

Jordi Cortina, Juan Luis Peñuelas, Jaime Puértolas,
Robert Savé y Alberto Vilagrosa



Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos

Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos

Estado actual de conocimientos

NATURALEZA Y PARQUES NACIONALES
Serie forestal



Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos

ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTOS

Coordinadores:

Jordi Cortina

Juan Luis Peñuelas

Jaime Puértolas

Robert Savé

Alberto Vilagrosa

Edita: ORGANISMO AUTÓNOMO PARQUES NACIONALES
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

NIPO: 311-06-054-X
ISBN-10: 84-8014-670-2
ISBN-13: 978-84-8014-670-8
Depósito Legal: M. 39.170-2006

Imprime: Sociedad Anónima de Fotocomposición
Talisio, 9. 28027 Madrid

ÍNDICE GENERAL

| | <i>Págs.</i> |
|---|--------------|
| Prefacio | 5 |
| Listado de autores | 7 |
| Agradecimientos | 9 |
| 1. Evaluación del éxito de la reintroducción de especies leñosas en ambientes mediterráneos | 11 |
| Jordi Cortina, Rafael M. Navarro y Antonio del Campo | |
| 2. Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta | 31 |
| Rafael M. Navarro, Antonio del Campo y Jordi Cortina | |
| 3. Características genéticas de los materiales de reproducción. Influencia sobre la calidad de planta | 47 |
| Ricardo Alía Miranda | |
| 4. Morfología y establecimiento de los plantones | 67 |
| Rafael M. Navarro, Pedro Villar y Antonio del Campo | |
| 5. Influencia del estado nutricional y el contenido en carbohidratos en el establecimiento de las plantaciones | 89 |
| Juan A. Oliet, Alejandro Valdecantos, Jaime Puértolas y Roman Trubat | |



| | <u>Págs.</u> |
|--|--------------|
| 6. El endurecimiento en vivero de especies forestales mediterráneas . . . | 119 |
| A. Vilagrosa, P. Villar-Salvador y J. Puértolas | |
| 7. Nuevas tecnologías de producción de plantas en vivero | 141 |
| Carme Biel, Robert Savé, Dolors Verdaguer y Juan Luis Peñuelas | |
| 8. Sistema integrado de control de calidad de planta mediante la caracterización del cultivo en viveros forestales y contraste en campo de lotes comerciales. | 161 |
| Rafael M. Navarro Campo y Antonio del Campo García | |



PREFACIO

En los últimos años, un número creciente de investigadores españoles ha dedicado sus esfuerzos al estudio de diversos aspectos de la ecología de brinzales¹ de plantas forestales mediterráneas. Gracias a estos estudios, y a la tenaz dedicación de numerosos profesionales de la agronomía y la viverística, actualmente disponemos de conocimientos básicos sobre la producción de algunas de las especies forestales mediterráneas más comunes. No obstante, cuanto más profundizamos sobre protocolos de producción de planta o sobre las características óptimas que debe reunir un brinzal de calidad, resulta más evidente la dificultad para establecer recetas comunes. Algunos estudios apuntan a que la restricción del riego en determinadas fases del cultivo en vivero puede proporcionar mejores resultados en el establecimiento de brinzales en el campo. Sin embargo, otros trabajos han observado resultados contrarios. Numerosos ensayos han mostrado que las plantas bien fertilizadas están mejor preparadas para sobrevivir tras la plantación. Pero también se ha observado que no siempre ocurre así. La lista sería interminable. No es fácil solucionar estas aparentes contradicciones. En primer lugar deben ser identificadas, tarea en absoluto sencilla cuando existe una cierta presión para disponer de recetas de validez universal, a ser posible sencillas. En segundo lugar, deben ser analizadas críticamente, para que puedan sentar las bases para el planteamiento de nuevas hipótesis y nuevos experimentos.

Es precisamente a partir de la constatación de estos resultados, a veces contradictorios, y de la voluntad de difundir estos conocimientos más allá del grupo de investigadores directamente involucrados en su obtención, que surge, hace algo más de dos años, el foro de discusión que ha dado lugar a esta publicación. Un foro de discusión que agrupa a profesionales de la restauración ecológica ligados a la red VIREPA, al grupo de Restauración Ecológica de la AEET, al grupo de Repoblaciones de la SECF², y a numerosos centros de investigación. Lo que empezó como un proceso de reflexión interna, basado en la propia experimentación y, todo hay que decirlo, con una escasa financiación, pronto se convirtió en un proyecto más ambicioso, en el que diversos grupos de investigadores discutieron en profundidad aspectos concretos de la práctica viverística incluyendo, en algunos casos, recopilaciones de datos y nuevos análisis que ayudaran a obtener información a una escala más amplia que la abordada en los experimentos originales.

¹ Brinzal: Arbol joven procedente de semilla (Diccionario Forestal. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Mundi Prensa. 2005).

² VIREPA: Xarxa per a l'optimització de la producció viverística i restauració de zones afectades per grans perturbacions (www.irta.es/virepa). AEET: Asociación Española de Ecología Terrestre (www.aeet.org/restauracion). SECF: Sociedad Española de Ciencias Forestales (www.secf.org).



Tras esta fase inicial, todos fuimos conscientes de que los resultados de este ejercicio de reflexión debían ser evaluados por un colectivo más amplio, y especialmente por profesionales de la viverística. Para ello, contactamos con especialistas formados en diversos campos, que no dudaron en sacar tiempo de donde no lo había para revisar críticamente los informes previamente preparados. Gracias a su excelente trabajo, los textos ganaron en claridad y utilidad.

Finalmente, el Ministerio de Medio Ambiente a través de la Dirección General de Biodiversidad y con fondos presupuestarios del Organismo Autónomo Parques Nacionales, se hizo cargo de la publicación de este volumen, proporcionando las mayores facilidades para que la edición tuviera el rigor y la calidad que los lectores pueden apreciar.

Este volumen es producto de la labor de casi 30 especialistas, conscientes de que la cooperación entre diferentes disciplinas y ámbitos geográficos puede proporcionar una visión más completa y enriquecedora de la ecología de brezales de especies forestales, y de su utilización en la restauración ecológica y en la repoblación forestal. Conscientes, también, de que los resultados de la investigación, en muchos casos financiada con fondos públicos, deben resultar accesibles a cualquier ciudadano interesado en la misma.

Jordi CORTINA, Juan L. PEÑUELAS,
Jaime PUÉRTOLAS, Robert SAVÉ
y Alberto VILAGROSA



LISTADO DE AUTORES

- Ricardo **Alía** Miranda. CIFOR-INIA. Ctra. de la Coruña km 7,5. 28040 Madrid. (alia@inia.es).
- Carme **Biel** Loscos. Departament de d'Horticultura Ambiental, IRTA. Carretera de Cabrils s/n. 08348 Cabrils (Barcelona). (Carmen.Biel@irta.es).
- Jordi **Cortina** Segarra. Departament d'Ecologia i Institut Multidisciplinari per a l'Estudi del Medi. Universitat d'Alacant. Ap. 99 03080 Alicante (jordi@ua.es).
- Antonio **del Campo** García. Dep. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. Camí de Vera s/n. 46022 Valencia (ancamga@dihma.upv.es).
- Rafael M. **Navarro** Cerrillo. Departamento de Ingeniería Forestal. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y de Montes. Avda. Menéndez Pidal s/n. 14004 Córdoba. (ir1nacer@uco.es).
- Juan A. **Oliet** Palá. Departamento de Ingeniería Forestal. E.T.S. Ingenieros Agrónomos y de Montes. Avda. Menéndez Pidal s/n. 14004 Córdoba. (joliet@uco.es).
- Juan Luís **Peñuelas** Rubira. Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo". D.G. Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Apdo. 249 19004 Guadalajara. (jlpenuelas@mma.es).
- Jaime **Puértolas** Simón. Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo". D.G. Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Apdo. 249 19004 Guadalajara. (serranillo.atjps@mma.es).
- Robert **Savé** Monserrat. Departament d'Horticultura Ambiental, IRTA. Carretera de Cabrils s/n. 08348 Cabrils (Barcelona) (robert.save@irta.es).
- Roman **Trubat** Doménech. Departament d'Ecologia i Institut Multidisciplinari per a l'Estudi del Medi. Universitat d'Alacant. Ap. 99 03080 Alicante (roman.trubat@ua.es).
- Alejandro **Valdecantos** Dema. Fundacion CEAM y Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Valencia. Universidad de Alicante. Ap. 99 03080. Alicante (a.valdecantos@ua.es).
- Dolors **Verdaguer** Murlà. Àrea de Fisiologia Vegetal. Dept. de Ciències Ambientals. Universitat de Girona. Campus de Montilivi s/n 17071. Girona. (dolors.verdaguer@udg.es).



- Alberto **Vilagrosa** Carmona. Fundación CEAM. Universidad de Alicante. Ap. 99 03080. Alicante (a.vilagrosa@ua.es).
- Pedro **Villar** Salvador. Departamento de Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares (Madrid) (pedro.villar@uah.es).



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no habría sido posible sin la colaboración desinteresada de un buen número de especialistas que han revisado los textos, contribuyendo a mejorar notablemente el resultado final. La lista completa de estos revisores externos es la siguiente:

- Ismael Aranda. CIFOR. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- Esteban Chirino. Fundación CEAM.
- Francesc Córdoba. Escola Capacitació Agrària i Forestal de Sta. Coloma de Farners. Generalitat de Catalunya.
- Josep Maria Espelta. CREAM. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Vanessa C. Luis. Grupo de Ecofisiología Vegetal. Facultad de Farmacia. Universidad de La Laguna.
- José Alberto Pardos. Departamento de Silvopascicultura. Escuela Técnica Superior Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- Marta Pardos. CIFOR. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- Jesús Pemán. Departamento de Agronomía. Universitat de Lleida.
- Rafael Serrada. Departamento de Silvopascicultura. Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Forestales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Esteve Serra. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.
- Fernando Valladares. Instituto de Recursos Naturales. Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC.
- Ramón Vallejo. Fundación CEAM.



Evaluación del éxito de la reintroducción de especies leñosas en ambientes mediterráneos

JORDI CORTINA, RAFAEL M. NAVARRO y ANTONIO DEL CAMPO



RESUMEN

La evaluación de la influencia de la calidad de la planta sobre la respuesta en campo depende de los objetivos de la restauración, y está condicionada por las variables utilizadas para su interpretación. La mayoría de los estudios en este área se basan en la cuantificación de la supervivencia y el tamaño de la parte aérea de las plantas a corto plazo. Esta información, siendo relevante, puede resultar insuficiente. En este capítulo se discute la utilización de variables complementarias para el estudio del proceso de arraigo y para la cuantificación del comportamiento de la planta en el campo, así como la necesidad de una gestión adaptativa que incorpore evaluaciones a largo plazo.

