

El Centro Nacional de Mejora Forestal “ El Serranillo”: Diez años buscando la calidad de la planta forestal para las actuaciones en ámbito mediterráneo.

Juan Luis Peñuelas Rubira

Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”, Ministerio de Medio Ambiente, Apdo.249, 19080 Guadalajara (España), jlpenuelas@dgcn.mma.es

Resumen

En la presente comunicación se describen los trabajos y resultados más patentes que en materia de experimentación forestal ha desarrollado el Centro “El Serranillo”, desde su creación en 1.985 por el antiguo ICONA hasta el día de hoy en el que se encuentra integrado en el Ministerio de Medio Ambiente. Ante la falta inicial de conocimientos básicos de producción y calidad de planta de las especies mediterráneas más comunes, el Centro abrió una nueva línea de trabajo consistente en el estudio y desarrollo de un sistema de producción de planta forestal en vivero que- basándose en su funcionamiento específico - mejorara su calidad y consecuentemente su supervivencia en campo. Así, muchos han sido los factores de producción que se han estudiado: contenedores, fertilización, micorrización y endurecimiento por control del riego, así como los manejos del agua y de la luz y del resto de factores ambientales. Del mismo modo y como complemento lógico de la fase de vivero, se ha contemplado el manejo de la planta en pre-plantación, plantación y post-plantación, habiendo desarrollado protocolos para estudiar entre otros aspectos: aviveramiento, cinética de crecimiento radical, influencia de la profundidad de plantación y de los tubos protectores con efecto invernadero o el control de la competencia herbácea. Los trabajos desarrollados nos han permitido, además, ampliar nuestro conocimiento sobre los aspectos funcionales de las plantas que más incidencia tienen en el arraigo y supervivencia.

P.C.: calidad de planta, cultivo en contenedor, ambiente mediterráneo, reforestación, vivero

Abstract

In this paper I review the most important results obtained from the different projects developed in the Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo” since its creation in 1985 by the ICONA until the present when it is integrate in the Environmental Ministry. The lack of information related with the cultivation and the quality of Mediterranean plant species stimulated the beginning of a research line related with these items. Many cultivation topics have been studied: containers, fertilisation, mycorrhization, drought conditioning, irrigation, and the rest of environmental conditions. Similarly, and as a complement of the nursery studies, we have studied several aspects with the pre-planting, planting and post-planting stages: pre-planting water stress and field storage, root growth dynamics in the field, influence of planting depth, treeselters, weed competition and herbicide control. All these studies have also led us to have a better comprehension of the plant functional features and processes involved in the field performance of Mediterranean seedling species.

K.W.: container forest nursery, plant quality, mediterranean conditions, reforestation

Introducción

El Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo” se concibió inicialmente desarrollar la política de abastecimiento nacional de semillas y mejora genética de especies forestales ampliando posteriormente sus objetivos al estudio de los sistemas de producción de planta en vivero que mejorara la calidad de ésta y aumentara el éxito de las reforestaciones. La tecnología de producción de planta vigente se basaba en el cultivo en bolsa de plástico, habiendo demostrado el sector hasta esa época escaso interés por el conocimiento del funcionamiento en campo y en vivero de nuestras especies mediterráneas. Como complemento lógico de la fase de vivero, se han estudiado los diversos problemas relacionados con el manejo de la planta en las fases pre-plantación, plantación y post-plantación. Si bien la mayoría de estos estudios han sido desarrollados con medios humanos y financieros propios, han sido también bastantes los trabajos en unión de otros grupos científicos y con apoyo de fondos de programas nacionales de I+D. Los resultados de mayor relevancia práctica han sido puestos a disposición del sector viverístico- reforestador en publicaciones nacionales, mientras que los de contenido más científico se han exteriorizado con ocasión de los Congresos o en publicaciones internacionales. En esta comunicación se sintetizan algunos de las líneas de trabajo en los que hemos invertido más esfuerzo, así como los logros más relevantes

Experiencias sobre semillas

La función del laboratorio de semillas forestales consistió en un principio en proporcionar al utilizador final de las semillas información sobre la calidad fisiológica de la semilla comercializada (aspectos germinativos). Posteriormente se incorporaron nuevas líneas de trabajo sobre alternativas de almacenamiento para las semillas recalcitrantes y nuevos métodos de análisis que sean útiles para calibrar el estado germinativo de la semilla tratando de poner a punto métodos de valoración de la facultad germinativa más rápidos, eficaces y ajustados a las peculiaridades de nuestras especies forestales. También en estos años, ha sido misión del laboratorio la búsqueda de los pretratamientos más adecuados para conseguir eliminar o atenuar las latencias presentes en muchas de nuestras especies y facilitar su germinación.

Una peculiaridad que presentan las semillas recalcitrantes es su incapacidad para ser almacenada largo tiempo al estar su viabilidad ligada en gran medida a su contenido de humedad. Los ensayos nos han confirmado la sensibilidad de las bellotas de *Q. ilex* y *Q. faginea* a este respecto. Una mala conservación de los lotes de semillas de estas especies hace disminuir rápidamente su viabilidad especialmente cuanto más pequeña es la semilla. Nuestras experiencias determinaron que los lotes de bellotas grandes tardan más tiempo en perder la humedad y que ante un mismo porcentaje de pérdida de humedad, la disminución de la germinación de los lotes pequeños era mucho mayor que la de los lotes grandes. En la figura 1, se aprecian estos efectos en lotes de semilla de *q. ilex*. Estudios sobre tipos de almacenamiento dedujeron posteriormente que las semillas recalcitrantes deben almacenarse en estratificación, con un elevado contenido de humedad y en un lugar fresco pero donde la temperatura no baje de los -3°C y esté garantizada la renovación del aire.

Se comprobó así mismo que el tamaño de la bellota tiene una relación positiva con el tamaño de la planta que produce (Domínguez et al., 1995) y que las bellotas más grandes de encina producen plantas mayores (Figura 1). En ensayos de campo de experiencias posteriores se comprobó que el tamaño de la planta en encina es un factor de calidad por lo que partir de buenos lotes de bellotas al iniciar el cultivo es un primer paso para alcanzar buenos resultados en campo.

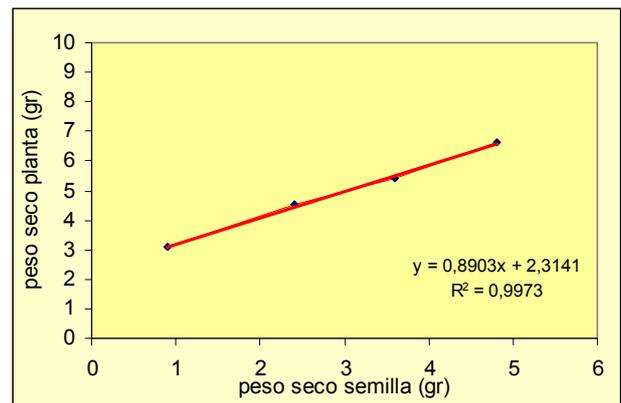
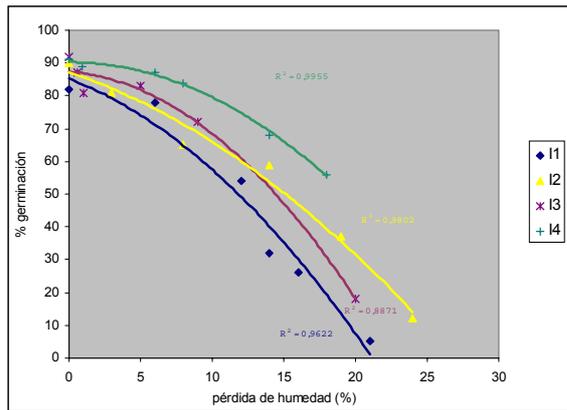


Figura 1 a) Relación entre la duración del almacenamiento y la pérdida de viabilidad en 4 diferentes lotes de bellota de *Q. ilex* de distintos tamaños. I1 lote de bellotas más pequeñas, I4 lote de bellotas más grandes b) relación entre el tamaño de la bellota y el peso seco de la planta producida.

En la línea de mejorar los procesos de análisis de los lotes comerciales, se han ensayado métodos alternativos a los preconizados por las normas ISTA (International Seed Testing Association). De este modo, se ha venido estudiando la viabilidad del **índigo-carmín** como un **ensayo colorimétrico** y el **test de la electroconductividad** (Moreno Álvarez et al., 2001). El test del índigo carmín tiene la ventaja de que su tinción de las partes muertas de la semilla es bastante más apreciable por el evaluador que la tinción de partes vivas que proporciona el tetrazolio. El test de electroconductividad, por su parte, aporta objetividad al ensayo, eliminando la subjetividad del evaluador. Ambos métodos tienen la ventaja de su rapidez pues mientras un ensayo germinativo clásico puede demandarnos, según qué especie, más de 40 días, un ensayo colorimétrico o de electroconductividad, puede proporcionarnos los resultados de potencia germinativa en 3 ó 4 días.

Los resultados obtenidos con el test de índigo-carmín en lotes *P. halepensis* y *P. pinaster* de diferentes procedencias (Tabla 1) ponen de manifiesto la bondad de este test como predictor de la potencia germinativa.

Tabla 1. Resultados de la regresión lineal entre los test colorimétricos de índigo-carmín y tetrazolio y la germinación para *Pinus pinaster* y *P. halepensis* (análisis del porcentaje de embriones vivos por procedencias).

