CRECIMIENTO RADICAL DE PLANTONES DE *QUERCUS COCCIFERA* Y *QUERCUS FAGINEA* DURANTE EL PERÍODO HÚMEDO DEL AÑO

Abraham Aguilar[1], Guillermo Valle[1], Pablo Sardá[1], Pedro Villar-Salvador[1,2] y Juan L. Peñuelas Rubira[1]

1. Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo", Dirección General para la Biodiversidad, Ministerio de Medio Ambiente, Apdo. 249, 19004 Guadalajara (España).Tel. 949-212651 e-mail: jlpenuelas@mma.es
2. Dirección actual y autor de contacto: Departamento de Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, Madrid (España). Tel. 91-8856401, e-mail: pedro.villar@uah.es

Resumen

En este trabajo se describe el ritmo de crecimiento radical y aéreo en campo de *Quercus coccifera* y *Q. faginea* 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. *Quercus coccifera* presentó una elongación radical mayor que *Q. faginea* desde el otoño hasta la mitad de la primavera, momento en el que el crecimiento radical del quejigo pasó a ser más elevado que el de la coscoja. Los brinzales de quejigo de 1 savia que empleamos en este estudio mantuvieron una buena parte de su follaje verde y mostraron crecimiento radical apreciable antes de la brotación en primavera. Las variaciones en el tiempo de elongación radical en ambas especies estuvieron acopladas estrechamente con las variaciones de temperatura del aire y del suelo. En *Q. faginea* los valores más elevados de elongación radical se registraron a mediados de junio mientras que en *Q. coccifera* se registraron en mitad de mayo. El máximo de elongación radical del quejigo fue mayor que el de coscoja. Ambas especies presentaron sus valores más bajos de elongación radical entre mediados de diciembre y mediados febrero, cuando la temperatura del suelo a 20 cm de profundidad fue alrededor de 5ºC. La elongación invernal en coscoja y quejigo supuso entre el 15-30% y el 7-15%, respectivamente, de la elongación máxima observada en primavera. En cuanto a la producción absoluta de raíces en las cuatro fechas de plantación, ambas especies presentaron los valores más elevados en las plantaciones de marzo y noviembre, los más bajos en la plantación de enero e intermedios en la de febrero. No se observaron diferencias significativas entre especies en la producción de raíces 1 mes después de las plantaciones.

INTRODUCCIÓN.

El crecimiento de las raíces en las plantas depende de múltiples factores como la temperatura, la disponibilidad de agua o la estructura del suelo (MCMICHAEL & QUISENBERRY 1993), los cuales pueden afectar las especies de manera distinta. 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. La fecha de plantación dentro del período húmedo del año puede condicionar dicho desarrollo radical (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 el de las más

tardías, por ejemplo, las plantaciones de final de invierno (ver ejemplo de encina en 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 o mermar su capacidad funcional debido a una pérdida de nutrientes (VAN DEN DRIESSCHE, 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, los estudios con especies mediterráneas son mucho más limitados. Se han efectuado estudios con *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* (CORCHERO DE LA TORRE *et al.* 2002; LÓPEZ *et al.* 2001; RIEDACKER 1986), pero del resto de especies carecemos de información.

En este trabajo se ha estudiado el crecimiento de las raíces y de la parte aérea de *Quercus faginea* y *Quercus coccifera* 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 de raíces a corto plazo de plantaciones hechas en cuatro momentos distintos. En el segundo estudio se emplearon rizotrones y se siguió desde octubre hasta mediados de junio el ritmo de elongación de la parte aérea y radical.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizaron brinzales de una savia de *Quercus faginea* y *Quercus coccifera* cultivados en contenedores ®Forest Pot 300 con turba rubia sin fertilizar. Durante su cultivo las plantas fueron 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 ºC 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 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. 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 30º 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 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 0.4ºC en febrero y 25ºC en junio. La temperatura máxima absoluta del aire fue 36.9ºC en junio y la mínima absoluta –6.3ºC 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 2.1ºC en enero y 31.6ºC a final de mayo. Entre mediados de diciembre y principios de marzo, la temperatura del suelo a 20 cm de profundidad estuvo alrededor de 5ºC. A partir del principio de marzo tanto la temperatura del aire como la del suelo empezaron a subir, superando los 10ºC a mitad de dicho mes. La temperatura mínima absoluta del suelo a 20 cm fue -0.1 ºC, obtenida el 2 de marzo, mientras que la máxima absoluta fue 40.6ºC 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 los que la tendencia se invirtió. La temperatura a 60 cm varió entre 6.7ºC en enero y 23ºC en junio.