ASPECTOS BIEN CONOCIDOS

- *Los objetivos de la restauración son múltiples y las localizaciones para el establecimiento de las plantas presentan una gran heterogeneidad, por lo que el concepto de calidad de planta y su evaluación, tanto en vivero como en el campo, debe ser suficientemente flexible para adaptarse a esta realidad compleja.*
- *El estrés post-transplante suele ser menos intenso que el que experimentan los brinzales durante el primer verano en el campo, lo que requiere que los protocolos de cultivo en vivero deberían optimizar la capacidad de la planta para superar el periodo estival.*
- *La información disponible sugiere que las plantas de buena calidad mostrarían mejores resultados también a medio plazo.*



ASPECTOS POCO CONOCIDOS

- *Es necesario determinar qué variables o conjunto de variables son más adecuados para definir la calidad de la planta forestal utilizada para la restauración y su posterior evaluación en el campo.*
- *Se debe ampliar el conocimiento sobre la importancia de los atributos morfológicos y funcionales de la raíz y sobre la manera de manipularlos en vivero.*
- *Estudios a gran escala, tanto espacial como temporal, incorporando la diversidad ambiental característica de medios mediterráneos, permitirían optimizar los recursos, y obtener información más integrada y más fácilmente transferible a la gestión.*
- *Los proyectos de restauración deben incorporar un programa de gestión adaptativa, con evaluaciones rigurosas de sus resultados a corto plazo, y en la medida de lo posible a medio o largo plazo. La disponibilidad de esta información en bases de datos de control de calidad de trabajos de restauración fácilmente accesibles contribuiría decisivamente a mejorar nuestro conocimiento sobre la definición e importancia de la calidad de la planta forestal en medios mediterráneos y mejoraría sustancialmente las actuaciones futuras de restauración.*

1. OBJETIVOS DE LA RESTAURACIÓN Y CALIDAD DE PLANTA

Los objetivos de la restauración pueden ser múltiples, desde la recuperación de un paisaje cultural, hasta el establecimiento de un ecosistema resiliente frente a perturbaciones (Cortina y Vallejo, 2004; Cortina *et al.*, en prensa). Las características que deben reunir las plantas introducidas, y que relacionamos con su calidad, deben tener presente esta diversidad. Así, dependiendo del contexto de la intervención, puede ser deseable disponer de plantas con una elevada capacidad para proteger el suelo, mejorar su fertilidad, facilitar la recuperación de la vida silvestre, o con una elevada plasticidad fenotípica (poblacional o individual) que confiera capacidad de aclimatación frente a futuros cambios ambientales (Tabla 1; Fig. 1 y 2).

Existe poca información al respecto, por lo que sería deseable desarrollar un mayor conocimiento sobre las potencialidades de cada especie y sobre su manipulación. La cuestión es particularmente importante en el contexto de la calidad de la planta, porque determinados caracteres relacionados con el establecimiento de individuos juveniles podrían estar relacionados negativamente con algunos de los aspectos citados (por ejemplo, con la capacidad de respuesta a posteriores condiciones climáticas favorables, aspecto ampliamente documentado en la bibliografía).



ÉXITO DE LA REINTRODUCCIÓN DE ESPECIES LEÑOSAS EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS

Tabla 1. Características de la calidad de la planta que pueden resultar de interés, en función de los objetivos de la restauración.

| Objetivo | Prioridades en la selección de la calidad de planta |
|---|--|
| Aumentar la diversidad genética, la plasticidad fenotípica, evitar la depresión por autocruzamiento | Diversidad de genomas, procedencias |
| Resistencia a condiciones adversas (actuales o futuras) | Plasticidad fenotípica, rasgos morfo-funcionales asociados a resistencia a frío, sequía, contaminación, etc. |
| Protección del suelo | Elevada tasa de crecimiento, crecimiento horizontal, abundante y rápida reproducción, reproducción vegetativa |
| Almacenaje de carbono | Elevada producción, producción de materia orgánica recalcitrante, asignación de biomasa subterránea |
| Potenciar poblaciones de herbívoros | Elevada palatabilidad, tolerancia a la herbivoría |
| Producción de miel | Producción de flores, variedades melíferas |
| Incremento de recursos alimentarios para la fauna | Producción de frutos elevada y extendida en el tiempo, calidad de los frutos |
| Aumentar la resistencia y resiliencia frente a perturbaciones | Capacidad de rebrote, contenidos relativos de humedad elevados, piñas serótinas, banco de semillas persistente, defensas frente a plagas |
| Mejorar la fertilidad del suelo | Elevada tasa de producción, fijación de nitrógeno, sistemas radiculares fibrosos, enraizamiento profundo |
| Modificar el flujo de recursos (ingeniería de ecosistemas) | Rasgos asociados a la modificación de flujos hídricos, ambiente lumínico, redistribución de agua y nutrientes del suelo |
| Producción de madera u otros productos | Elevada tasa de crecimiento, fuste recto, baja ramosidad, productos forestales no maderables |
| Estética | Tasa de crecimiento, porte, variedad cromática, producción de flores y frutos |
| Regulación hídrica | Cobertura, eficiencia en el uso del agua, profundidad de enraizamiento, infiltración |





Figura 1. La multiplicidad de objetivos de la restauración obliga a desarrollar técnicas de producción de planta en vivero para una amplia gama de especies y con unos objetivos diversos. Esta multiplicidad complica la definición de calidad de planta forestal y su evaluación. En la imagen se muestran brinzales de varias especies del semiárido almeriense en el vivero de Rodalquilar (Almería, Red de Viveros de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente).

Por otra parte, pese a que las características morfológicas y fisiológicas que definen la planta de calidad pueden variar según los intereses de las distintas partes involucradas en la producción, manejo y empleo final de la planta (Ritchie, 1984; Folk y Grossnickle, 1997), parece lógico pensar que tales características deberían maximizar la supervivencia, crecimiento y potencial reproductivo de la planta trasplantada. Esto hace que la calidad no pueda ser considerada como un conjunto fijo de atributos. Por el contrario, debe ser tratada como un concepto variable con el uso (por ejemplo, con las características de la estación a repoblar) y el usuario (necesidades y objetivos del repoblador) (Navarro y Pemán, 1997). Así, el concepto de calidad de planta, entendido como adecuación al uso, puede definirse como la capacidad de una planta forestal para alcanzar las expectativas de supervivencia y crecimiento de una estación particular (Duryea, 1985). Esta capacidad es el reflejo de unas condiciones morfológicas y fisiológicas de la planta que le permiten una mejor respuesta frente a los factores propios del lugar de establecimiento, y que van a manifestarse a través de su capacidad para superar el estrés de plantación y





Figura 2. En el marco de la restauración de ambientes mediterráneos se plantean situaciones muy diversas, lo que dificulta la identificación de técnicas de validez general. Las características de la planta idónea para reforestar antiguos cultivos en zonas Mediterráneas relativamente húmedas (como las que muestra esta plantación de *Quercus ilex* ssp. *ballota* (Desf.) Samp. en Puebla de la Sierra, Huelva), y de la planta apropiada para reforestar zonas degradadas en condiciones climáticas menos favorables probablemente difieren. Conocer estas diferencias contribuiría a mejorar los resultados de las plantaciones.

crecer, aprovechando todo el potencial que ofrece una estación. No obstante, las condiciones en que se produce la planta en la mayor parte de los viveros, unido a la dificultad de muchos de los métodos de control de calidad, hace que deban reconsiderarse los sistemas y atributos de calidad (Puttonen, 1997). La mayor parte de la literatura relacionada con la calidad de la planta forestal proviene de sistemas méxicos, en los que priman los aspectos productivos sobre la resistencia al estrés, o sobre cualquier otro factor de los mencionados anteriormente. Probablemente ésta es la causa de algunos resultados contradictorios, así como de cierta prevención a la hora de aplicar los avances científicos en la gestión viverística en medios xéricos.

South (2000) ha sugerido que la respuesta inicial en una plantación se ve afectada, en orden de importancia, por las condiciones ambientales, el manejo de la planta, su morfología y su fisiología. Cada uno de estos aspectos conlleva multitud de factores interrelacionados (Chavasse, 1980), por lo que el estudio de esta respuesta debe considerar



las posibles interacciones entre ellos; esto proporcionará la suficiente información sobre aquellos tratamientos que maximicen el establecimiento (Ketchum y Rose, 2000; Navarro y Palacios, 2004). El proceso de arraigo de un brinzal propuesto por Burdett (1990) y Margolis y Brand (1990) es uno de los más aceptados y referidos en la literatura (Bernier *et al.*, 1995; Villar *et al.*, 1997; McAlister y Timmer, 1998). Una vez plantado, el brinzal debe recuperarse del posible estrés sufrido durante su manejo, estableciendo un contacto entre sus raíces y el suelo que le permita retomar las funciones vitales de absorción de agua y nutrientes, y de fijación al sustrato (Haase y Rose, 1993). Lo anterior lleva a Burdett (1990) a considerar que los factores que afectan al estado hídrico de la planta en el momento del establecimiento tienen una influencia decisiva en la supervivencia inicial (Heiskanen y Rikala, 2000). Se asume que el final del estrés de trasplante tiene lugar cuando los atributos fisiológicos retornan a un nivel “normal” (Haase y Rose, 1993; South y Zwolinski, 1997), de forma que la planta se ha mostrado capaz de ajustar su morfología y fisiología, a corto plazo, lo que supone un importante paso en su establecimiento en campo, a más largo plazo.