	<i>P. pinaster</i> Serranía de Cuenca		<i>P. pinaster</i> Sierra de Oña		<i>P. halepensis</i> Maestrazgo-Serranos		<i>P. halepensis</i> Levante interior	
	Índigo	Tetrazolio	Índigo	Tetrazolio	Índigo	Tetrazolio	Índigo	Tetrazolio
R ²	0,9969	0,8784	0,7668	0,5703	0,9377	0,9733	0,9947	0,8825
P	< 0,0001	0,012	0,0329	0,0868	0,0043	0,0012	0,0001	0,0114

R²: Coeficiente de determinación; P: valor crítico de probabilidad.

Respecto al test de electroconductividad, los resultados de los ensayos, también con *P. halepensis* y *P. pinaster*, son prometedores con coeficientes de determinación de 0,9 (Figura 2).

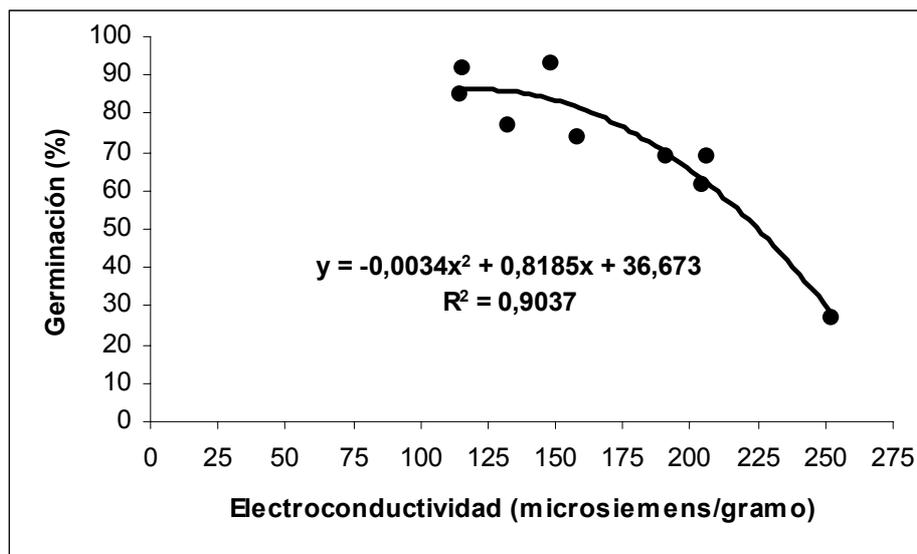


Figura 2.- Relación entre la tasa de germinación y la electroconductividad de semillas de *Pinus halepensis*.

Otras líneas de trabajo del laboratorio han buscado el mejoramiento de las germinaciones. Destacamos los ensayos de aplicación del **priming osmótico** realizados en *P. halepensis* buscando disminuir tanto el umbral como el período de germinación para minimizar en lo posible el riesgo de pérdidas en vivero por ataque de hongos del complejo Damping-off. El principio de esta técnica se basa en provocar una lenta hidratación de la semilla mediante su inmersión en una solución capaz de desarrollar un potencial osmótico negativo (fuerza de succión). Los resultados obtenidos en esta importante especie forestal no han sido esperanzadores.

En esta misma línea, se ha estudiado la bondad de una práctica bastante extendida en nuestro viverismo cual es la de someter al lote de semilla, previamente a su semillado, a una **humidificación rápida** mediante su inmersión en agua. El origen de esta práctica parte de la creencia de que esta humidificación mejora el porcentaje y rapidez de germinación. Los ensayos efectuados sobre *P. sylvestris*, no mejoraron los tratamientos testigos.

Experiencias sobre calidad de la planta

La línea de trabajo del Centro en la que mas esfuerzo se ha invertido, se ha dirigido a la búsqueda de la calidad de la planta. Muchas han sido las experiencias llevadas a cabo en vivero buscando los principales atributos que pueden definir la calidad de una planta y las metodologías de cultivo que nos permiten alcanzar ese estado de calidad. Dentro de este contexto, se han ensayado y se siguen ensayando diferentes prácticas en vivero donde se estudian la influencia de los diferentes factores de cultivo en la planta.

Entendemos que, aun dentro de la relatividad que encierra el concepto debido a la diferencia entre especies, lugares, métodos y épocas de plantación, calidad de un brinjal forestal es la capacidad que tiene de desarrollarse y alcanzar los objetivos previstos en la actuación. Todo aquello que aumente las posibilidades del brinjal para arraigar y crecer debe ser considerado como aumento de calidad. Como el proceso de arraigo de la planta en campo, es condición necesaria para que exista supervivencia y crecimiento y por tanto es necesario que tengamos muy claro como se produce el fenómeno del arraigo y cuales son los mecanismos implicados. Creemos que el proceso es el siguiente

Un arbolito recién plantado posee una masa radical que se encuentra confinada en un pequeño volumen sin contacto íntimo con el suelo. La falta de capacidad absorbente de la raíz en los primeros momentos posteriores a la plantación puede generar en ésta un estado de estrés hídrico. Una de las primeras estrategias del vegetal frente a este estado consiste en regular las pérdidas de agua a través del cierre estomático. Este proceso de cierre estomático si bien favorece la conservación de los recursos hídricos, tiene como coste la disminución de la actividad fotosintética al impedirse la difusión del CO₂ atmosférico al interior de la hoja. La disminución de la fotosíntesis puede acarrear la paralización del crecimiento aéreo y radical, que podría aliviar la situación de estrés al establecer mejor y nuevo contacto con el suelo. De como se rompa este proceso retroalimentado en el que se encuentran implicados el estrés hídrico, la fotosíntesis y el crecimiento radical, dependerá el éxito del arraigo. Una vez mejorado el potencial hídrico por la extensión radical se inicia la absorción de agua y nutrientes y se reactivan todos los procesos que dotaran a la planta de vitalidad suficiente para soportar a posteriori los rigores provocados por las altas temperaturas del verano, las bajas del invierno u otros tipos de estrés posteriores. Características de la planta en vivero como el contenido de carbohidratos de reserva, su estado nutricional e hídrico, la superficie foliar, la relación raíz/tallo, la biomasa total etc., han sido correlacionadas en numerosos estudios con la supervivencia en plantación;

Un primer ensayo sobre calidad fue la evaluación de la sensibilidad de algunas de las especies al **fotoperíodo** y la posibilidad de la utilización de técnicas de ruptura del mismo mediante el uso por la noche, en periodos discontinuos, de lámparas de incandescencia de baja intensidad. Los ensayos se efectuaron con *P. nigra* y *P. sylvestris*. Los resultados mostraron que esta herramienta es muy útil para ampliar los periodos vegetativos de algunas de nuestras especies de media-alta montaña con el inconveniente mayor de que exige de una fuerte infraestructura. La planta así cultivada, un vez puesta en campo, tarda algún tiempo en recuperar su proceso normal de desarrollo. Del mismo modo, también se concluyó que la práctica del **enriquecimiento de la atmósfera de cultivo en CO₂** si bien incrementaba el crecimiento de los brinzales, exigía de unas instalaciones incompatibles con el precio que en el mercado cotiza la planta forestal.

La influencia del contenedor de cultivo en la calidad final de la planta ha sido el objeto de numerosos ensayos (Domínguez Lerena et al., 1997; Domínguez Lerena, 1999; Domínguez Lerena et al., 2000). De las numerosas variables de cultivo que un contenedor condiciona: densidad, profundidad, volumen, capacidad de repicado, conicidad del sistema, color, muchas han sido estudiadas en diferentes épocas y con diferentes especies y desde 1992 hasta la fecha se han ensayado más de 25 modelos diferentes de contenedores. Los resultados demuestran, de una forma general, que el volumen y la profundidad del contenedor son las variables que más alta correlación muestran con el tamaño de la planta en vivero y la supervivencia en campo. La densidad es otra de las variables con mayor importancia al influir fuertemente en el diámetro final y en el desarrollo que alcanza la parte aérea (Tabla 2).

Las especies con las que mas se ha trabajado son: *Pinus halepensis*, *P. pinea*, *P. pinaster* y *Quercus ilex*. Las conclusiones más relevantes son que las especies no responden de la misma manera a los mismos envases. Para las especies de raíz pivotante como la encina, el desarrollo en campo está sobre todo ligado a la profundidad del envase. Para las especies de pinos mediterráneos (*P.halepensis* y *P.pinea*) la característica más importante es el volumen del contenedor pues mayores volumen se traducen en mejores resultados en campo (Figura 3).