Q. faginea inició su crecimiento aéreo cuatro semanas antes que *Q. coccifera*, siendo estas fechas alrededor del 19 de abril y 17 de mayo, respectivamente. Hasta dicho momento, el crecimiento aéreo fue inexistente (Figura 1B).

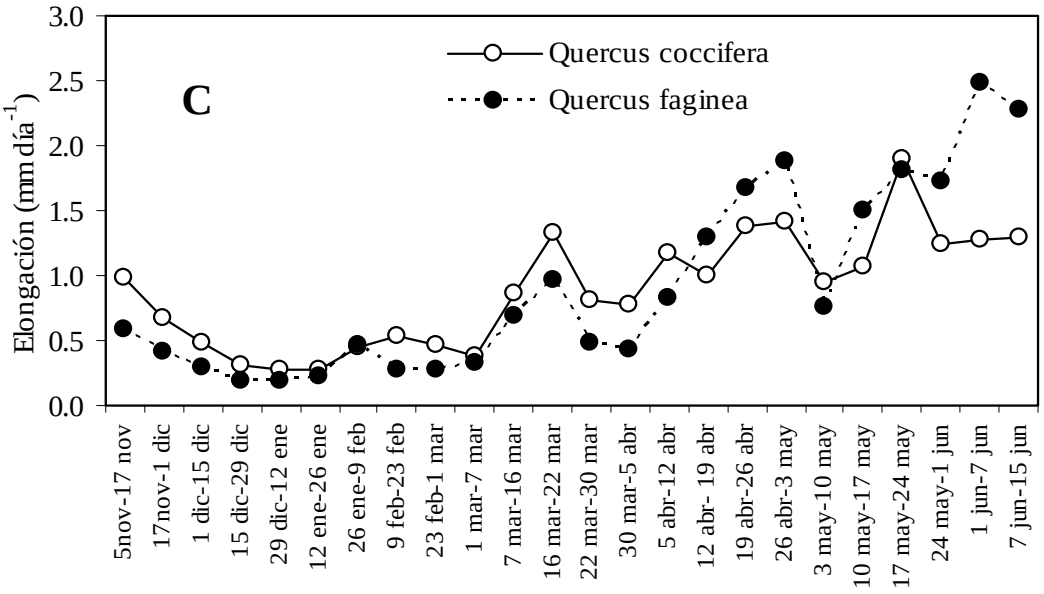

Figura 1. Variación de la temperatura media del aire y la del suelo a 20 y 60 cm de profundidad (A) y, del crecimiento de la parte aérea (B) y la elongación de las raíces (C) en brinzales de *Quercus faginea* y *Q. coccifera* durante el periodo de estudio. Las flechas en la Figura B indican el comienzo aproximado del crecimiento aéreo. Los datos de crecimiento son medias de 6-7 individuos.

Hasta mediados de abril, *Q. coccifera* mostró una mayor elongación radical que *Q. faginea*, pero a partir de esta fecha el quejigo mostró mayor elongación radical que la coscoja (interacción especie × fecha; P = 0.0056). El crecimiento radical de ambas especies presentó máximos relativos en noviembre, marzo y a finales de abril. En el caso concreto del quejigo, se produjo otro máximo a principios de junio. Se observaron momentos de depresión de la elongación durante enero y febrero y a comienzos de abril y mayo (Figura 1C). En noviembre la elongación radical alcanzó 1 y 0.5 mm/día en *Q. coccifera* y *Q. faginea*, respectivamente. A partir de esta fecha la elongación radical descendió hasta 0.27 mm/día en la coscoja y 0.18 mm/día en el quejigo durante el mes de enero. A partir de marzo la elongación radical se incrementó continuamente si bien con importantes oscilaciones dependiendo de las variaciones de temperatura. A mediados de abril, la velocidad de crecimiento radical de *Q. faginea* empezó a ser más elevada que la de *Q. coccifera.* En la tercera semana de mayo se registraron los valores más elevados de elongación radical en *Q. coccifera* con 1.7 mm/día, mientras que los valores más altos de *Q. faginea* se obtuvieron en la segunda semana de junio y fueron en promedio 2.1 mm/día. La elongación invernal en *Q. coccifera* supuso entre el 15-30% de la elongación máxima observada en primavera, mientras que en *Q. faginea* varió de 7-15%.

Se observaron diferencias muy significativas entre fechas de plantación (P < 0.001) en la producción absoluta de raíces 1 mes después de cada plantación. Las plantaciones de noviembre y marzo fueron las de mayor crecimiento, pero no presentaron diferencias significativas entre sí (Figura 2). La plantación de enero fue la de menor producción radical; en concreto, la producción de raíces en enero fue un orden de magnitud inferior a la observada en marzo y noviembre. La producción de raíces en la plantación de febrero fue intermedia entre la de enero y las de noviembre y marzo. No se observaron diferencias significativas entre especies en las cuatro fechas de plantación (P = 0.548).