Sin embargo, en ambientes con una acusada sequía estival, como el mediterráneo, esta fase estival, y no la inmediatamente posterior al trasplante, es la que normalmente provoca una mayor mortalidad (Vilagrosa *et al.*, 1997a; Maestre *et al.*, 2003). Por ello, la estabilización de ciertas variables fisiológicas (como la recuperación del potencial hídrico, de determinados niveles de intercambio de gases, o del estado de la maquinaria fotosintética), al poco de la plantación, podrían no ser indicadores fiables de haber superado la fase crítica del establecimiento. En medios mediterráneos, probablemente son las medidas realizadas durante el verano, las que mejor informan sobre el establecimiento de los brinzales introducidos. Por otra parte, el período que media entre la recuperación del estrés de trasplante y la aparición del estrés hídrico estival podría ser crucial para asegurar el establecimiento. Existen evidencias de que durante este período las plantas ajustan su área foliar e inician la colonización del suelo (Fonseca, 1999; Pausas *et al.*, 2004), además de sufrir un proceso de endurecimiento espontáneo. Las características e importancia de esta fase probablemente dependen de la estrategia de cada especie y de las condiciones ambientales; por ejemplo, del tipo de sistema radical, de la profundidad del suelo o de la distribución de los recursos limitantes (Rambal 1984; Ho *et al.*, 2004). Pero actualmente disponemos de poca información sobre cuál es la estrategia de muchas especies mediterráneas en esta fase, hasta qué punto dependen de la misma para su establecimiento, y cómo podemos potenciarla, de manera eficiente, mediante técnicas de vivero o de campo.



2. SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO INICIAL

Las tasas de supervivencia obtenidas en repoblaciones con especies forestales son muy variadas, desde valores muy bajos, hasta porcentajes superiores al 90% (Cortina *et al.*, 2004). El crecimiento con frecuencia muestra una elevada heterogeneidad, según la variable que se considere y según la meteorología (ver Capítulo 2). Así, la altura media de la planta puede disminuir en el caso de una sequía muy severa (la norma en medios semiáridos), o aumentar en condiciones más favorables; en este último caso, el incremento de altura se produce casi exclusivamente en los meses de primavera y otoño, paralizándose durante el verano. En especies del género *Quercus* (como encina, carrasca y coscoja), y en otras especies como el lentisco (*Pistacia lentiscus*), con frecuencia los incrementos y decrementos absolutos son relativamente bajos, consecuencia de que el aumento y la reducción de altura suele tener lugar sobre la última elongación del tallo (extremo apical) (Suárez *et al.*, 1997; Vilagrosa *et al.*, 1997b). Sin embargo, un elevado nivel de estrés hídrico puede acabar con toda la parte aérea, produciéndose, en el mejor de los casos, rebrote de cepa, y pudiéndose registrar disminuciones sustanciales de la altura. Esta situación es frecuente en medio semiárido y especies como *Quercus coccifera* (Vilagrosa, 2002). Los incrementos de altura al cabo del primer año en campo suelen ser positivos cuando aparecen supervivencias medio-altas (Ocaña *et al.*, 1997; Valdecantos, 2001; Villar *et al.*, 2001), evidenciando mejores condiciones meteorológicas para el establecimiento.

La reducción de la superficie transpirante, mediante el desprendimiento total o parcial de las hojas, es un mecanismo de evitación de la desecación bien conocido (Larcher, 1977), y se presenta, con relativa frecuencia, en especies mediterráneas (Correia y Martins-Louçao, 1997; Vilagrosa *et al.*, 2003), pese a que la velocidad o el momento de la senescencia muestran notables contrastes entre especies (Vilagrosa, 2002). La abscisión puede tener, junto al efecto de minimizar la superficie transpirante, la función de movilizar recursos desde las hojas hacia los sumideros con mayor demanda, por ejemplo las raíces en crecimiento, contribuyendo a optimizar el uso de los mismos (Correia y Martins-Louçao, 1997). Del Arco *et al.* (1991) han demostrado que la velocidad a la que se produce la senescencia foliar en diferentes especies leñosas mediterráneas afecta a la reabsorción o retranslocación de nutrientes. No conocemos estudio alguno en el que se haya comparado el efecto de diferentes velocidades de aparición de la sequía estival sobre el posterior comportamiento de la planta en medios mediterráneos, aunque estudios en embriones y plantas poiquilohidas (Oberndorf *et al.*, 1998; Farrant *et al.*, 1999) parecen sugerir que este factor podría ser relevante. Por otra parte, ¿hasta qué punto la reducción de la superficie transpirante tiene un efecto deletéreo sobre la capacidad de la planta de resistir la sequía? Algunos experimentos de poda aérea parecen indicar que el posible reaprovechamiento de recursos mediante retranslocación (probablemente sólo nutricionales, si consideramos un balance negativo de carbono en las hojas senescentes) no sería suficiente para compensar el perjuicio que supone el mantenimiento del área foliar en condiciones de elevado estrés (E. Chirino, datos no publ.).



El crecimiento en diámetro se ha mostrado, en general, mucho más regular. No obstante, son más abundantes en la literatura los resultados que muestran la independencia del crecimiento en diámetro en campo respecto a los tratamientos ensayados (Villar *et al.*, 2001). Se ha sugerido que, particularmente en especies en las que la variación en altura pueda ser tanto positiva como negativa, la medida del diámetro basal sería un indicador más fiable del crecimiento de la planta (Ruano, 2003), aunque se debe tener en cuenta que esta última variable no considera la pérdida de funcionalidad, permanente o transitoria, del tejido conductor. La determinación de la tasa de crecimiento a partir de medidas periódicas del diámetro del cuello de la raíz, obliga a identificar con precisión el punto de medida, de manera que las sucesivas mediciones no se vean afectadas por esta incertidumbre. En especies que pueden generar yemas en el nudo cotiledonar, sería recomendable llevar a cabo las mediciones unos centímetros por arriba o debajo de este nivel (D. Verdaguer, com. pers.). Esto permitiría, por otra parte, evitar la necesidad de desenterrar el tallo cuando el hoyo de plantación se colmata y tapa el cuello de la raíz.

La opción más deseable para evaluar el desarrollo de un brinzal en el campo sería la integración de altura y diámetro, por ejemplo, mediante el cálculo del biovolumen, o la estimación de la superficie foliar o superficie proyectada, especialmente cuando la restauración tiene como objetivo prioritario la recuperación de la cubierta vegetal. Actualmente se están desarrollando técnicas basadas en fotografías digitales y en el índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) a pequeña escala para hacer esta tarea más operativa (J. Casadesús, com. pers.).

La utilización de variables como la altura o el diámetro del tallo para comparar el comportamiento de plantas de calidades contrastadas pueden llevar a error dada la evolución no lineal de estas variables. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de ello. En un experimento en el que se evaluó el efecto de dos niveles de riego contrastado sobre diversas características morfo-funcionales de lentisco (*Pistacia lentiscus*) de una savia (J. Cortina, datos no publ.), comparamos la altura inicial de los brinzales con la altura tras 6 meses de tratamiento. En este caso todos los brinzales procedían de un mismo vivero. Para las plantas que habían recibido riego abundante, la relación era significativa, sugiriendo una relación entre el tamaño inicial y el final. Para las plantas más estresadas, por el contrario, la relación era inexistente. A partir de estos resultados podríamos concluir que las dimensiones iniciales de los brinzales permitían un mayor crecimiento cuando la disponibilidad de agua era mayor. Sin embargo, no observamos relación alguna entre la altura inicial de los brinzales y la tasa relativa de crecimiento en ninguno de los dos grupos de plantas. Estos resultados sugieren que la relación observada en el primer caso era consecuencia del desarrollo ontogénico de las plantas. Ambos grupos de variables, los basados en medidas absolutas de tamaño y las estimaciones de crecimientos relativos (Hunt, 1990; Poorter y Garnier, 1996) proporcionan información diferente y útil en el contexto de la manipulación de la calidad de la planta forestal. Las primeras, informan sobre el estado de las plantas en un momento dado, y por ello serían mejores indicadores del éxito actual, en el campo, de determinadas técnicas de cultivo. La evaluación de las tasas relativas de crecimiento, por otro lado, al integrar las diferencias de tamaño iniciales, pro-



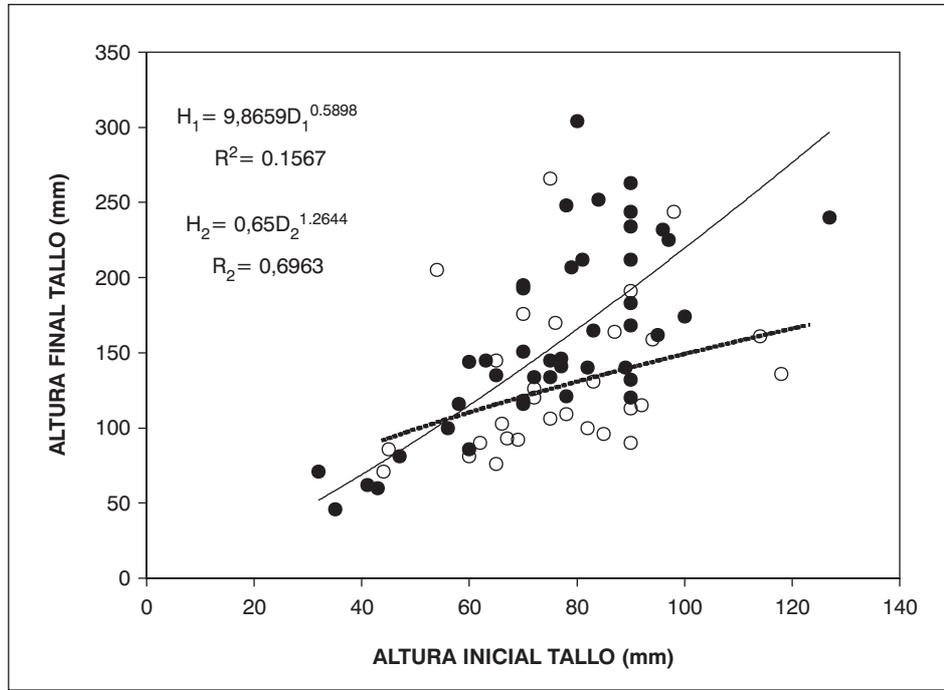


Figura 3. Relación entre la altura inicial del tallo y la altura final en brinzales de una savia de *Pistacia lentiscus* sometidos durante seis meses a dos regímenes contrastados de irrigación. Los círculos blancos corresponden a riego deficitario y los círculos negros a riego abundante (subíndices 1 y 2 en las regresiones, respectivamente) (J. Cortina, datos inéditos).

porciona información sobre la respuesta de las plantas sobre el terreno, es decir, sobre la interacción entre las características morfológicas y las condiciones de campo. Este segundo grupo de variables serviría, además, para estimar la evolución futura de las diferencias entre las diferentes partidas de plantas que se están comparando (futura convergencia-divergencia en los tamaños).