Tabla 2. Relaciones entre las características del contenedor y las plantas producidas en vivero y su desarrollo en campo de *Q. ilex* y *P. pinea*. PSA_v: peso seco de la parte aérea en vivero; PSR_v: peso seco de las raíces en vivero. Envases utilizados en el estudio de *Q. ilex*: CIC, FP300, FP150 y SLF y en *P. pinea*: FP300, CIC, FP150, PP615, PP615R, SLF, WM y RT350

RELACIONES SIGNIFICATIVAS	SENTIDO DE LA RELACION	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (r ²)
<i>Quercus ilex</i>		
DENSIDAD CULTIVO - PSA/PSR _v	-	0.88
BOCA CONTENEDOR - PSA/PSR _v	+	0.93
PROFUNDIDAD CONTENEDOR – SUPERVIVENCIA (3º año en campo)	+	0.90
PSA _v - SUPERVIVENCIA	+	0.85
ALTURA _v – SUPERVIVENCIA	+	0.91
PSA/PSR _v - SUPERVIVENCIA	+	0.85
<i>Pinus pinea</i>		
VOLUMEN - SUPERVIVENCIA (3º año en campo)	+	0.70
VOLUMEN - INCREMENTO DE ALTURA	+	0.72

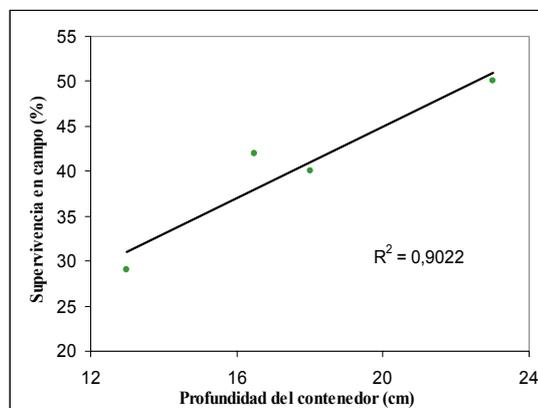
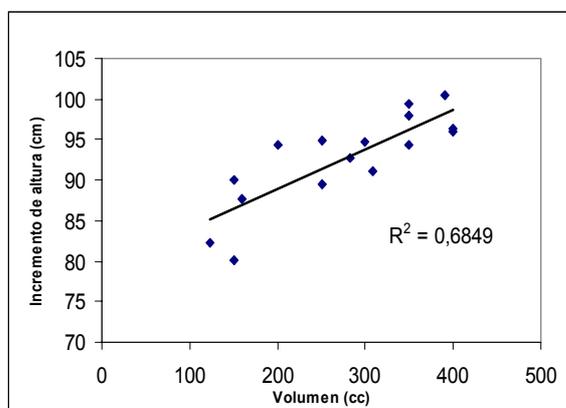


Figura 3. Relación entre el volumen contenedor y el incremento de altura de *Pinus pinea* al tercer año en campo. b) Relación entre la profundidad del contenedor y la supervivencia de *Quercus ilex* al tercer año en campo

Respecto a la fertilización en vivero, nuestras experiencias han puesto en evidencia que ésta es una de las herramientas que más influencia tiene sobre la calidad de las plantas y en su capacidad de arraigo y crecimiento en campo. Esta idea es trascendental, especialmente dentro del panorama viverístico español en el que la fertilización no recibe la atención debida. En el C.N.M.F “El Serranillo” se han realizado experimentos con diversas especies: *Pinus sylvestris*, *P. pinaster*, *P. halepensis*, *P. pinea* y *Quercus ilex* (Ocaña Bueno et al., 1997; Domínguez Lerena et al., 2000; Villar-Salvador et al., 2000; Villar-Salvador et al., 2001).

Las principales conclusiones prácticas obtenidas son:

- 1) La fertilización no perjudica en ningún caso el desarrollo de las plantaciones y en casi todas las especies estudiadas maximiza su crecimiento en campo mejorando la supervivencia en comparación con las plantas poco o nada fertilizadas (Figura 4).
- 2) Aunque todas las especies deben de ser fertilizadas, las de semilla pequeña son las que presentan mayores requerimientos nutricionales, siendo imprescindible fertilizar sus cultivos para alcanzar cotas de calidad aceptables.
- 3) La fertilización bien manejada produce incrementos tanto en la concentración como en los contenidos totales de nutrientes.
- 4) En *P. pinea* y *Q. Ilex* se ha demostrado que con contenedores de 300cm³, las plantas más grandes y mejor nutridas producidas en vivero, son las que mejor desarrollo presentan en campo, lo que ponen en cuestión el extendido pensamiento en el sector forestal que el empleo de plantas grandes en repoblaciones mediterráneas incrementa su vulnerabilidad frente a la sequía.
- 5) La relación de equilibrio entre los macronutrientes es también muy importante, pues se ha comprobado que existen respuestas diferentes de las plantas, en campo y en vivero, e interacciones entre elementos en función de los distintos equilibrios aportados.

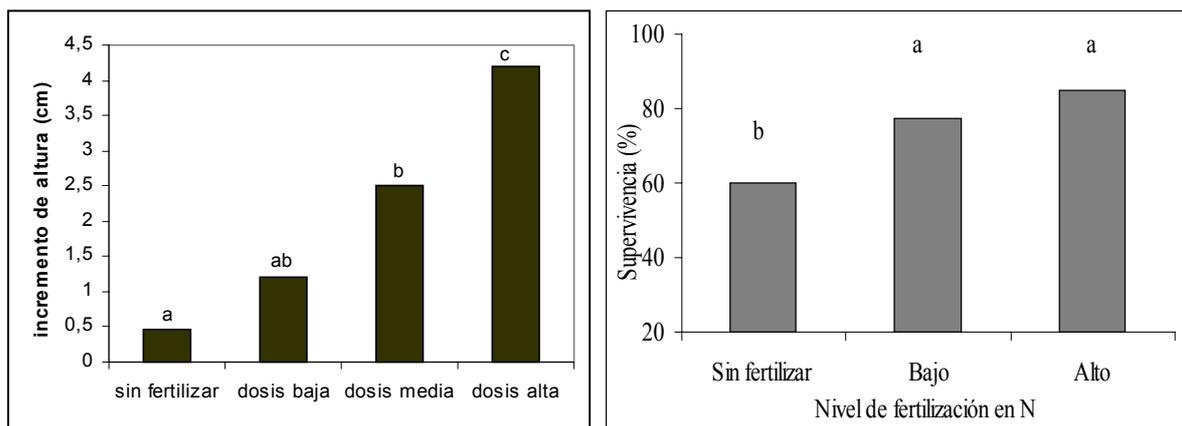


Figura 4. a) Incremento de altura de *Pinus sylvestris* al año de la plantación en función de distintos niveles de fertilización aportados. b) Supervivencia después de dos años en campo de brinzales de *Quercus ilex* cultivados con diferentes niveles de fertilización nitrogenada

Se ha comprobado que el buen funcionamiento de la planta está ligado a una disponibilidad óptima de nutrientes en sus tejidos. De todos los macroelementos minerales ensayados, el nitrógeno y el fósforo son los más relevantes para el desarrollo de las plantas en general. El que una planta destinada a una repoblación presente tasas de fotosíntesis elevadas, función del contenido de nitrógeno, tiene unas implicaciones funcionales muy importantes al propiciar crecimientos rápidos de los tallos como de las raíces. En relación al fósforo, hemos encontrado en *P. pinea* que el incremento de su concentración en las raíces beneficia la capacidad de emisión radical en condiciones controladas y que en campo su contenido total se relaciona con el crecimiento.

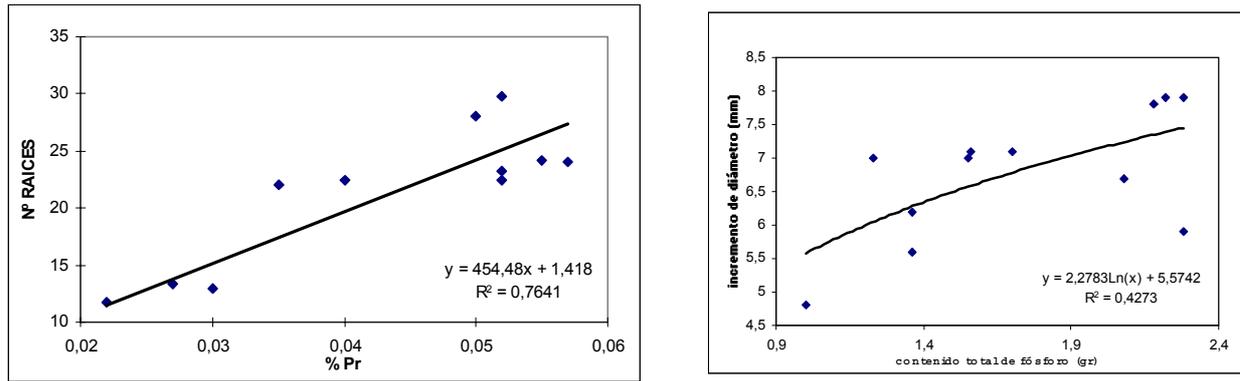


Figura 5. En *P. pinea*, a) Relación entre el número de raíces nuevas emitidas y la concentración de fósforo en las raíces de plantas . b) Relación entre contenido total de fósforo y el crecimiento del diámetro al año de plantación

El rápido desarrollo de un extenso sistema radical puede proporcionar a la planta una ventaja importante al llegar los momentos más secos del año, puesto que será capaz de prospectar volúmenes de suelo mayores y horizontes más profundos, garantizándose así el suministro de agua y por tanto manteniendo su fotosíntesis positiva durante dichos periodos críticos.

Aunque aún no hemos llegado a conclusiones definitivas, hipotetizamos que la fertilización bien manejada puede ser también un adecuado instrumento para lograr aumentos de calidad de la planta a través del **incremento en los contenidos de carbohidratos de reserva**. Para las coníferas perennifolias en las que de modo habitual el crecimiento de las nuevas raíces está ligado mas a los azúcares producidos que a los almacenados, la producción de nuevas raíces y el mantenimiento de la planta durante los posibles periodos de crisis post-transplante dependerá en gran medida de los azúcares almacenados. En las especies deciduas, la presencia y cantidad de estos carbohidratos tiene aún mayor importancia que en los perennifolios ya que la foliación y el primer movimiento radical dependen exclusivamente de los mismos.

