1998) observó que los cambios de velocidad de crecimiento radical tendían a estar desfasados con las variaciones de temperatura y radiación.

R. sphaerocarpa mostró una apreciable elongación radical en invierno y dicho crecimiento fue considerablemente mayor que el de las otras dos especies. Trabajos previos demuestran las especies perennes pueden mantener elongación radical durante el invierno siempre que las condiciones de temperatura no sean excesivamente limitantes (RIEDACKER, 1975; SUTTON, 1989). NAMBIAR et al., (1979) observó en *Pinus radiata* que el crecimiento de las raíces se ralentiza fuertemente por debajo de 11-14°C. En coníferas boreales se observó que el crecimiento se detenía por debajo de 5°C y empezaba a acelerarse a partir de 10°C (LOPUSHINSKY & MAX, 1990). RICHARDSON (1958) determinó que *Acer saccharinum* retoma el crecimiento cuando la temperatura sube de 5° C y en *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* presentan un límite térmico de 10° C (CORCHERO DE LA TORRE et al., 2002). En nuestro estudio, la elongación radical de retama durante el invierno, cuando la temperatura media del aire fue inferior a 10°C y la del suelo alrededor de 5°C, fue 6.7 y 20 veces mayor que la del olivo y la del terebinto, respectivamente. La elongación radical de la retama también fue superior a la de *Quercus coccifera*, *Q. faginea*, *Pinus halepensis* y *P. pinea*, las cuales fueron estudiadas en el mismo sitio y período (AGUILAR et al., 2005 y VALLE et al., 2005). En el caso del olivo su elongación radical fue menor que la de los *Quercus* y los pinos, lo cual está en consonancia con su mayor carácter termófilo. El terebinto presentó un crecimiento prácticamente nulo hasta la llegada de la primavera lo cual probablemente está relacionado con su habito foliar decíduo y coincide con lo observado en otras especies centroeuropeas caducifolias (LYR, HOFFMANN, 1967; RIEDACKER, 1975). Una vez la temperatura del aire superó 10° C a mediados de marzo, la retama y el olivo comenzaron a presentar un incremento notable de la elongación radical. En el caso de *P. terebinthus*, éste comenzó su crecimiento radical de manera apreciable más tarde, alrededor de mediados de abril y con temperaturas más elevadas.

R. sphaerocarpa presentó una fuerte caída de la elongación radical a partir del final de abril. Creemos que esta reducción no tiene nada que ver con una interferencia entre el desarrollo radical y el de la parte aérea, sino que puede ser un artefacto de nuestro experimento ya que coincidió con el

momento en el que las raíces principales llegaron al fondo del rizotrópico y se produjo una proliferación de raíces secundarias. Es posible que esta proliferación conllevó una reducción del crecimiento de las raíces principales (pivotantes), que eran hasta dicho momento sobre las que se habían concentrado las mediciones. En cuanto a *O. europaea* y *P. terebinthus*, no presentaron una interferencia en el crecimiento de ambas partes. Un resultado parecido también se ha constatado en especies de pino (CORCHERO DE LA TORRE *et al.* 2002, VALLE *et al.*, 2005) e indicaría que dichas especies presentan una capacidad fotosintética y/o pueden movilizar grandes cantidades de azúcares de reserva para atender simultáneamente ambos sumideros de carbono.

La producción absoluta de raíces presentó importantes diferencias entre especies, si bien dichas diferencias variaron entre fechas de plantación. En general, la diferencia entre especies siguió un patrón muy similar al observado en el experimento de los rizotrones, es decir, la retama presentó una mayor producción en todas las fechas, salvo en la plantación de enero, en la que no se observaron diferencias significativas entre especies. El olivo mostró valores intermedios entre la retama y el terebinto y con pocas diferencias entre la plantación de noviembre, febrero y marzo, y el terebinto mostró valores muy reducidos en las cuatro fechas de plantación y con pocas variaciones entre ellas. La diferente producción de raíces entre fechas en la retama estuvieron en parte relacionadas con la temperatura del aire. La temperatura media en enero fue 6.6°C, la de febrero 7.4°C, mientras que la de noviembre y marzo fueron 8.8 y 9.8°C, respectivamente. El patrón de producción radical de la retama es semejante al observado en *Pinus halepensis* y *P. pinea*, los cuales mostraron el crecimiento más alto en la plantación de primavera (VALLE *et al.* 2005), pero difiere del de *Quercus coccifera* que presentó una mayor producción radical en la plantación de otoño (AGUILAR *et al.*, 2005).

A partir de los resultados obtenidos recomendamos que las plantaciones de *P. terebinthus* sean hechas en febrero o marzo, ya que, teniendo en cuenta que el crecimiento durante el final del otoño y principios del invierno fue prácticamente inexistente, no estaría justificado exponer las plantas a posibles daños en campo. *R. sphaerocarpa* debería ser plantada en otoño ya que durante todo el invierno presenta desarrollo radical, al menos mientras no existan heladas importantes. Por último, *O. europaea*, no tiene en invierno un importante desarrollo radical, y aunque, atendiendo al estudio de los diferentes momentos de plantación, parece que la plantación de noviembre fue la que mejores resultados dio, no se diferencia demasiado de las de febrero o marzo. Esto, sumado a que no se observaron interferencias en el desarrollo de parte aérea y radical, nos permite recomendar que las plantaciones de esta especie se efectúen a partir de mediados de febrero.

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, Abraham Aguilar y Pablo Sardá.

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.
- CORCHERO-DE LA TORRE, S., GOZALO-CANO, M.; VILLAR-SALVADOR, P. & PEÑUELAS-RUBIRA, J.L. (2002). Crecimiento radical en campo de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* plantados en diferentes momentos. *Revista Montes.* 68:5-11

- 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.
- LOPUSHINSKY, W. & T.A. MAX (1990). Effect of soil temperature on root and shoot growth and on budburst timing in conifer seedling transplants. *New For.* 4:107-124.
- LYR, H., HOFFMAN, G. 1967. Growth rates and growth periodicity of tree roots. *International review of forest research.* 2: 181-226.
- NAMBIAR, E.K.S.; BOWEN, G.D & SANDS, R. (1979). Root regeneration and plant water status of *Pinus radiata* D. Don seedlings transplanted to different soil temperatures. *J. Exp.Bot.* 30:1119-1131.
- REICH, P.B., TESKEY, R.O., JOHNSON, P.S. & HINCKLEY, T.M. (1980). Periodic root and shoot growth in oak. *For. Sci.* 26:590-598.
- RIEDACKER, A. 1976. Rythmes de croissance et de régénération des racines des végétaux ligneux. *Ann. Sci. For.* 33(3): 109-138.
- RICHARDSON, S. D. (1958). Bud dormancy and root development in *Acer saccharinum*. *The Physiology of Forest Trees*. K. V. Thimann, ed. 409-425. Ronald Press. New York.
- SUTTON, R.F. 1989. Form and development of conifer root systems. Commonwealth Agrc. Bur. Oxford Tech. Communications. 7: 39-42.
- VALLE, G., SARDÁ, P., AGUILAR, A., VILLAR-SALVADOR, P & PEÑUELAS RUBIRA, J.L. (2005). Crecimiento radical de plantones de *Pinus halepensis* y *P. pinea* durante el período húmedo del año. *Actas del IV Congreso Forestal Español* (en prensa).
- VAN DEN DRIESSCHE, R. (1983). Growth, survival, and physiology of Douglas-fir seedlings following root wrenching and fertilization. *Can. J. For. Res.* 13:270-277.