La capacidad de colonización del suelo, tal como se ha comentado anteriormente, podría ser crucial para asegurar la resistencia a la sequía estival. Sin embargo, algunas variables de morfología radical se han mostrado poco sensibles a tratamientos en vivero (Rubio *et al.*, 2001; Navarro y Calvo, 2002). Por ejemplo Rubio *et al.* (2001) obtuvieron un incremento de entre 308 y 705 cm de longitud radical pocas semanas después de la plantación en campo de encina sometida a endurecimiento hídrico. No obstante, posteriormente se produjo un cambio en la evolución de la morfología radical, mostrando cierta estanqueidad (a veces retroceso) en algunas variables como la longitud o la superficie total de raíces, mientras que en otras se produjeron aumentos apreciables. Esto podría reflejar la senescencia de parte de su sistema radical (Lo Gullo *et al.*, 1998), aunque



experimentos en rizotrones sugieren que las raíces finas desarrolladas en los meses siguientes a la plantación perduran, al menos, hasta después del primer verano (Gobbi *et al.*, 2006). Una forma de evaluar esta variable es a través de los valores de fibrosidad radical (Comerford *et al.*, 1994). Las raíces finas de especies leñosas mediterráneas están sujetas a dinámicas estacionales muy acusadas. López *et al.* (1998) han observado que la vida media de las raíces finas en encinares es de unos 80 días. Probablemente este acelerado reemplazamiento sería característico de las raíces por debajo de 0,5 mm de diámetro, pero no de la fracción de raíces tradicionalmente consideradas finas (por debajo de 2 mm), que previsiblemente darán origen a los principales ejes del sistema radicular en brinzales. Estudios en rizotrón y minirizotrón parecen sugerir que estas raíces persistirían, durante períodos superiores a 80 días (Green *et al.*, 2005; J. Cortina, obs. pers.). Sería conveniente disponer de más información sobre la fenología de estas raíces y sobre su importancia funcional. Esto resulta particularmente importante si tenemos en cuenta que el número de raíces >0,5 mm de diámetro que emergen del cepellón en plantas introducidas en el campo, no suele ser muy elevado. Resulta relevante mencionar que la biomasa de raíces que colonizan el hoyo de plantación a corto plazo (1-2 años) se suelen correlacionar con la biomasa de las raíces del cepellón (Seva *et al.*, 1996; Valdecantos *et al.*, 1996), una indicación de que estas últimas (y especialmente la raíz principal) continúan desarrollándose en el campo. Siendo así, bajo determinadas condiciones se podría utilizar la biomasa de raíces del cepellón como variable indicadora del grado de colonización del suelo por las raíces de los brinzales introducidos, con el consiguiente ahorro de esfuerzo.

3. RELACIÓN ENTRE EL ESTABLECIMIENTO A CORTO Y MEDIO PLAZO

La mayoría de los estudios sobre la relación entre las características de la planta forestal y su comportamiento en el campo, basa dicha evaluación en la determinación de las tasas de supervivencia y crecimiento de los brinzales a corto plazo (un año, en la mayoría de los casos). Cabe preguntarse hasta qué punto estos períodos son indicadores del éxito general de la reintroducción, y si existe una relación entre las medidas tomadas a corto plazo y a largo plazo (Navarro *et al.*, 2006). Existen evidencias procedentes de otros ambientes en los que las características de los individuos en la etapa juvenil no se relacionan con las observadas a una edad madura (Samuelson, 2000; Mediavilla y Escudero, 2003). Desgraciadamente existen pocos estudios publicados en los que se haya evaluado el efecto de la calidad de la planta a largo plazo, y los existentes se han centrado mayoritariamente en la persistencia de las plantas introducidas (supervivencia, crecimiento), dejando de lado cuestiones relacionadas con la dinámica a largo plazo de la población y el funcionamiento del ecosistema (Fig. 4; ver Capítulo 3).

Respecto a la primera cuestión, los meses inmediatamente posteriores a la plantación resultan cruciales para el establecimiento de los brinzales (tal como se ha co-



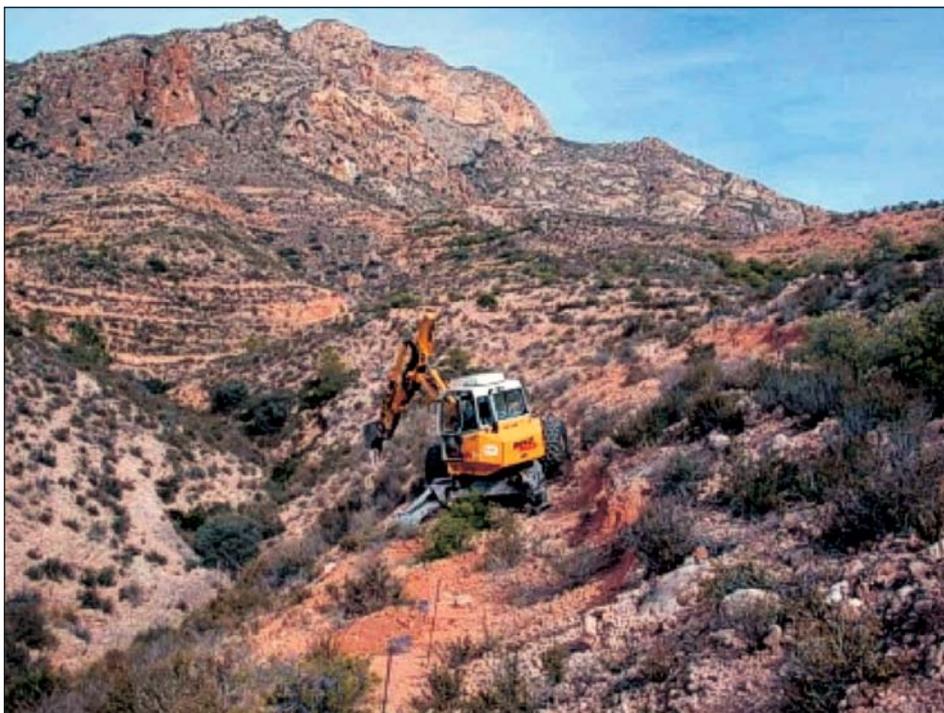


Figura 4. Los estudios a largo plazo, bien conectados con la práctica, son necesarios para mejorar los resultados de la restauración, incluyendo los relacionados con la calidad de la planta. Los proyectos piloto, como el que se muestra en la imagen tomada en Albaterra (Alicante), suponen un marco para desarrollar este tipo de colaboración entre gestores e investigadores (Foto: A. Vilagrosa, proyecto REACTION).

mentado anteriormente). Por ello, cabe esperar que las diferencias que se puedan establecer en esta fase condicionen el futuro de la plantación, y por lo tanto, que la evaluación a corto plazo resulte un indicador razonable del éxito a medio plazo de la reintroducción.

La Fundación CEAM realizó en invierno de 1993 plantaciones de pino rodeno, carrasca y pino carrasco (*Pinus pinaster*, *Quercus ilex* sp. ballota y *Pinus halepensis*) procedentes de diferentes viveros forestales en parcelas experimentales bajo ombroclima seco sub-húmedo (las dos primeras especies) y semiárido (pino carrasco). En numerosos casos, se utilizaron partidas de una misma especie procedentes de viveros diferentes, en una misma localidad y año de plantación, por lo que resulta posible evaluar la importancia de las condiciones de cultivo en vivero en un contexto amplio de condiciones ambientales (Seva *et al.*, 2000). Cabe tener en cuenta que estas plantaciones soportaron el verano de 1994, extremadamente seco. Para comparar la tasa de supervivencia de las di-



ferentes partidas se utilizó un índice de respuesta neta (IR) basado en el propuesto por Armas *et al.* (2005):

$$IR = \frac{|S1 - S2|}{S1 + S2}$$

donde S1 y S2 corresponden a las supervivencias de las partidas de una especie procedentes de dos viveros diferentes, plantadas en una misma localidad y año. El valor absoluto de la diferencia permite que el orden de las partidas 1 y 2 en la expresión sea irrelevante. Este índice oscila entre 0 (no hay efecto de la procedencia), y 1 (la supervivencia es 100% superior en una partida que en la otra), siendo insensible a los valores absolutos de supervivencia (y por tanto a las condiciones del sitio y condiciones climáticas del año de plantación). Así, dos partidas con una tasa de supervivencia de 40% y 20%, mostrarían un IR de $20/60=0,33$, idéntico a dos partidas con una supervivencia de 80% y 40,3%.

Los resultados de este análisis muestran una media del IR entre 0,03 y 0,27 (Tabla 2). Los valores de IR fueron en todos los casos significativamente diferentes de 0. Sólo en contados casos el IR superó el 50% (cabe destacar 5 de los 30 casos en que se compararon las tres especies conjuntamente a los 12 meses de la plantación). Resulta interesante comprobar que en todos los casos, el valor de IR incrementó con el tiempo, sugiriendo que en las condiciones de estas plantaciones, con calidades de plantas muy contrastadas y meteorología muy desfavorable, la calidad de la planta tuvo un efecto progresivamente más importante sobre la supervivencia en el campo.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos del índice de respuesta de diferentes partidas de *Quercus ilex*, *Pinus pinaster* y *Pinus halepensis* plantadas en la misma localidad y período, evaluados a los 6, 12 y 24 meses de la plantación. Se muestra el valor del estadístico t de Student para la hipótesis alternativa $\bar{x} > 0$ y su significación (uno y dos asteriscos para $\alpha < 0,05$ y $\alpha < 0,01$, respectivamente). La distribución de frecuencias no difería en ningún caso de la función normal (test Kolmogorov-Smirnov para una muestra). Por el escaso número de comparaciones para *Pinus pinaster*, esta especie no se analizó separadamente.

| Meses | Especies | Media±95% i.c. | t | Desviación típica | Error típico | Mediana | N |
|-------|----------------------|-------------------|---------|----------------------|--------------|---------|----|
| 6 | Todas | 0.06±0.02 | 4,860** | 0.07 | 0.01 | 0.04 | 31 |
| | <i>Q. ilex</i> | 0.05±0.03 | 3,998** | 0.05 | 0.01 | 0.04 | 16 |
| | <i>P. halepensis</i> | 0.03±0.03 | 2,895* | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 8 |
| 12 | Todas | 0.25±0.11 | 4,563** | 0.30 | 0.05 | 0.14 | 30 |
| | <i>Q. ilex</i> | 0.17±0.14 | 2,650** | 0.25 | 0.06 | 0.09 | 15 |
| | <i>P. halepensis</i> | 0.13±0.10 | 3,071** | 0.12 | 0.04 | 0.08 | 8 |
| 24 | Todas | 0.27±0.11 | 5,153** | 0.24 | 0.05 | 0.24 | 20 |
| | <i>Q. ilex</i> | 0.23±0.21 | 2,468* | 0.29 | 0.09 | 0.14 | 10 |
| | <i>P. halepensis</i> | 0.26±0.18 | 3,588** | 0.18 | 0.07 | 0.31 | 6 |



J. A. Alloza (datos no publ.) ha evaluado la supervivencia y crecimiento de brinzales de *Pinus pinaster* procedente de partidas de contrastada calidad (en base a las condiciones de cultivo, a la morfología y a la apariencia) introducidas simultáneamente en las mismas estaciones (las mismas plantaciones incluidas en el análisis anterior). Estos ensayos parecen indicar que la diferencia en altura del tallo entre partidas se mantiene, incluso después de 10 años en el campo, tras haber experimentado períodos de sequía extraordinariamente intensos. Análogamente, la tasa de supervivencia fue superior en los brinzales de mejor calidad hasta la llegada del verano de 1994, momento en que la mortalidad de ambas partidas tendió a igualarse, alcanzando valores muy elevados. Únicamente los brinzales introducidos en ombroclima termomediterráneo sobre suelo margoso mostraron diferencias sostenidas en supervivencia a lo largo de 10 años.