En los últimos años, se esta ensayando en el Centro la aplicación a nuestras especies de la metodología de **fertilización exponencial** que como su propio nombre indica preconiza aportes cada vez mayores de nutrientes en concordancia con el peso de la planta en cada momento con el objetivo de lograr en las plantas al final del cultivo tanto altas tasas de nutrientes como altos contenidos de reservas evitando los efectos de dilución que normalmente se producen. En este Congreso esta programada la presentación de resultados de estos ensayos en una comunicación oral por lo que para mayor detalle me remito a la misma. (Carrasco, I. et al., 2001)

Una de las herramientas de cultivo que mas se ha estudiado en el Centro en los últimos años ha sido la aplicación de las **técnicas de endurecimiento programado** mediante estrés hídrico como medio para potenciar determinados mecanismos de la biología de las plantas relacionados con la resistencia a situaciones o factores de estrés: estrés hídrico, térmico y mecánico. Por el momento se ha trabajado en *P. halepensis*, *Q. ilex*, y *P. pinea* (Villar-Salvador et al., 1998; Villar-Salvador et al., 1999; Villar-Salvador et al., 2000;) en las que se han estudiado sus respuestas al tratamiento tanto en campo como en vivero. Por el momento, se ha constatado que esta práctica puede afectar a parámetros fisiológicos, morfológicos y de respuesta tan importantes como:

A.- El crecimiento y morfología de la planta: Un efecto inmediato del endurecimiento por estrés hídrico es la ralentización o parada del crecimiento de la planta (Figura 6).

B.- La concentración de nutrientes y carbohidratos de reserva. Experiencias de endurecimiento por estrés hídrico realizadas con *Pinus halepensis* y *P. pinea* demuestran que el endurecimiento por sequía aplicado en los últimos estadios del cultivo no reduce la concentración de nutrientes minerales. En *P. halepensis* también se ha constatado un incremento general de la concentración de azúcares con el endurecimiento un fenómeno que también ha sido observado en otras especies (Figura 7).

C.- La resistencia a la helada: En *P. pinea* se ha observado que el daño experimentado por las plantas al ser sometido a una helada de -8°C durante tres horas fue menor en las plantas endurecidas que en las control (Figura 8).

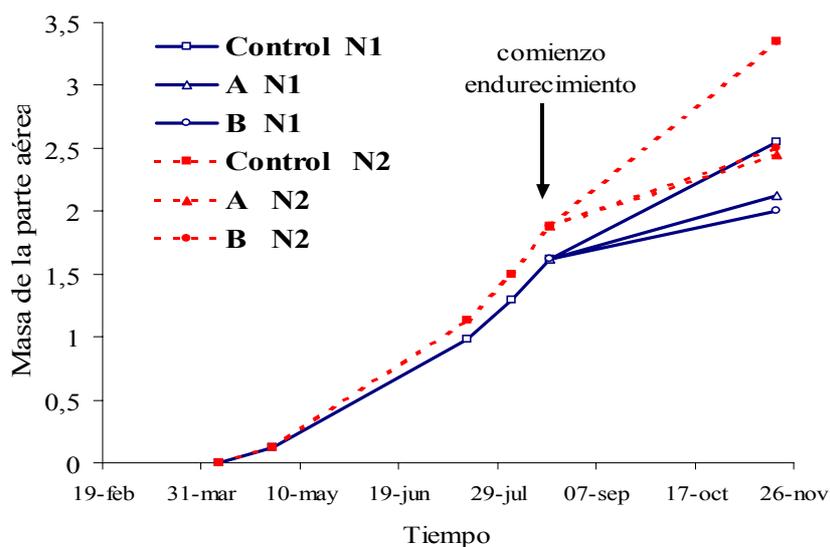


Figura 6 Evolución del crecimiento de la parte aérea en plantas de *Pinus pinea* altamente fertilizadas (N2= nitrógeno por planta = 100mg; línea discontinua y símbolos cerrados) y poco fertilizadas (N1= nitrógeno por planta =6mg; línea continua y símbolos abiertos) y sometidas a distintos niveles de endurecimiento: A=bajo; B=moderado . La flecha indica el momento de aplicación del endurecimiento por estrés hídrico.

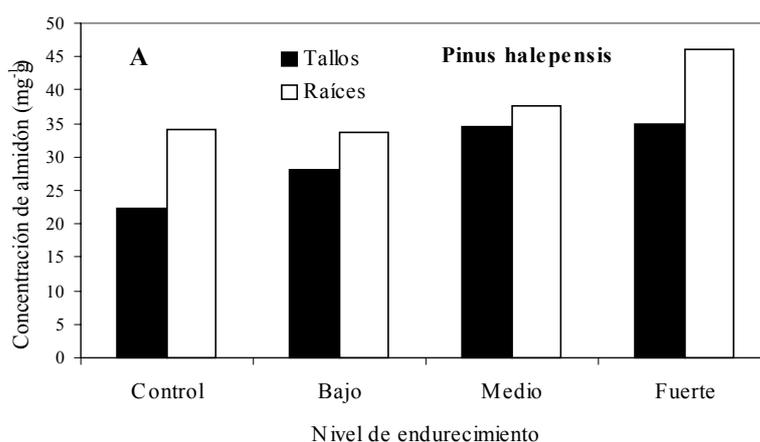


Figura 7. Concentración de almidón en tallos y raíces en brinzales de *Pinus halepensis* sometidos a diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico.

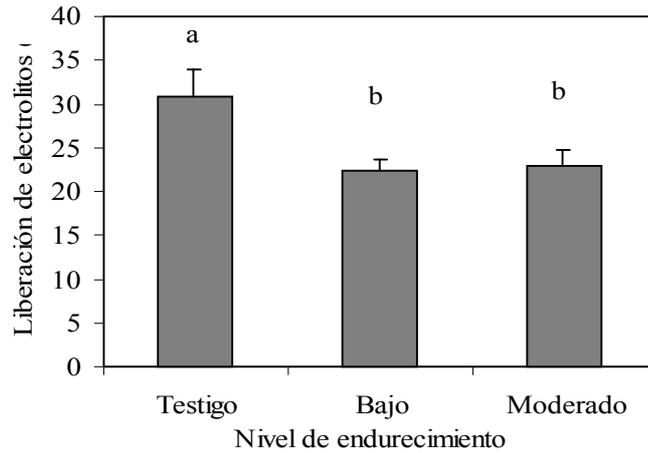


Figura 8. Porcentaje de liberación de electrolitos celulares en diferentes tratamientos de endurecimiento de brinzales de *P. pinea* al sometidas a una helada de -8°C durante 3 horas.

D.- Las relaciones hídricas de las plantas. Es importante resaltar que estas modificaciones no tienen porqué afectar por igual a todas las especies. El tipo de cambio inducido y su magnitud dependerá de la estrategia funcional de cada especie (Figura 9). Algunas de los parámetros o procesos modificables por el preacondicionamiento por estrés hídrico son:

Transpiración residual: en todas las especies estudiadas

Conductancia estomática: en los pinos

Tolerancia a la desecación (Ajustes osmóticos y menor daño causado por deshidratación): en *Q. ilex*

E.- Capacidad de regeneración radical. En *Pinus halepensis*, *P. Pinea* y *Q.ilex* se ha constatado que niveles bajos o moderados de endurecimiento no ejercen ninguna influencia sobre la capacidad de formación de nuevas raíces pero niveles fuertes si la inhiben.

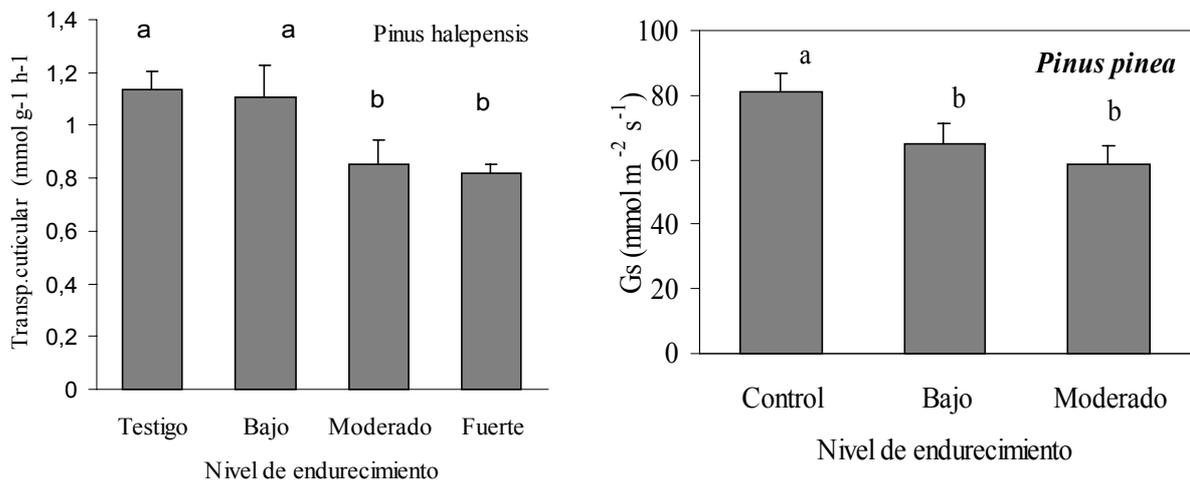


Figura 9. Transpiración cuticular de plantas de *Pinus halepensis* y conductancia estomática (Gs) de brinzales de *P. pinea* sometidos a diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico.