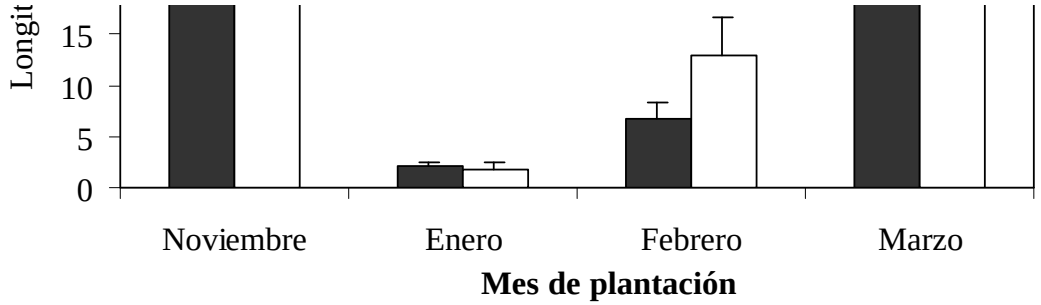

Figura 2. Longitud total de raíces producidas después de 1 mes en campo de brinzales de *Quercus faginea* y *Quercus coccifera* plantados en cuatro fechas diferentes. Los datos son medias ± 1 error estándar, n=5.

DISCUSIÓN

Quercus coccifera mostró mayor elongación radical que *Q. faginea* hasta la mitad de la primavera, momento en el que la elongación radical del quejigo pasó a ser más elevada, probablemente asociada con la formación de nuevas hojas, más productivas. El crecimiento radical de ambas especies se acopló durante la mayor parte del tiempo con los cambios de temperatura tanto del aire como del suelo ocurridos en el mismo período de medición. 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.

Un resultado muy interesante de nuestro estudio fue constatar que *Q. faginea* presenta crecimiento radical durante el período frío del año, a pesar de que esta especie sea catalogada como de hábito deciduo. Los individuos de quejigo empleados en nuestro estudio presentaron hojas verdes que paulatinamente se fueron necrosando y desprendiendo hasta la brotación en primavera. Este es un patrón muy común en los juveniles de esta especie y que se pierde después con la edad aunque varía entre años dependiendo del frío invernal (observaciones personales). En nuestro caso, además, las hojas presentaron actividad fotosintética durante el invierno (datos no mostrados). Dada la relación que existe entre el crecimiento radical y la fotosíntesis del momento (VAN DEN DRIESSCHE, 1991; MORENO et al., 2005), la persistencia de hojas verdes fotosintéticamente activas podría explicar el crecimiento radical de esta especie durante el otoño e invierno. En *Pistacia terebinthus*, una especie estrictamente decidua el crecimiento otoñal e invernal fue prácticamente nulo hasta la brotación primaveral (SARDÁ et al. 2005).

Las bajas temperaturas inhiben el crecimiento de las raíces. La velocidad de crecimiento radical durante el invierno en *Q. coccifera* y *Q. faginea*, con la temperatura del suelo a 20 cm alrededor de 5ºC, fue un 20% y un 12%, respectivamente, del crecimiento máximo observado en primavera. Esto valores, especialmente los de la coscoja, son bastante elevados lo que indicaría que estas especies pueden mantener un crecimiento apreciable aunque los suelos estén bastantes fríos. En valores absolutos, la elongación de las raíces en invierno en estas dos especies de *Quercus* es inferior al crecimiento radical invernal de *Retama sphaerocarpa* y *Pinus pinea* pero superior al de *Olea europaea* y *Pistacia terebinthus* (SARDÁ *et a*l., 2005; VALLE *et al*., 2005). En *Quercus ilex*, el crecimiento radical de los brinzales se llega a detener en los meses más fríos, mientras que en *Pinus halepensis* esto no ocurre (CORCHERO-DE LA TORRE *et al.* 2002). NAMBIAR et al., (1979) observó en *Pinus radiata* que el crecimiento de las raíces se ralentiza fuertemente por debajo de 11-14ºC. En coníferas boreales se observó que el crecimiento se detenía por debajo de 5ºC y empezaba a acelerarse a partir de 10ºC (LOPUSHINSKY & MAX, 1990).