La relación entre la calidad de la planta forestal y su comportamiento a medio plazo en el campo podría diferir en medios semiáridos. Vilagrosa *et al.* (2001) evaluaron el crecimiento aéreo de brinzales de espino negro, araar, lentisco y pino carrasco (*Rhamnus lycioides*, *Tetraclinis articulata*, *Pistacia lentiscus* y *Pinus halepensis*) introducidos en parcelas experimentales en medio semiárido 6 años antes. En ninguna de estas especies se observó un efecto claro de la calidad sobre el crecimiento. Así, en araar y lentisco, la relación entre altura inicial del brinzal y altura a los 6 años mostró una pendiente cercana a 1, mientras que para las otras especies, la pendiente apenas se diferenció de cero, debido, al menos en parte, a una elevada variabilidad. En relación con el diámetro, los resultados fueron análogos, al no observarse relación significativa alguna entre las medidas hechas tras la plantación y 6 años después. La supervivencia a los 5 años tampoco estuvo relacionada con el origen de la partida, ya que partidas diferentes proporcionaron resultados similares, mientras que partidas similares, en términos de altura media de tallo, proporcionaron resultados contrastados en alguna de las plantaciones experimentales (A. Vilagrosa, com. pers.).

4. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

El concepto de calidad de planta ha sido intensamente debatido en el contexto de plantaciones forestales. Su definición resulta aún más compleja en el marco de la restauración ecológica, ya que ésta incluye una gran diversidad de objetivos, de especies y de situaciones de establecimiento, lo cual condiciona el tipo de planta requerido. La evaluación del éxito de las plantaciones realizadas con brinzales de características contrastadas se suele basar en la cuantificación de unas pocas variables, mayoritariamente supervivencia y crecimiento. Pero de acuerdo con la multiplicidad de objetivos de la restauración, antes mencionada, se debería tender hacia evaluaciones integradas, en las que se contemplaran variables como la tasa de crecimiento relativa, la cobertura, la capacidad de producir un elevado número de semillas viables o el lapso hasta llegar a la madurez reproductiva.



Existen evidencias de que la manipulación de las características morfo-funcionales de la planta en vivero puede afectar decisivamente a su establecimiento. Aunque persisten considerables incertidumbres, tal como se discute en los diversos capítulos de este volumen. Entre las variables de estado y de comportamiento de los brinzales, las relativas a las características y dinámica del sistema radicular han recibido relativamente poca atención en el pasado, lo cual resulta paradójico en ambientes en los que la rápida y eficiente captura de recursos edáficos, en particular hídricos, puede ser crucial para el establecimiento.

Generalmente, la evaluación del éxito de las repoblaciones y, con ello, la evaluación del efecto de las técnicas de vivero o de la calidad de planta empleadas, se limita a los primeros años posteriores a la plantación. Aunque éstos sean decisivos para asegurar el éxito de la plantación a largo plazo, existen numerosos ejemplos de plantaciones calificadas como exitosas a corto plazo que, con el paso de los años, han mostrado notables deficiencias, y viceversa. El caso del espiralamiento de sistemas radiculares y posterior estrangulamiento del cuello de la raíz resulta paradigmático en este sentido (Fig. 5).



Figura 5. Sistema radical espiralado en pino carrasco, procedente de la colección existente en el Centro «El Serranillo» (MMA, DG. Biodiversidad). Pese a que los primeros meses son cruciales para el establecimiento de una plantación, la evaluación de los resultados de una determinada práctica viverística debería prolongarse durante períodos superiores a 1 o 2 años. La aparición de estrangulamiento, años después de la plantación, en sistemas radiculares que mostraban espiralamiento en vivero, debe servir como advertencia ante la extrapolación de los resultados obtenidos a corto plazo.

La falta de información a medio y largo plazo es, en parte, consecuencia de que la evaluación rigurosa del éxito de trabajos de restauración se ha restringido tradicionalmente al marco de proyectos científicos o trabajos de investigación y, con ello, se encuentra constreñida por los plazos típicos de este tipo de actividades. Existen varias ma-



neras de solventar este grave problema. Por un lado, establecer estudios a largo plazo, que permitan un cierto grado de monitorización durante décadas. El establecimiento de experimentos a gran escala, que impliquen a grupos diversos de investigadores y gestores, sin ser imprescindible, permitiría concentrar estos estudios en cuestiones particularmente relevantes y plantear preguntas de ámbito más general, optimizando las inversiones. Por otro lado, la incorporación de planes rigurosos de evaluación en los proyectos de restauración permitiría no sólo el acopio de información de gran valor para el propio programa (gestión adaptativa), sino también la posibilidad de crear bases de datos que permitan realizar estudios retrospectivos en un futuro. Desgraciadamente, la ausencia de bases de datos extensas, de calidad y fácilmente accesibles es uno de los factores que limita actualmente este tipo de estudios (Bautista *et al.* 2004).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto CREOAK (UE DGXII 5.º PM, QLRT-2001-01594) y el proyecto VARQUS (Ministerio de Ciencia y Tecnología, CGL2004-04325/BOS). Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de ASOCIACIÓN FLOR, y de los viveros Paisajes del Sur (Granada), Andarax (Almería), Sierra Norte (Sevilla), Ponce Lajara, Zulaime (Granada), la Red de Viveros de Andalucía de la Consejería de Medio Ambiente y los viveros públicos de Alicante (Conselleria de Territorio y Vivienda, Generalitat Valenciana), por su generosidad a la hora de compartir con nosotros su experiencia, su ilusión por producir planta de la mejor calidad posible, y sobre todo por su amistad.

REFERENCIAS

- ARMAS, C.; ORDIALES, R. y PUGNAIRE, F. I. (2004). Measuring plant interactions: a new comparative index. *Ecology* 85: 2682-2686.
- BAUTISTA, S.; ALLOZA, J. A. y VALLEJO, V. R. (2006). Conceptual framework, criteria, and methodology for the evaluation of restoration projects. The REACTION approach. Technical Report. Disponible en: www.gva.es/ceam/reaction/workfiles (21/05/2005).
- BERNIER, P. Y. y GONZÁLEZ, A. (1995). Effects of physical properties of Sphagnum peat on the nursery growth of containerized *Picea mariana* and *Picea glauca* seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 176-183.
- BURDETT, A. N. (1990). Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 415-427.
- CHAVASSE, C. G. R. (1980). Planting stock quality: a review of factors affecting performance. *New Zealand Journal of Forestry Science* 25: 144-171.
- COMERFORD, N. B.; SMETHURST, P. J. y ESCAMILLA, J. A. (1994). Nutrient uptake by woody root systems. *New Zealand Journal of Forestry Science* 24: 195-212.



- CORTINA, J.; BELLOT, J.; VILAGROSA, A.; CATURLA, R.; MAESTRE, F.; RUBIO, E.; MARTÍNEZ, J. M. y BONET, A. (2004). Restauración en semiárido. In *Avances en el Estudio de la Gestión del Monte Mediterráneo*. (V. R. Vallejo y J. A. Alloza, Eds.), pp. 345-406. Fundación CEAM, Valencia.
- CORTINA, J.; MAESTRE, F. T.; VALLEJO, V. R.; BAEZA, J. M.; VALDECANTOS, A. y PÉREZ-DEVESA, M. (en prensa). Ecosystem structure, function and restoration success: are they related? *Journal of Nature Conservation*.
- CORTINA, J. y VALLEJO, V. R. (2004). Restoration Ecology. In *The Science of Ecology for a Sustainable World* (Bodini, A. y Klotz, S., Eds.) in *Encyclopaedia of Life Support Systems (EOLSS)*. EOLSS Publishers, Oxford, U.K. (www.eolss.net).
- CORREIA, P. J. y MARTINS-LOUÇÃO, M. A. (1997). Leaf nutrient variation in mature carob (*Ceratonia siliqua*) trees in response to irrigation and fertilization. *Tree Physiology* 17: 813-819.
- DEL ARCO, J. M.; ESCUDERO, A. y VEGA, M. (1991). Effects of site characteristics on nitrogen retranslocation from senescing leaves. *Ecology* 72: 701-708.
- DURYEA, M. L. (1985). Evaluating seedling quality; importance to reforestation, pp. 1-6. In: Duryea, M. L. (Ed.): *Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Tests*. Forest Res. Lab., Oregon State Univ. Corvallis, OR.
- FARRANT, J. M.; COOPER, K.; KRUGER, L. A. y SHERWIN H. W. (1999). The effect of drying rate on the survival of three desiccation-tolerant angiosperm species. *Annals of Botany* 84: 371-379.
- FOLK, R. S. y GROSSNICKLE, S. C. (1997). Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. *New Forests* 13: 121-138.
- FONSECA, D. E. (1999). Manipulación de las características morfoestructurales de plantones de especies forestales mediterráneas producidos en vivero. Implicaciones sobre su viabilidad y adaptación a condiciones de campo en ambiente semiárido. M. Sc. IAMZ. Zaragoza.
- GOBBI, A.; FUENTES, D.; DISANTE, K. y CORTINA, J. (2006). Dinámica de raíces finas en brinzales de *Pinus halepensis* plantado sobre diferentes tipos de suelos enmendados con bio-sólidos. Resúmenes del II Congreso Forestal Ibérico. Lisboa, 18-21 de julio de 2006.
- GREEN, J.; BADDELEY, J. A.; WATSON, C. A. y CORTINA, J. (2005). Root development in the Mediterranean shrub *Pistacia lentiscus* as affected by nursery treatments. *Journal of Arid Environment* 61: 1-12.
- HAASE, D. L. y ROSE, R. (1993). Soil moisture stress induces transplant shock in stored and unstored 2+0 Douglas-fir seedlings of varying root volumes. *Forest Science* 39: 275-294.
- HEISKANEN, J. y RIKALA, R. (2000). Effects of peat-based container media on establishment of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings after transplanting in contrasting water conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 49-57.
- HO, M. D.; McCANNON, B. C. y LYNCH, J. P. (2004). Optimization modeling of plant root architecture for water and phosphorus acquisition. *Journal of Theoretical Biology* 226: 331-340.
- HUNT, R. (1990). *Basic growth analysis*. Unwin Hyman Ltd. London. 112 pp.
- KETCHUM, J. S. y ROSE, R. (2000). Interaction of initial seedling size, fertilization and vegetation control. In: 21st Forest Vegetation management conference. Redding, Jan 18-20, 2000. CA. pp. 63-69.