En definitiva, los resultados apuntan a que el endurecimiento por estrés hídrico moderado en las últimas fases del cultivo induce variaciones en los parámetros que influyen en la resistencia a la sequía de dichas especies, a pesar de lo cual, no hemos encontrado diferencias de desarrollo en campo entre las plantas preacondicionadas y las control en ninguna de las especies. Esto unido a la dificultad para manejar bien este tratamiento y al hecho de que

determinadas especies se autoendurecen cuando son cultivadas en viveros del interior peninsular, nos ha inducido a no aconsejar de una manera general la utilización de esta práctica a no ser para el control morfológico al final del cultivo.

La micorrización de las plantas con hongos simbioses ha constituido otra línea de trabajo en la búsqueda de la calidad, partiendo de la hipótesis de que los resultados de campo podrían mejorarse si la planta de vivero incluyera los hongos simbioses de campo. Los trabajos se han desarrollado sobre *Q. ilex* y *P. halepensis*, siendo con esta última especie con la que mejores resultados se han conseguido (Honrubia et al., 1997; Carrillo Sánchez, 2000). Durante los cuatro años que hemos dedicado a este aspecto de la biotecnología, conjuntamente con la Facultad de Biología de la Universidad de Murcia, hemos conseguido crear y mantener un banco de inóculos, producir éstos a nivel semi-industrial y ensayar la compatibilidad del inóculo con las prácticas más habituales de cultivo en vivero (sustratos, fertilización, riego, fungicidas, etc).

Como resumen de los resultados alcanzados en lo que respecta al estudio de los factores que afectan a la micorrización en vivero, citaremos que una cepa local de *Pisolithus tinctorius* se ha evidenciado como una excelente candidata para programas de inoculación en vivero con *Pinus halepensis* y que la micorrización con *Lactarius deliciosus*, es posible y abre una línea futura de trabajo por su potencial como fuente generadora de rentas secundarias. La eficacia del tipo de inóculo varía según la especie fúngica, así para las cepas de *Pisolithus tinctorius*, el inóculo más eficaz es el producido en turba y vermiculita. En cambio, para *Lactarius deliciosus* y *Cenococcum geophilum* fueron las suspensiones miceliarias. Las cepas locales de *Suillus collinitus* formaron micorrizas con todos los tipos de inóculos ensayados. Las dosis de aplicación de 25 ml/planta, en el caso del inóculo en turba y vermiculita, y de 10 ml/planta para las suspensiones miceliarias, se consideran óptimas para la obtención de planta micorrizada. Un incremento de la fertilización nitrogenada se traduce por regla general en una disminución de la micorrización. Para *P. halepensis*, se ha constatado que un aporte de nitrógeno de 35 mg/planta es suficiente para obtener planta micorrizada sin detrimento de los parámetros morfológicos. El efecto del fósforo, en las dosis utilizadas, sobre la micorrización es apenas apreciable y el régimen de riego reducido (25% de porosidad de aireación) favorece la micorrización sin mermas en el crecimiento de las plantas. (Tabla 3)

Tabla 3.- Porcentaje de planta micorrizada y raíces cortas micorrizadas de *Pinus halepensis*, inoculado con dos cepas de *Pisolithus tinctorius*, con tres dosis diferentes de fertilización (F1: 35-27-61; F2: 60-27-61; F3: 35-54-61) y dos regímenes de riego (R1: 12-14 % de porosidad de aireación; R2: 25 % de porosidad de aireación) .

FERT.	RIEGO	<i>P.t</i> (3SR)		<i>P.t</i> (30AM)	
		% planta micorrizada	raíces cortas micorrizadas	% planta micorrizada	raíces cortas micorrizadas
F1	R1	50 b	3,2 b	40,8 a	2,5 a
	R2	75 a	3,9 a	34,6 a	2,5 a
F2	R1	32,5 b	2,5 b	4,16 a	2,5 b
	R2	52,5 a	3,5 a	6,66 a	3,4 a
F3	R1	50 b	2,8 b	19,16 b	2,5 a
	R2	65 a	3,4 a	42,5 a	2,5 a

No se pueden establecer pautas generales de estimulación del crecimiento debido a la micorrización en la fase de vivero pues mientras *Lactarius deliciosus* no repercute en mejoras morfométricas en las plantas micorrizadas, las cepas de *Pisolithus tinctorius* ensayadas tuvieron un efecto positivo sobre el crecimiento y mejora nutricional de las plantas. Se ha detectado por ultimo que la micorrización con *Pisolithus tinctorius* incrementa la asimilación de potasio, lo que puede producir una importante ventaja para su posterior transplante a campo.

Lamentablemente, el objetivo de testar en campo la bondad de la planta micorrizada no llegó a alcanzarse debido a las dificultades y problemas que se encontraron en la materialización y seguimiento de las plantaciones experimentales.

Experiencias de manejo post-vivero

La calidad de las plantas forestales puede deteriorarse rápidamente. Una planta puede tener calidad suficiente a la salida del vivero y un mal transporte, manejo en general y aviveramiento en particular puede destruir en pocas horas o días la calidad conseguida en un buen cultivo. Por otro lado, el momento de la plantación es una de las decisiones más importantes que se debe de tomar a la hora de realizar una plantación. Para estudiar estos dos aspectos tan importantes en el éxito de una reforestación se desarrollaron proyecto en *Quercus ilex* y *Pinus halepensis*. Respecto al estudio del **momento óptimo de plantación**, hipotetizamos que éste debería ser aquel que maximice la formación de raíces antes de la llegada de la sequía estival, por lo que el estudio se centró en la evaluación de los ritmos de crecimiento radical en campo en plantaciones realizadas en diferentes momentos. Los resultados (Gozalo Cano et al., 1999) señalan que en plantaciones realizadas en zonas con inviernos fríos, las plantas, especialmente las de encina, detienen o ralentizan extraordinariamente su crecimiento en los meses de diciembre y enero y es máximo en marzo y abril. En el caso de la encina, las plantaciones más tempranas de octubre y diciembre no producen más raíces que las hechas a mitad en febrero (Figura 10). El estudio también ha revelado que el crecimiento de la parte aérea, deprime aunque no llega a anular al radical, especialmente en las plantaciones más tempranas.

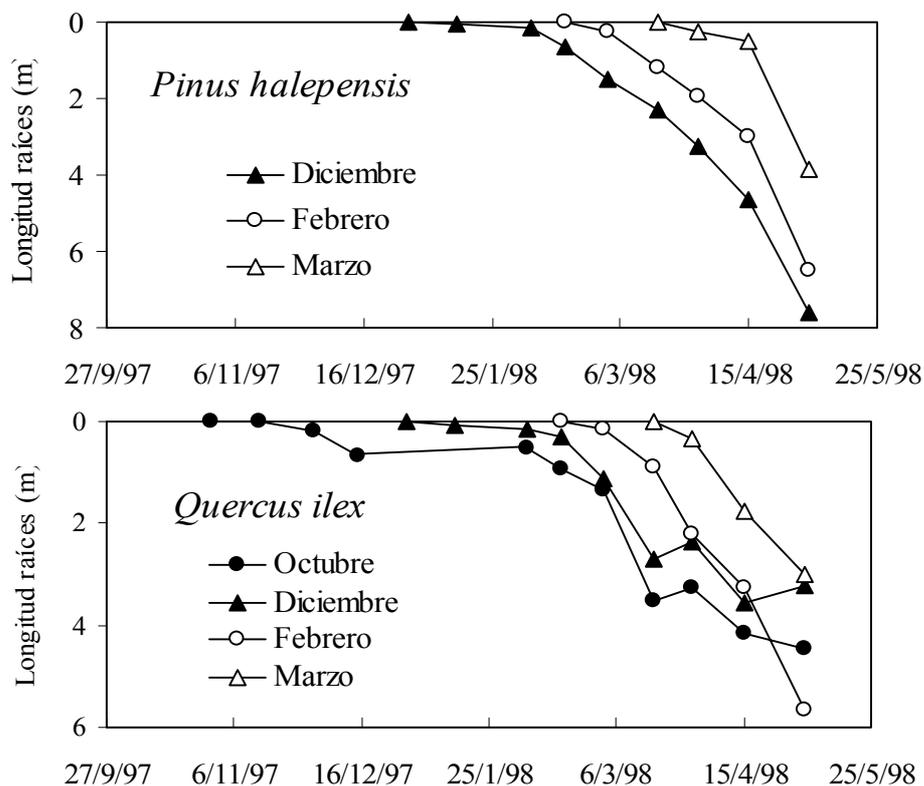


Figura 10. Evolución del crecimiento radical en longitud de plantas de *P. halepensis* y *Q. ilex* plantados en diferentes momentos del periodo de plantación.

En el caso de *Pinus halepensis*, se aprecia una tendencia a que las plantaciones de diciembre producen más raíces que las restantes y al igual que en el caso de *Q. ilex*, se aprecia que el crecimiento radical se produce en concordancia con la temperatura del suelo comenzando aproximadamente cuando éste alcanza los 10 ° y siendo máxima la velocidad de crecimiento en el entorno de los 20°C.

En relación al **problema del aviveramiento** en general, el hecho de que las raíces estén englobadas en un cepellón disminuye el riesgo de rápida desecación de la planta, ya que ésta cuenta con una reserva de agua albergada en el cepellón. Pero si el aviveramiento es prolongado puede llegarse a un grado de desecación tal, que provoque tanto el deterioro de las características funcionales de la planta como la aparición de dificultad de rehidratación de la turba del cepellón.