El crecimiento aéreo de *Q. faginea* fue anterior al de *Q. coccifera*. En el quejigo no observamos una interferencia entre el crecimiento aéreo y el crecimiento radical, es decir, el crecimiento aéreo no deprimió la elongación radical en esta especie. En cambio, en *Q. coccifera* sí se apreció una cierta ralentización del crecimiento radical con la brotación, un patrón que también se

observa en *Q. alba, Pinus nigra* (ARBEZ, 1971; REICH et al. 1980). En *Q. ilex*, también se apreció dicha ralentización, pero sólo en individuos plantados en otoño y a comienzos de la primavera pero no en los plantados a final del invierno. En *Pinus halepensis*, en cambio, no se produce interferencia entre el crecimiento aéreo y radical (CORCHERO DE LA TORRE *et al.* 2002). Esta interferencia podría perjudicar el establecimiento de los plantones de coscoja si conlleva un insuficiente desarrollo radical antes del verano. Sin embargo desconocemos el alcance real de dicho proceso sobre el establecimiento de los plantones.

El crecimiento de las raíces al cabo de 1 mes después de la plantación, presentó notables diferencias dependiendo de la época de plantación. En pleno invierno (enero) el crecimiento fue muy pequeño, intermedio al final del invierno (mitad febrero) y muy elevado en mitad del otoño (noviembre) y a comienzos de la primavera (mitad de marzo). Estas diferencias se relacionan parcialmente con los cambios de temperatura del aire durante el mes en campo. La temperatura media en enero fue 6.6ºC, la de febrero 7.4ºC, mientras que la de noviembre y marzo fueron 8.8 y 9.8ºC, respectivamente. Este patrón difiere del observado en *Pinus halepensis* y *P. pinea* y realizado en las mismas condiciones de nuestro estudio (VALLE *et al.* 2005). En los pinos el mayor crecimiento se dio en primavera. Las plantaciones de final del invierno y mitad de otoño presentaron crecimientos semejantes e inferiores al de primavera. Según estos resultados siempre que las condiciones de humedad en el suelo sean adecuadas, las plantaciones de coscoja y quejigo efectuadas en noviembre y a principios de primavera potencialmente tendrían un mayor potencial para superar una crisis postransplante inicial.

Con los resultados obtenidos pensamos que para conseguir un elevado desarrollo de las raíces en repoblaciones continentales, las plantaciones de coscoja deben realizarse a final de octubre y en noviembre ya que esta especie mantiene un crecimiento radical apreciable durante el invierno y, además, se podría minimizar un potencial efecto negativo de la interferencia entre el crecimiento aéreo y el radical en primavera sobre el desarrollo final de las raíces. En *Q. faginea* proponemos que las plantaciones se realicen o bien muy temprano en el otoño o bien posponerlas a mediados de febrero, momento a partir del cual el crecimiento inicial de las raíces es bastante elevado y en principio parece que no se produce una reducción del crecimiento radical debido al crecimiento aéreo.

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.

BIBLIOGRAFIA

ARBEZ, M. (1971). Croissance des racines du pin laricio de Corse (*Pinus nigra* Arn., ssp *laricio*), au stade juvénile. Annales des Sciences Forestières. 28:259-288.

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.

LÓPEZ, B., SABATÉ, S. & GRACIA, C.A. (2001). Annual and seasonal changes in fine root biomass of a *Quercus ilex* L. forest. Plant and Soil. 230:125-134.

LOPUSHINSKY, W. & T.A. MAX (1990). Effect of soil temperature on root and shoot growth and on budburst timing in conifer seedling transplants. New Forests. 4:107-124.

LYR, H. & HOFFMANN, G. (1967). Growth rates and growth periodicity of tree roots. International

Review of Forest Research. 2:181-226.
McMICHAEL, B.L. & QUISENBERRY, J.E. (1993). The impact of the soil environment on the growth of root systems. Environmental and Experimental Botany. 33:53-61.
MORENO, S.; VILLAR-SALVADOR, P.; PEÑUELAS-RUBIRA, J.L. (2005). Dependencia del crecimiento radical de la fotosíntesis del momento en especies perennifolias mediterráneas. Implicaciones para el cultivo de planta. Actas del IV Congreso Forestal Español, Zaragoza (en prensa)
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. Journal of Experimental Botany. 30:1119-1131.
REICH, P.B., TESKEY, R.O., JOHNSON, P.S. & HINCKLEY, T.M. (1980). Periodic root and shoot growth in oak. Forest Science. 26:590-598.
RIEDACKER, A. (1976). Rythmes de croissance et de régénération des racines des végétaux ligneux. Annales des Sciences Forestières. 33:109-138.
RIEDACKER, A. (1986). Production et plantation des plants à racines nues ou en conteneurs. Revue Forestiére Francaise. 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)
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. Canadian Journal Forest of Research. 13:270-277.
VAN DEN DRIESSCHE, R. (1991). New root growth of douglas-fir seedlings at low carbon dioxide concentration. Tree Physiology. 8:289-295.