- LARCHER, W. (1977). *Ecofisiología vegetal*. Eds. Omega S.A., Barcelona. 305 pp.
- LO GULLO, M. A.; NARDINI, A.; SALLEO, S. y TYREE, M. T. (1998). Changes in root hydraulic conductance (K_R) of *Olea oleaster* seedlings following drought stress and irrigation. *New Phytologist* 40: 125-131.
- LÓPEZ, B.; SABATÉ, S. y GRACIA, C. (1998). Fine roots dynamics in a Mediterranean forest: effects of drought and stem density. *Tree Physiology* 18: 301-306.
- McCALISTER, J. A. y TIMMER, V. R. (1998). Nutrient enrichment of white spruce seedlings during nursery culture and initial plantation establishment. *Tree Physiology* 18: 195-202.
- MAESTRE, F. T.; CORTINA, J.; BAUTISTA, S.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (2003). Small-scale environmental heterogeneity and spatio-temporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem. *Ecosystems* 6: 630-643.
- MARGOLIS, H. A. y BRAND, D. G. (1990). An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 375-390.
- MEDIAVILLA, S. y ESCUDERO, A. (2003). Mature trees versus seedlings: Differences in leaf traits and gas exchange patterns in three co-occurring Mediterranean oaks. *Annals of Forest Science* 60: 455-460.
- NAVARRO, R. M. y CALVO, J. (2002). Efecto de la fertilización con N sobre la arquitectura y el contenido de almidón en la raíz de brinzales de *Pinus halepensis* Mill.; *P. pinaster* Aiton y *P. pinea* L. *SCIENTIA Gerundensis* 26: 5-21.
- NAVARRO, R. M. y PALACIOS, G. (2004). Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 17: 199-204.
- NAVARRO, R. M. y PEMÁN, J. (1997). *Apuntes de producción de planta forestal*. Universidad de Córdoba. 267 pp.
- NAVARRO R. M.; RETAMOSA, M. J.; LÓPEZ, J.; DEL CAMPO, A. y SALMORAL, L. (2006). Nursery practices and field performance for the endangered Mediterranean species *Abies pinsapo* Boiss. *Ecological Engineering* (en prensa).
- OBENDORF, R. L.; DICKERMAN, A. M.; PFLUM, T. M.; KACALANOS, M. A. y SMITH, M. E. (1998). Drying rate alters soluble carbohydrates, desiccation tolerance, and subsequent seedling growth of soybean (*Glycine max* L. Merrill) zygotic embryos during in vitro maturation. *Plant Science* 132: 1-12.
- OCAÑA, L.; DOMÍNGUEZ, S.; CARRASCO, I.; PEÑUELAS, J. y HERRERO, N. (1997). Influencia del tamaño de la semilla y diferentes dosis de fertilización sobre el crecimiento y supervivencia en campo de cuatro especies forestales. En: *Actas del II Congreso Forestal Español*. Mesa 3: 461-466.
- PAUSAS, J. G.; BLADÉ, C.; VALDECANTOS, A.; SEVA, J. P.; FUENTES, D.; ALLOZA, J. A.; VILAGROSA, A.; BAUTISTA, S.; CORTINA, J. y VALLEJO, R. (2004). Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes: New perspectives for an old practice-a review. *Plant Ecology* 171: 209-220.
- POORTER, H. y GARNIER, E. (1996). Plant growth analysis: an evaluation of experimental design and computational methods. *Journal of Experimental Botany* 47: 1343-1351.
- PUTTONEN, P. (1997). Looking for the "silver bullet" - Can one test do it all?. *New Forests* 13: 9-27.



- RAMBAL, S. (1984). Water balance and pattern of root water uptake by a *Quercus coccifera* L. evergreen scrub. *Oecologia* 62: 18-25.
- RITCHIE, G. A. (1984). Assessing seedling quality, pp. 243-259. In: Duryea, M. L. and Landis, T. D. (Eds.): *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. Martinus Nijhoff Dr. W. Junk Publishers. The Hague.
- RUANO, J. R. (2003). *Viveros forestales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 281 pp.
- RUBIO, E.; VILAGROSA, A.; CORTINA, J. y BELLOT, J. (2001). Modificaciones morfofisiológicas en plantones de *Pistacia lentiscus* y *Quercus rotundifolia* como consecuencia del endurecimiento hídrico en vivero. Efectos sobre supervivencia y crecimiento en campo. IV Congreso Forestal Español. Granada 25-28 sept. 2001.
- SAMUELSON, L. J. (2000). Effects of nitrogen on leaf physiology and growth of different families of loblolly pine and slash pine. *New Forests* 19: 95-107.
- SEVA, J. P.; VALDECANTOS, A.; VILAGROSA, A.; CORTINA, J.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (2000). Seedling morphology and survival in some Mediterranean tree and shrub species, pp. 397-406. In *Mediterranean Desertification. Research results and policy implications*. vol. 2. EC Report EUR 19303. P. Balabanis, D. Peter, A. Ghazi & M. Tsogas (Eds.). Brussels.
- SEVA, J. P.; VILAGROSA, A.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J.; VALLEJO, V. R. y BELLOT, J. (1996). Mycorrhization et application du compost urbain pour l'amélioration de la survie et de la croissance des semis de *Quercus ilex* ssp. *ballota* en milieu sec. *Cahiers Options Méditerranéennes* 20: 105-121.
- SOUTH, D. B. (2000). Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. *Forestry and Wildlife Research Series N.º 1*. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama. 12 pp.
- SOUTH, D. B. y ZWOLINSKI, J. B. (1997). Transplant stress index: a proposed method of quantifying planting check. *New Forests* 13: 315-328.
- SUÁREZ, M. A.; VÁZQUEZ, F.; BASELGA, P.; TORRES, S. y CUEVAS, S. (1997). Efectos de distintos tratamientos en vivero en el arraigo y primer desarrollo en campo de plantas de *Quercus suber* L. y *Quercus rotundifolia* Lam. Efecto del protector. *Actas del II Congreso Forestal Español*. Mesa 3: 627-632.
- VALDECANTOS, A. (2001). Aplicación de fertilizantes orgánicos en la repoblación de zonas forestales degradadas de la Comunidad Valenciana. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante. 198 pp.
- VALDECANTOS, A.; VILAGROSA, A.; SEVA, J. P.; CORTINA, J.; VALLEJO, V. R. y BELLOT, J. (1996). Mycorrhization et application du compost urbain pour l'amélioration de la survie et de la croissance des semis de *Pinus halepensis* en milieu semiárido. *Cahiers Options Méditerranéennes* 20: 87-104.
- VILAGROSA, A. (2002). Estrategias de resistencia al déficit hídrico en *Pistacia lentiscus* L. y *Quercus coccifera* L. Tesis doctoral. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante, Alicante, España.
- VILAGROSA, A.; BELLOT, J.; VALLEJO, V. R. y GIL-PELEGRÍN, E. (2003). Cavitation, stomatal conductance, and leaf dieback in seedlings of two co-occurring Mediterranean shrubs during an intense drought. *Journal of Experimental Botany* 54: 2015-2024.
- VILAGROSA, A.; CATURLA, R.; HERNÁNDEZ, N.; CORTINA, J.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (2001). Reforestación en ambiente semiárido del SE peninsular. Resultados de las inves-



- tigaciones desarrolladas para optimizar la supervivencia y el crecimiento de especies autóctonas. IV Congreso Forestal Español. Granada 25-28 sept. 2001.
- VILAGROSA, A.; SEVA, J. P.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J.; ALLOZA, J. A.; SERRA-SOLSAS, I.; DIEGO, V.; ABRIL, M.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (1997a). Plantaciones para la restauración forestal en la Comunidad Valenciana. In: La Restauración de la Cubierta Vegetal en la Comunidad Valenciana. Cap. IX, pp. 435-548. CEAM.
- VILAGROSA, A.; SEVA, J. P.; VALDECANTOS, A.; HERNÁNDEZ, N.; CORTINA, J.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (1997b). Una nueva técnica viverística para la introducción de plantones de *Quercus* sp. en clima seco y semiárido. In: Montes del futuro: respuestas ante un mundo en cambio. G. Vega y M. H. Almeida (Eds.). SECF. Pamplona.
- VILLAR P.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J.; CARRASCO, I.; DOMÍNGUEZ, S. y RENILLA, I. (1997). Relaciones hídricas y potencial de raíces en plántulas de *Pinus halepensis* Mill. sometidas a diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico. Cuadernos de la S.E.C.F., 4: 81-92.
- VILLAR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E.; PEÑUELAS, J. y ZAZO, J. (2001). Influencia de la fertilización y el sombreado en el vivero sobre la calidad de la planta de *Quercus ilex* L. y su desarrollo en campo. Actas III Congreso Forestal Español, Mesa 3: 770-776.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- MANSOURIAN, S.; VALLAURI, D. y DUDLEY, N. (Eds.) (2005). Forest restoration in landscapes. Beyond planting trees. Springer Verlag-WWF.
- NAVARRO, R.; CASTILLO, V. y CORTINA, J. (Eds.) (2004). Actas de la III Reunión sobre Repoblaciones Forestales. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales 17.
- PERROW, M. R. y DAVY, J. (Eds.) (2002). Handbook of Ecological Restoration (vol. 1-2). Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- REY-BENAYAS, J. M.; ESPIGARES, T. y NICOLAU, J. M. (Eds.) (2003). Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares. Alcalá de Henares.
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL. SCIENCE & POLICY WORKING GROUP (2004). The SER International Primer on Ecological Restoration (Version 2, October, 2004). Disponible en: www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp
- VALLEJO, V. R. y ALLOZA, J. A. (Eds.) (1997). La Restauración de la Cubierta Vegetal en la Comunidad Valenciana. Fundación CEAM, Valencia.
- VALLEJO, V. R. y ALLOZA, J. A. (Eds.) (2004). Avances en el Estudio de la Gestión del Monte Mediterráneo. Fundación CEAM, Valencia.
- VALLEJO, V. R.; ARONSON, J.; PAUSAS, J. y CORTINA, J. (2005). Restoration of Mediterranean Woodlands. Chapter 14 in Restoration Ecology. The New Frontier. J. Van Andel and J. Aronson (Eds.). Blackwell Publ., Oxford.
- WHISENANT, S. G. (1999). Repairing damaged wildlands. Cambridge Univ. Press. Cambridge.



Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta

RAFAEL M. NAVARRO, ANTONIO DEL CAMPO y JORDI CORTINA

RESUMEN

La respuesta de la planta al establecimiento depende de varios factores relacionados, y cuya importancia relativa en el éxito final varía en función de las condiciones del lugar de plantación y de las técnicas empleadas. En este apartado se revisan los diferentes factores que influyen en el éxito de una repoblación, a partir de las experiencias publicadas, y se indican aquellas variables que presentan una mayor correlación con la supervivencia y el crecimiento, y su importancia relativa con respecto a la calidad de planta cuando existen estudios comparativos.

ASPECTOS BIEN CONOCIDOS

- *El éxito temprano de una repoblación está relacionado directamente con la evolución de las condiciones meteorológicas inmediatamente después del establecimiento.*
- *Los procedimientos de preparación de mayor intensidad tienden a mejorar el éxito de la plantación en clima mediterráneo.*
- *La fecha de plantación puede ser un factor determinante en el éxito de una repoblación en particular en climas con fuertes restricciones hídricas.*
- *La importancia de la calidad de planta en el éxito de una repoblación está directamente relacionada con el cuidado que se presente a otros factores, en particular el procedimiento de preparación y la fecha de plantación.*



ASPECTOS POCO CONOCIDOS

- *Sería necesario mejorar los estudios de evolución de variables climáticas en parcelas de ensayo y con carácter regional para establecer valores de referencia mínimos para el éxito del establecimiento, en particular de precipitación.*
- *Debería estudiarse el efecto de los procedimientos de preparación en la modificación del comportamiento hídrico del suelo, y en los cambios de las condiciones físicas, en particular la textura.*
- *No se conoce suficientemente la influencia de las condiciones de micrositio en el éxito temprano de repoblaciones en clima mediterráneo.*

1. INTRODUCCIÓN

A corto plazo, el propósito de cualquier lote de planta cultivado en vivero y destinado a repoblación es superar satisfactoriamente la fase de establecimiento. Sobre esta idea tan sencilla de adecuación al uso, se ha desarrollado el concepto de calidad de planta durante las últimas décadas. El periodo de establecimiento es variable, aunque generalmente se acepta que tiene una duración básica de dos años, con una mayor importancia del primero. En este periodo inicial, puede distinguirse una primera fase, especialmente crítica, en la cual el brinzal debe recuperarse del posible estrés sufrido durante su manejo y establecer el contacto entre sus raíces y el suelo, a fin de retomar las funciones vitales de absorción de agua y nutrientes en el nuevo ambiente (Margolis y Brand, 1990). Esto hace que los factores que afectan al estado hídrico de la planta en el momento de la plantación tengan una influencia decisiva en la supervivencia inicial (Burdett, 1990; Heiskanen y Rikala, 2000). En una segunda fase, tras el restablecimiento de las funciones fisiológicas de la planta, lo deseable es que ésta exhiba unos patrones de crecimiento y desarrollo adecuados a las condiciones de la estación, así como a la capacidad de la especie (este desarrollo morfológico cobra especial importancia en climas mediterráneos, donde la planta debe garantizarse el suministro hídrico antes de que llegue el primer verano). El mayor o menor éxito en la consecución de estos objetivos es lo que constituye la respuesta en plantación, tradicionalmente cuantificada en términos de supervivencia y crecimiento.

La respuesta en plantación o al establecimiento se ve afectada por multitud de factores que, en conjunto, son los que deben condicionar la elección de la calidad de planta y de la técnica repobladora. Según South (2000), estos factores son, en orden de importancia, las condiciones ambientales, el manejo de la planta, su morfología y su fisiología, a lo que habría que añadir los factores genéticos. La influencia de estos factores en el establecimiento ha recibido considerable atención de cara a una mejor predicción o interpretación de la supervivencia (Tesch *et al.*, 1993; Elliot y Vose, 1995; McTague y Tinus,



1996; McKay, 1997; Scheneider *et al.*, 1998; Navarro y Palacios, 2004). En bastantes casos se menciona la predominancia de los factores ambientales y de estación sobre el factor calidad de planta como principales responsables de la respuesta en plantación, aunque cuando se trabaja en unas mismas condiciones ambientales, la influencia del último suele ser definitiva. En cualquier caso, cada uno de estos factores afecta a otros, por lo que el estudio de la respuesta debe hacerse en un contexto que considere las posibles interacciones entre ellos (Roth y Newton, 1996; Ketchum y Rose, 2000; Navarro y Palacios, 2004).

En este capítulo se revisan los diferentes factores que influyen en el éxito de una repoblación, a partir de las experiencias publicadas, y se indican aquellas variables que presentan una mayor correlación con la supervivencia y el crecimiento, y su importancia relativa con respecto a la calidad de planta cuando existen estudios comparativos.

2. FACTORES QUE AFECTAN A LA RESPUESTA EN PLANTACIÓN

2.1. La calidad de la planta en la respuesta en plantación

La información presentada en las secciones siguientes y en la amplia bibliografía mencionada permite responder, en términos generales, de manera afirmativa a la pregunta de si existe una relación positiva entre la calidad de la planta y su comportamiento en el campo. En muchos casos esto ha permitido el desarrollo de estándares de calidad morfológicos y/o fisiológicos para numerosas especies en condiciones ecológicas muy diferentes (Dunsworth, 1997; Kooistra y Brazier, 1999; South, 2000; Menzies *et al.*, 2001; Stape *et al.*, 2001; del Campo y Navarro, 2004a, 2004b). En particular, las experiencias realizadas con especies mediterráneas son ampliamente desarrolladas y analizadas en las secciones posteriores, las cuales aportan datos concretos sobre estos aspectos.

2.2. Condiciones meteorológicas

La supervivencia de las plantas viene determinada por la evolución de las condiciones climáticas después de la plantación y durante todo el establecimiento, y esta dependencia, en el ámbito mediterráneo, se concreta en la existencia, en primer lugar, de precipitaciones que aseguren un arraigo inicial de la planta, y en segundo lugar, de un periodo vegetativo suficientemente largo, previo a la llegada del periodo estival seco. Gómez y Elena-Roselló (1997) sugieren estudiar las causas abióticas relacionadas con la pérdida de supervivencia en repoblaciones forestales, y recomiendan dos niveles de aproximación: causas meteorológicas directas y condiciones de estación que matizan las causas meteorológicas. Entre las primeras, estos autores proponen un conjunto de variables termo-pluviométricas para evaluar el grado de riesgo meteorológico para el éxito de una repoblación, así como un modelo de análisis de la variabilidad meteorológica respecto a la



incidencia de marras. Más recientemente Alloza y Vallejo (1999), estudiaron la correlación entre los porcentajes de marras y algunas variables climáticas. Aunque los resultados no fueron concluyentes, se observó una correlación positiva entre la duración del periodo seco (máximo número de días consecutivos con precipitación menor o igual a 5 mm) del año de plantación y el porcentaje de marras ($R^2 = 0,67$; $P < 0,001$).

Varios autores (Vilagrosa *et al.*, 1997b; Alloza y Vallejo, 1999; del Campo, 2002; Alloza, 2003) han relacionado la supervivencia inicial con el régimen de precipitaciones. Así, la escasez de precipitaciones en el periodo inmediatamente posterior a la plantación es el factor que produce mayor riesgo para la supervivencia de la planta en zonas mediterráneas (Alloza y Vallejo, 1999), en particular en aquéllas en que es posible el inicio de la actividad vegetativa durante el invierno. Los resultados obtenidos por del Campo (2002) con encina, alcornoque, algarrobo y acebuche indican que, dependiendo de la precipitación del año de plantación (año hidrológico), la respuesta en campo como función de la diferente calidad de varios lotes de planta se hace más acusada, siendo generalmente más contrastada la supervivencia en el año más seco. En esto coinciden con la propuesta de Simpson y Ritchie (1997) en el sentido de que la calidad de planta tiene una mayor influencia en la respuesta post-transplante cuando las condiciones son más limitantes.

Partiendo de algunas de las variables meteorológicas seleccionadas por del Campo (2002) para describir la influencia del clima en el establecimiento, se ha confeccionado una matriz de correlación compilando trabajos de diversos autores con información meteorológica y de establecimiento (Tabla 1). También se ha incluido en la matriz otras variables relevantes de la plantación a fin de aportar información para el desarrollo de los puntos siguientes de este capítulo. En esta matriz, las correlaciones entre variables cuantitativas se establecieron mediante el coeficiente de correlación de Pearson, y a través del coeficiente de correlación de Spearman para las no paramétricas (todas con $P < 0,05$). Los resultados para el caso de la meteorología indican que la supervivencia aparece correlacionada negativamente con la evapotranspiración acumulada hasta el mes de junio, y positivamente con la precipitación estival (junio-julio-agosto) (Tabla 1). Ambas variables presentan, igualmente, similares correlaciones con el crecimiento en diámetro, y en el caso de la precipitación estival, también con el crecimiento en altura. El resto de las variables no parece mostrar correlaciones de interés ni con la supervivencia ni con el crecimiento. La influencia observada de la evapotranspiración en la respuesta indica que el papel de los factores meteorológicos en la supervivencia normalmente va más allá de la simple precipitación, siendo necesario considerar otras variables climáticas como la temperatura, la humedad relativa o la radiación.