El estudio realizado (Vallas-Cuesta et al., 1999) señala que el prolongado aviveramiento de los brinzales de *Pinus halepensis* sin riego, produce una reducción significativa del contenido hídrico de las plantas y de los cepellones, así como de la capacidad de resaturación de estos últimos. Si la desecación de las plantas supera un umbral de potencial hídrico al alba del entorno de -1 MPa, se produce una pérdida del vigor de las mismas, que se refleja en una pérdida de la capacidad de producir nuevas raíces; habiéndose detectado que la práctica de rehidratar las plantas que han experimentado una apreciable desecación durante el aviveramiento antes de la plantación, no mejora su vigor a corto plazo ni permite una completa rehumectación de los cepellones (Figura 11). Si los brinzales son transplantados con valores de potencial hídrico al alba inferiores a aproximadamente -2 MPa, los crecimientos en campo disminuyen y el porcentaje de marras se eleva rápidamente(Tabla 4).

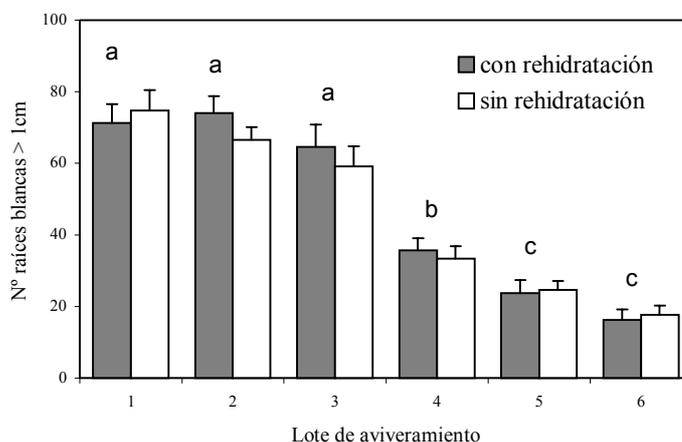


Figura 11.- Número de raíces medias producidas por cada lote de aviveramiento en brinzales no rehidratados y rehidratados antes del test de capacidad de regeneración de nuevas raíces. Las horquillas representan el error estándar. Los lotes con las mismas letras indican que no difieren estadísticamente entre sí ($P \geq 0.05$).

Tabla 4 Supervivencia y crecimiento medio (± 1 error estándar) en campo de los lotes de aviveramiento de *Pinus halepensis* medido a principios de septiembre. Las medias con las mismas letras indican que no difieren estadísticamente entre sí ($P < 0.05$).

Potencial hídrico al alba al plantar (MPa)	Supervivencia (%)	Incremento en altura (cm)	Incremento en diámetro (mm)
-0,46	100 \pm 0,0 a	19,3 \pm 1,0 abc	3,89 \pm 0,1 ab
-0,64	97,8 \pm 1,1 ab	20,9 \pm 1,2 ab	3,84 \pm 0,1 ab
-0,79	97,8 \pm 2,2 ab	22,7 \pm 0,7 a	4,07 \pm 0,2 a
-1,63	96,7 \pm 3,3 ab	18,3 \pm 1,3 abc	3,13 \pm 0,4 ab
-2,51	86,7 \pm 5,1 bc	17,4 \pm 0,8 bc	3,20 \pm 0,4 ab
< -3,79	76,7 \pm 6,7 c	15,4 \pm 0,8 c	2,84 \pm 0,1 b

Un factor determinante en estas consecuencias relacionadas con el aviveramiento es el volumen del contenedor. El seguimiento de la evolución del estado hídrico de las plantas crecidas en distintos tipos de contenedor demuestra que las plantas crecidas en los contenedores de menor volumen tuvieron los potenciales hídricos más bajos al final del proceso de aviveramiento y ello a pesar de presentar los tamaños más pequeños.

Bajo las condiciones experimentales de este trabajo, la duración crítica del aviveramiento sin riego a partir del cual se produjo una merma significativa de la calidad funcional de las plantas, fue de 11 a 20 días. Desde un punto de vista práctico, sería ideal establecer unos límites temporales para controlar el límite de aviveramiento, pero la enorme cantidad de factores que pueden influir en la velocidad de desecación nos impide establecer estos límites. El mejor criterio para decidir la duración segura del aviveramiento sería conocer directamente el estado hídrico de las plantas, midiendo su potencial hídrico; sin embargo, tal medición presenta una serie de inconvenientes logísticos y precisa que el personal implicado esté adiestrado especialmente. Por ello, recomendamos otros métodos objetivos que resultan más sencillos pero suficientemente adecuados, como son la determinación del contenido de agua en los cepellones controlando la pérdida de peso de las bandejas con respecto a su peso en saturación. Para ello solamente se necesita una pequeña balanza casera con una precisión de 250-500 g. Como guía, en la tabla siguiente se proporciona los límites aproximados de porcentaje de pérdida de peso con respecto a su peso en saturación de diversos cultivos de *Pinus halepensis* realizados en el Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo" con distintos tipos de bandejas forestales, a partir de los cuales estimamos se puede incrementar el riesgo de que las plantas sufran pérdidas de desarrollo en la plantación. Igualmente se proporcionan los pesos que tienen las bandejas de dichos cultivos cuando están en saturación. El sustrato empleado fue turba rubia.

	Forest Pot 200	Forest Pot 300	Forest Pot 400	Arnabat 48A (250ml)	Arnabat 48C (300ml)	Plasnor 200	Plasnor 300
Peso en saturación (kg.)	> 7,8	9,5-11,5	10-10,5	8	10,5-11,5	>6,5	>9,3
Pérdida de peso límite (%)	40-44	40-45	60-70	45-50	40-45	58-65	70-76

Experiencias sobre metodos de implantacion y cuidados post-transplante

El empleo de los tubos protectores con efecto invernadero también ha sido objeto de estudio del Centro comparando la siembra directa de bellotas como alternativa a la plantación así como el efecto del trabajo de suelo. Respecto a las siembras, hemos comprobado que para poder conseguir la germinación de las bellotas en campo y un adecuado desarrollo de la planta posteriormente, se necesita proteger las bellotas de los predadores (con tubos protectores de pequeño tamaño) y además realizar una buena labor del terreno para un correcto desarrollo de la raíz pivotante de la encina no habiéndose observado diferencias de supervivencia entre siembras y plantaciones, tanto en *Quercus ilex* como en *Q. faginea* (Nicolás Peragón et al., 1997; Domínguez et al., 1999; Oñoro del Cotillo et al., 2001).

En los tubos protectores hemos comprobado que el microclima que se genera en ellos durante el verano en ambientes mediterráneos puede ser muy extremo alcanzándose temperaturas de más de 50°C y valores de humedad relativa inferiores al 20%. La respuesta de las plantas a los tubos depende de las especies. *Pinus halepensis* es claramente perjudicado por el empleo de tubos protectores. En cambio, *Quercus ilex* si se beneficia de su uso presentando una significativa menor mortandad que plantas crecidas sin tubos. En esta especie, la supervivencia es aun mucho mayor si se utilizan tubos con agujeros ventilados que alivian las condiciones extremas de temperaturas y humedad. En el caso de *Quercus faginea* no hemos encontrado diferencias significativas de supervivencia ni de crecimiento ligadas al empleo de los tubos. El Centro, a la vista de los resultados anteriores y ante la evidencia de que el desarrollo de las plantas en los tubos produce distorsiones en el patrón de crecimiento, modificando los ratios morfológicos y de masa entre las partes aéreas y radicales mantiene por el momento una actitud crítica frente al uso indiscriminado y masivo de estos instrumentos en repoblaciones. Este es un tema que requiere de mas experimentación y sobre todo dilucidar el efecto del factor tiempo en las plantas así instaladas.

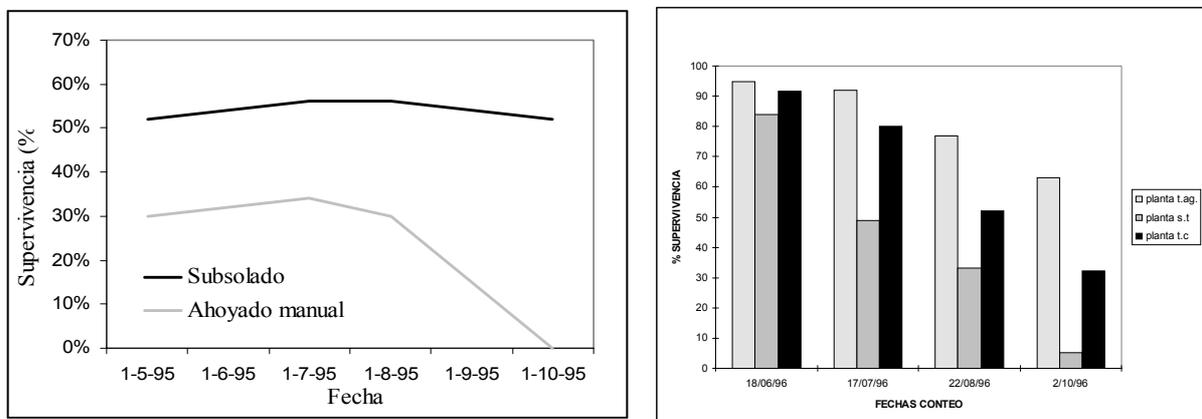


Figura 12 a) Evolución de la supervivencia a lo largo del tiempo de las plantas de *Quercus ilex* en subsolado y en ahoyado. b) Supervivencia a lo largo del tiempo de las plantaciones de *Quercus ilex* con distintos tipos de tubos. T.ag.: tubo con agujeros; s.t.: sin tubo; t.c: tubo continuo

Por otro lado, en climas áridos es una práctica bastante habitual efectuar las repoblaciones enterrando una parte significativa de la parte aérea de la planta en la creencia de que esta praxis produce resultados positivos al acercar las raíces a zonas del suelo con mayor humedad y reducir la proporción entre la parte aérea y radical. El estudio de esta práctica ha sido abordado recientemente en el Centro pues a nuestro juicio, el enterramiento de la parte aérea produciría mas inconvenientes que ventajas al disminuir la superficie productora de carbohidratos y mantener intacta la consumidora, lo que redundaría en un deterioro del

balance de carbono consecuencia del cual la planta produciría menos raíces y, por tanto, empeoraría las condiciones de establecimiento.

Esta casuística ligada a la profundidad de la plantación ha sido estudiada en brinzales de *P. halepensis* en los que se ha evaluado la supervivencia, crecimiento, contenido en carbohidratos de reserva y desarrollo radical después del primer verano en campo (Domínguez Lerena et al., 2001). Los resultados de un test de regeneración radical nos demuestran que las plantas no enterradas son capaces de generar mas longitud y masa radical que las enterradas. Las mediciones morfológicas y de supervivencia en plantación al final del primer verano son concluyentes y comprobamos que los brinzales de *Pinus halepensis* plantados a nivel del cuello de la raíz consiguen mayores crecimientos en altura, diámetro y masas aérea y radical y presentan igual o mejor supervivencia (aunque no significativa en las condiciones de nuestro ensayo) que aquellas que han sido plantadas a mayor profundidad, con una porción de su parte aérea enterrada. El análisis de carbohidratos de reserva nos muestra que las plantas más enterradas presentan menos concentración de almidón, tanto en sus partes aéreas como en las radicales.

Como conclusión, podemos decir que el enterramiento de la planta de *Pinus halepensis*, no se ha demostrado que sea una práctica de plantación beneficiosa, sino más bien una práctica que, aunque no se haya demostrado negativa para la supervivencia, disminuye significativamente el crecimiento de la planta y sus reservas de carbohidratos. El seguimiento de este ensayo en el futuro nos aportará mayor información sobre los aspectos del estudio. Una comunicación sobre este trabajo, se presenta en este Congreso por lo que para mayor detalle, me remito a la misma. (Domínguez Lerena, S. et al., 2001)

El estudio de la influencia de la competencia herbácea en la supervivencia y crecimiento de las reforestaciones fue uno de los primeros trabajos que emprendió el Centro a principios de los años 90 empujado por la llegada del Plan de Reforestación de tierras agrarias (Peñuelas et al., 1996; Domínguez et al., 1999). Todos los ensayos efectuados en el Centro han puesto en evidencia que la existencia de malas hierbas puede limitar seriamente la implantación de la repoblaciones en los terrenos agrícolas y que los tratamientos en los que se ha impedido el desarrollo de la cubierta herbácea, han incrementado considerablemente la supervivencia y el crecimiento respecto a los tratamientos testigo (Figura 13).

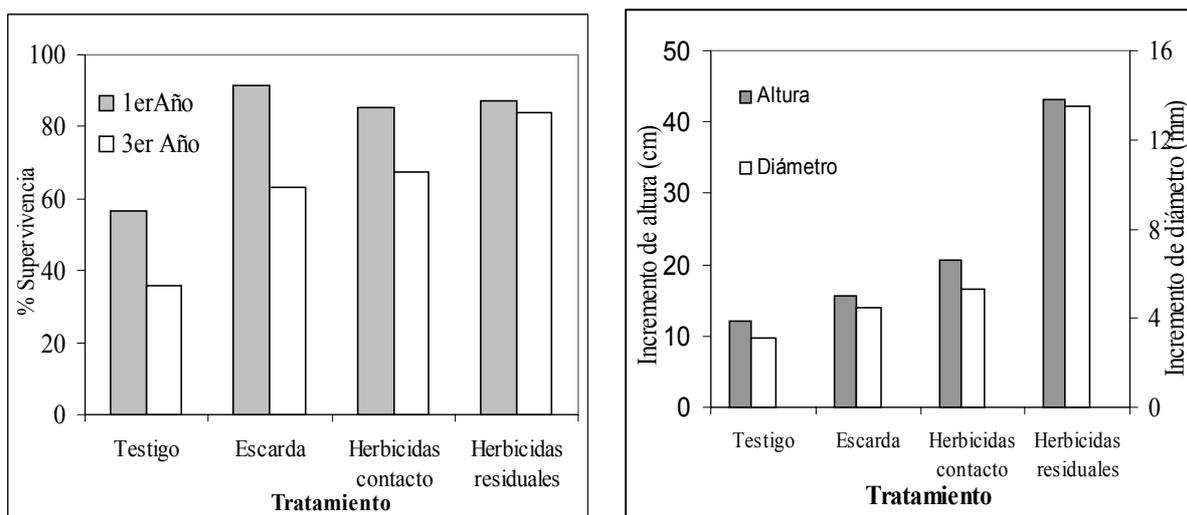


Figura 13. Supervivencia y crecimiento de *Pinus halepensis* en un terreno agrícola abandonado, bajo diferentes tratamientos contra la competencia herbácea.

Se ha comprobado que además de los problemas de competencia pura por las reservas hídricas del suelo, la cubierta herbácea seca produce sobre los plántones un microclima

adverso que se manifiesta en una mayor temperatura y menor humedad relativa. También se piensa que los beneficios y mejoras que se manifiestan con la eliminación de las malas hierbas pueden ser la consecuencia de la supresión de fenómenos alelopáticos.

Experiencias en curso y líneas futuras

Como ensayos en curso y líneas futuras, debemos de comentar que si bien hasta ahora los estudios que hemos realizado se han centrado principalmente en las especies del género *Pinus* y *Quercus*, el Centro, haciéndose eco de la sensibilidad del sector, ha empezado en los últimos años a estudiar otras especies arbustivas y arbóreas que cada día son más demandadas, no sólo para reforestación, sino también para proyectos de restauración de canteras, minas a cielo abierto, vertederos, taludes de obras viales, etc. Desarrollar pautas de cultivo a gran escala para dichas especies y establecer las condiciones necesarias para su instalación en campo va a constituir uno de los objetivos del Centro en los próximos años. Hasta el momento se han realizado ensayos de cultivo de vivero y respuesta en campo con *Atriplex halimus*, *Quercus coccifera*, *Quercus faginea*, *Pistacia lentiscus*, *Pistacia terebinthus*, *Retama sphaerocarpa* y *Arbutus unedo*, *Fraxinus angustifolia* y *Rhamnus oleoides*. Los resultados encontrados nos ayudarán en el establecimiento de una base de datos sobre parámetros de vivero de otras especies, conocer mejor las pautas de cultivo en vivero y de desarrollo en campo y seleccionar las especies más adecuadas para cada sitio en concreto.

En el caso concreto de la retama, se están ensayando diferencias de desarrollo bajo regímenes de fertilización contrastados y se está evaluando si la nodulación en vivero mejora el desarrollo de las plantaciones de dicho taxón. Los resultados hasta ahora han sido satisfactorios pues las plantas noduladas a la salida del vivero presentan ratios y tamaños así como características fisiológicas aceptables con menor aporte de fertilizante (Valladares et al., 2001). El estudio nos sugiere que la inoculación puede ser una buena herramienta para producir plantas de calidad con bajos regímenes de fertilización nitrogenada.

Del mismo modo, el Centro seguirá en el futuro trabajando en la micorrización en vivero. Pensamos centrar nuestros esfuerzos en los próximos años en micorrizar con éxito *P. halepensis* con los simbiontes *Lactarius deliciosus*, *Boletus edulis* y *Amanita caesarea*. El objetivo sería intentar mejorar la calidad de la planta final mediante su simbionte y al mismo tiempo proporcionar a las repoblaciones un valor añadido con las producciones de cuerpos de fructificación que de estos hongos puedan obtenerse. Para esta línea, el Centro espera poder desarrollar un convenio con el grupo de micorrizas de la facultad de Biología de Murcia.

En este momento se está realizando un trabajo en colaboración con el Centro de Investigaciones sobre la Desertificación (CIDE) sobre el efecto de la localización del vivero sobre la resistencia de la planta a las heladas (autoendurecimiento) y el desarrollo de las repoblaciones de *Quercus ilex*. Por ahora los resultados encontrados en simulaciones de heladas en cámaras de congelación ponen en evidencia que la resistencia al frío de la especie *Q. Ilex* es muy superior en plantas cultivadas en el interior peninsular (Guadalajara) frente a las cultivadas en la costa (Valencia) del orden de -23°C frente a -10°C a mediados de febrero. También como línea futura del Centro se pretende profundizar en las posibilidades de regímenes de fertilización exponencial frente a los convencionales pues a las posibles mejoras derivadas de la mayor calidad del brinzal, se añade la ventaja de que permite un uso mucho más eficiente por parte de las plantas de los nutrientes aportados. Ello redundaría en una producción ambientalmente más limpia al posibilitar la disminución de las cantidades totales de fertilizante implicados y por tanto de los lixiviados.

Igualmente nos planteamos seguir con los trabajos de la influencia a medio plazo de los envases forestales sobre la arquitectura radical dado que en la actualidad se disponen de parcelas controladas de *Pinus halepensis* y *P. pinea* de seis años en campo. La idea es dejarlas

crecer hasta los 12-15 años con el objetivo de analizar atributos de índole funcional relacionados con la economía hídrica y la estabilidad de los árboles que fueron cultivados en distintos envases. Se pretende conocer si los diferentes patrones de arquitectura radical se relacionan con diferentes desarrollos de las plantaciones en las primeras edades. El estudio de los envases de repicado lateral de raíces, que presumiblemente permitan un desarrollo del sistema radical más natural, es otra de las líneas a abordar en el futuro.

A modo de resumen de los diferentes trabajos realizados con *Pinus halepensis*, *P. pinea* y *Quercus ilex* nos han permitido perfilar algunas de las características que son importantes o que están relacionadas con el buen desarrollo de estas especies en las repoblaciones. En general, se puede decir que las plantas que mejor sobreviven y mayor crecimiento muestran son las más grandes y las de mayor contenido de nutrientes y que para conseguirlas es necesario utilizar contenedores de volumen igual o superior a 300 cm³. con densidades de cultivo bajas en los entornos de los 250 brínzales por metro cuadrado y profundidades del orden de 18-20 cm. Los aportes de fertilizantes, si bien variables según especie y método de fertirrigar, pueden oscilar entre los 35 mg. de N por planta como valor mínimo y los 120 mg. como valor superior. En *Q. ilex*, la sombra no ha demostrado ser un factor del cultivo que mejore la calidad pero si se ha demostrado fehacientemente que localizaciones de vivero en el interior peninsular mejoran su resistencia al frío y al estrés hídrico. Un buen manejo posterior que evite traumas hídricos en los aviveramientos, una plantación, temprana a ser posible sin enterrar la planta, un laboreo profundo y una buena plantación que permita un contacto íntimo entre el cepellón y la matriz del suelo son junto con el control de la competencia herbácea, las grandes recomendaciones que al sector repoblador español de influencia mediterránea podemos presentar después de estos años de trabajos. La revisión de la literatura existente con otras especies avalan también estas recomendaciones y por ello consideramos que deben revisarse algunas creencias y premisas actualmente existentes sobre calidad de planta y plantación y que se incluya al sistema de cultivo per-se como factor de calidad en los Pliegos y Normas que regulan estas actividades.

Bibliografía

- Carrasco, I.; Peñuelas Rubira, J.L., Benito Matias, L., y Villar Salvador, P. (2001). Fertilización convencional y exponencial con diferentes dosis en plantas de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra* cultivadas en contenedor. III Congreso Forestal Español, Granada pp. (en prensa).
- Carrillo Sánchez, C. (2000). Producción de inóculo de hongos ectomicorrícicos y micorrización controlada de *Pinus halepensis* Miller en vivero. Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Murcia, pp. 241.
- Domínguez Lerena, S. (1999). Influencia de distintos tipos de contenedores en el desarrollo en campo de *Pinus pinea* y *Quercus ilex*. Reunión de coordinación del Programa I+D Forestal, Fundación CEAM, Castellón de la Plana, pp. 81-88.
- Domínguez Lerena, S., Carrasco, I., Herrero, N., Ocaña, L., Nicolás, J. L., and Peñuelas, J. L. (2000). Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento en campo de las plantas de *Pinus pinea* en campo. 1er Simposio del pino piñonero (*Pinus pinea*) Valladolid, pp. 203-209.
- Domínguez Lerena, S., Herrero Sierra, N., Carrasco Manzano, I., Ocaña Bueno, L., and Peñuelas Rubira, J. L. (1997). Ensayo de diferentes tipos de contenedores para *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *P. pinaster* y *P. pinea*: resultados de vivero. Irati 97. II Congreso Forestal Español, Pamplona, Vol. 3 pp. 189-194.
- Domínguez Lerena, S., Oliet, J., Ruiz, P., Carrasco, I., Peñuelas, J. L., and Serrada, R. (2000). Influencia de la relación N-P-K en el desarrollo en vivero y en campo de planta de *Pinus pinea*. 1er Simposio del pino piñonero (*Pinus pinea*) Valladolid, pp. 195-202.

Domínguez Lerena, S., Villar Salvador, P., Fuertes, L., and Peñuelas, J. L. (2001). ¿Puede la profundidad de plantación afectar la calidad fisiológica y el desarrollo en campo de los brinzales de *Pinus halepensis*? III Congreso Forestal Español, Granada pp. (en prensa).

Domínguez, S., Carrasco, I., Herrero, N., and Nicolás, J. L. (1995). El tamaño de la bellota influye en el éxito de las plantaciones de encinas y quejigos. *Quercus Noviembre*, 16-17.

Domínguez, S., Villar, P., Peñuelas, J., Herrero, N., and Nicolás, J. L. (1999). Técnicas para cultivar encinas en terrenos agrícolas. *Quercus 166*, 22-25.

Gozalo Cano, M., Corchero de la Torre, S., Villar Salvador, P., and Peñuelas Rubira, J. (1999). Desarrollo radical de brinzales de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* plantados en diferentes momentos de la temporada de plantación. Reunión de coordinación del Programa de I+D Forestal, Fundación CEAM, Castellón de la Plana, pp. 89-96.

Honrubia, M., Carrillo, C., Peñuelas, J., Domínguez, S., Villar, P., and Ocaña, L. (1997). Influencia de la fertirrigación en la micorrización controlada de *Pinus halepensis* en vivero. Irati 97. II Congreso Forestal Español, Pamplona, Vol. 3 pp. 307-311.

Moreno Álvarez, M. T., Benito Matías, L., Herrero Sierra, N., Domínguez Lerena, S., and Peñuelas Rubira, J. (2001). Estudio de nuevos métodos de determinación de la viabilidad de las semillas forestales: test de electroconductividad e índigo carmín. Comparación con el test del tetrazolio y su aplicación a *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis*. III Congreso Forestal Español Granada, (en prensa).

Nicolás Peragón, J. L., Domínguez Lerena, S., Herrero Sierra, N., and Villar Salvador, P. (1997). Plantación y siembra de *Quercus ilex* L.: efectos de la preparación del terreno y de la utilización de protectores en la supervivencia de plantas. II Congreso Forestal Español, Gobierno de Navarra, Pamplona, Vol. 3, pp. 449-454.

Ocaña Bueno, L., Domínguez Lerena, S., Carrasco Manzano, I., Peñuelas Rubira, J. L., and Herrero Sierra, N. (1997). Influencia del tamaño de la semilla y diferentes dosis de fertilización sobre el crecimiento y supervivencia en campo de cuatro especies forestales. Irati 97. II Congreso Forestal Español, Gobierno de Navarra, Pamplona, pp. 461-467.

Oñoro del Cotillo, F., Villar Salvador, P., Domínguez Lerena, S., Nicolás Peragón, J. L., and Peñuelas, J. (2001). Influencia de la siembra y plantación con dos tipos de tubos protectores en el desarrollo de una repoblación de *Quercus faginea* Lam. III Congreso Forestal Español Granada, (en prensa).

Peñuelas, J. L., Ocaña, L., Domínguez Lerena, S., and Renilla, I. (1996). Experiencias sobre el control de la competencia herbácea en repoblaciones de terrenos agrícolas abandonados. *Montes 45*: 30-36.

Valladares, F., Villar-Salvador, P., Domínguez Lerena, S., Fernández Pascual, M., Peñuelas, J. L., and Pugnaire, F. (2001). Enhancing the early performance of the leguminous shrub *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss.: fertilisation versus *Rhizobium* inoculation. *Plant and Soil*, (en revisión).

Vallas-Cuesta, J., Villar-Salvador, P., Peñuelas Rubira, J., Herrero Sierra, N., Domínguez Lerena, S., and Nicolás Peragón, J. L. (1999). Efecto del aviveramiento prolongado sin riego en la calidad funcional de los brinzales de *Pinus halepensis* Mill. y su desarrollo en campo. *Montes 58*: 51-58.

Villar-Salvador, P., Ocaña, L., Peñuelas, J., and Carrasco, I. (1999). Effect of water stress conditioning on the water relations, root growth capacity, and the nitrogen and non-structural carbohydrate concentration of *Pinus halepensis* Mill. (Aleppo pine) seedlings. *Annals of Forest Science 56*: 459-465.

Villar-Salvador, P., Peñuelas Rubira, J. L., and Carrasco, I. (2000). Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta de *Pinus pinea*. 1er Simposio sobre el pino piñonero (*Pinus pinea*) Valladolid, pp. 211-218.

Villar-Salvador, P., Planelles, R., Enríquez, E., Peñuelas, J. L., and Zazo, J. (2001). Influencia de la fertilización y del sombreado en el vivero sobre la calidad de la planta de *Quercus ilex* L. y su desarrollo en campo. III Congreso Forestal Español Granada (en prensa).

Villar-Salvador, P., Planelles, R., Oliet Palá, J., and González de Chávez, M. (1998). Efecto de diferentes niveles de estrés hídrico y de su duración en las relaciones hídricas de plántulas de *Quercus ilex*. 4º Simposium Hispano-Portugués de relaciones hídricas en las plantas, Sociedad Española de Fisiología Vegetal, Murcia, pp. 65-68.