Tabla 1. Matriz de correlación entre diferentes variables de establecimiento de varias especies, y los valores de supervivencia y de crecimiento en campo. ^aRho de Spearman, ^bCorrelación de Pearson.

| Variable ⁰ | ^a Especie ¹ | ^a Fecha plantación ² | ^a Tipo de terreno ³ | ^a Tipo de preparación ⁴ | ^b ETACJUN ⁵ | ^b PMEDIA ⁶ | ^b PAÑO ⁷ | ^b PEST ⁸ | ^b PJUN ⁹ | ^b P3SEM ¹⁰ |
|-----------------------|-----------------------------------|--|---|---|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Supervivencia | 0,095 N = 56 | -0,711** N = 56 | 0,560** N = 56 | 0,266* N = 56 | -0,400** N = 44 | -0,420** N = 51 | -0,032 N = 46 | 0,472** N = 46 | -0,098 N = 46 | -0,007 N = 44 |
| Incr. Altura | -0,330 N = 30 | -0,085 N = 30 | -0,155 N = 30 | 0,202 N = 30 | -0,377 N = 22 | -0,195 N = 29 | 0,090 N = 24 | 0,441* N = 24 | 0,297 N = 24 | -0,375 N = 22 |
| Incr. diámetro | -0,290 N = 27 | -0,397* N = 27 | 0,020 N = 27 | 0,329 N = 27 | -0,625** N = 22 | -0,403* N = 26 | 0,234 N = 23 | 0,692** N = 23 | 0,427* N = 23 | -0,315 N = 22 |

⁰ Ocaña *et al.*, 1997; Domínguez Lerena *et al.*, 2001; Navarro y Palacios, 2004; Palacios y Navarro, 2001; Planelles *et al.*, 2001; Vilagrosa *et al.*, 2001; Villar-Salvador *et al.*, 2001; Zazo *et al.*, 2001; Del Campo, 2002; Oliet *et al.*, 2002; ¹ Algarrobo, alcornoque, acebuche, pino carrasco, pino negral, pino piñonero, lentisco y araar; ² Temprana (noviembre-diciembre), media (enero-febrero), tardía (marzo-abril) (termo-meso mediterráneo); ³ Agrícola-Forestal; ⁴ Laboreo, Ahoyado, Retroexcavadora y subsolado; ⁵ ETACJUN=Evapotranspiración acumulada desde la fecha de plantación hasta el mes de junio del año de plantación; ⁶ PMEDIA = Precipitación media de la estación INM mas próxima; ⁷ PAÑO = precipitación del año hidrológico de plantación; ⁸ PEST = precipitación estival durante los meses de junio-julio y agosto del año de plantación; ⁹ PJUN = precipitación acumulada desde la fecha de plantación hasta el mes de junio del año de plantación; ¹⁰ P3SEM = precipitación acumulada de las tres semanas después de plantación. Todas las evapotranspiraciones son por el método Penman-Monteith-FAO (ETo).



2.3. Condiciones edáficas

La respuesta inicial al establecimiento parece estar también relacionada con las características edáficas de la estación. En particular, muchos de los modelos de potencialidad del terreno para repoblaciones forestales dan una gran importancia a estas variables (Bonffils, 1978). En condiciones mediterráneas se ha encontrado que la proporción de partículas finas del suelo (limos finos + arcillas) se correlaciona negativamente con la supervivencia en varias especies mediterráneas entre las que se encuentra la carrasca (*Quercus ilex* L. subs. *ballota* (Desf.) Samp) (Vilagrosa *et al.*, 1997a; Vilagrosa *et al.*, 2001). Alloza (2003) obtuvo bajo una amplia variedad de condiciones experimentales (especies, calidades de planta, tipos de preparación del terreno, distintos años, etc.) una mayor mortalidad para plantaciones realizadas sobre calizas respecto de aquéllas sobre otras litologías de la Comunidad Valenciana. También en Valencia, del Campo *et al.* (2005a) encontraron importantes variaciones de la supervivencia de pino rodeno (*Pinus pinaster* Aiton.) según la textura del suelo, aunque en cada localización se mantuvo el orden relativo entre los distintos lotes de pino ensayados, indicando que la calidad de planta se mantenía constante para distintas estaciones. Otras variables edáficas, como el porcentaje de gravas o la profundidad del suelo (especialmente profundidades cercanas a 30 cm.) pueden afectar al comportamiento de los brinzales introducidos y de las posteriores masas forestales, incluso a partir de variaciones relativamente modestas (Olarieta *et al.*, 2000; Maestre *et al.*, 2003a).

Los terrenos objeto de repoblación sobre los que se realizaron los distintos trabajos seleccionados en la Tabla 1 pueden dividirse en dos tipos de uso previo del suelo: agrícolas (normalmente con condiciones edáficas menos limitantes), y forestales (con condiciones edáficas más limitantes). En los suelos agrícolas se observó una supervivencia significativamente mayor que en los suelos forestales ($N=56$, $P<0,001$), mientras que el crecimiento no presentó una correlación significativa con el tipo de uso.

2.4. Procedimientos de preparación del terreno

Otro aspecto que influye en la supervivencia es el tipo de preparación del terreno, en particular en climas mediterráneos, donde éste influye directamente en el volumen de agua infiltrado en la zona radical del plantón (Querejeta *et al.*, 2001; Castillo *et al.*, 2001; Ruiz *et al.*, 2001a; Bocio *et al.*, 2001; Barberá *et al.*, 2005). En un trabajo de revisión, South *et al.* (2001) proponen una serie de modelos teóricos del efecto combinado de la calidad de planta y el tipo de preparación.

Las preparaciones superficiales, como los ahoyados manuales remueven poco volumen de suelo y ello puede obstaculizar el desarrollo radical (Serrada, 1993), aunque en ocasiones son la única alternativa (Fig. 1). Del análisis de los trabajos estudiados, que incluyen entre sus tratamientos preparaciones manuales y mecanizadas, se observó que los valores mayores de supervivencia se obtienen con las labores más intensas de preparación del suelo (Quereje-





Figura 1. Ahoyado maual en terrenos con fuertes limitaciones para las preparaciones mecanizadas por la presencia de afloramientos rocosos y pedregosidad superficial (Sierra de los Bosques, Chiva, Valencia). En estas situaciones es muy aconsejable cuidar las fechas de plantación, la calidad de la planta, la meteorología de la campaña (plantar con tempero) y la presencia de micrositos favorecidos por una mayor profundidad del suelo y recepción de escorrentías.

ta *et al.*, 2001; Alloza, 2003; Barberá *et al.*, 2005). Para los casos estudiados en este trabajo (Tabla 1), se han encontrado relaciones significativas entre la supervivencia y el procedimiento de preparación, siendo mayor la supervivencia para las preparaciones del terreno de mayor intensidad (retroexcavadora y subsolados) ($N=56$; $P=0,048$) (Tabla 1). Esta variable, sin embargo, no presentó una correlación significativa con el crecimiento.

La interacción entre la fecha de plantación y el procedimiento de preparación parece indicar que las limitaciones impuestas por la irregularidad de la precipitación después de la plantación pueden verse compensadas por la intensidad de la labor (Navarro y Palacios, 2004). En todas las fechas de plantación estudiadas, estos autores encontraron que el subsolado obtuvo valores de supervivencia muy superiores al ahoyado manual. En esas condiciones de preparación, parece que la escasa modificación de las variables ambientales que inducen los ahoyados manuales (Pemán y Navarro, 1996), y el efecto positivo de las preparaciones de cierta intensidad (Querejeta *et al.*, 2001; Ruiz *et al.*, 2001a),



influyen positivamente y de forma significativa en la supervivencia, con valores superiores al 75% en las fechas de plantación más tempranas (noviembre-enero) en clima meso-mediterráneo (Fig. 2). Sin embargo, se observa claramente que la preparación no es capaz de corregir los errores de plantación derivados de una fecha muy tardía, ya que la mayor disponibilidad de agua en preparaciones intensas no compensa la reducción en la duración del periodo vegetativo pre-estival.



Figura 2. Efecto duradero de la preparación del terreno en repoblaciones de pino silvestre en la Sierra del Pobo (Teruel).

2.5. Fecha de plantación

La fecha de plantación ha sido considerado uno de los factores de mayor importancia en la supervivencia al final del primer año (Royo *et al.*, 2000; Navarro y Palacios, 2004). En trabajos realizados con especies mediterráneas se ha encontrado que las plantaciones realizadas durante el periodo entre noviembre y enero, parecen asegurar el éxito de la repoblación, pero un retraso excesivo en la fecha de plantación, compromete la supervivencia final, independientemente de la calidad del resto de las labores, y en particular independientemente del procedimiento de preparación (Navarro y Palacios, 2004). Los resultados



de estos autores coinciden parcialmente con los obtenidos por Royo *et al.* (2000), que encontraron que la época de plantación con elevadas posibilidades de supervivencia (>90%) para pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.), se extiende desde primeros de noviembre a primeros de marzo en condiciones meso-mediterráneas (Valencia), periodo que puede ser excesivo en condiciones termo-mediterráneas con elevada demanda evapotranspirativa en primavera. No obstante, estos resultados pueden variar con la especie; así, Pardos *et al.* (2003) obtuvieron resultados para pino carrasco similares a los trabajos anteriores (mayor supervivencia en plantaciones tempranas) pero no encontraron dependencia entre la supervivencia de encina y la fecha de plantación, aunque sí entre ésta y el crecimiento en altura a los dos años, siendo éste mayor en los tratamientos con plantación más tardía.

2.6. Control de la vegetación herbácea

Las plantaciones forestales en terrenos agrícolas se caracterizan por la presencia de un importante banco de semillas en el suelo, lo que unido a su distribución espacial y la periodicidad de las labores, favorece la colonización de vegetación herbácea. La competencia ejercida por esta vegetación suele ser la primera causa de pérdida de planta en terrenos agrícolas, con el consiguiente gasto en reposición de marras, y el deficiente desarrollo vegetativo de las que sobreviven (Navarro y Saavedra, 1997; Navarro *et al.*, 2005a) (Fig. 3). Los procedimientos básicos que pueden utilizarse para controlar la vegetación en plantaciones forestales son el laboreo (o escardas manuales), la aplicación de herbicidas (según diferentes técnicas) y el uso de protectores horizontales (acolchados o *mulches*). Todos ellos permiten, en mayor o menor medida, manejar la vegetación, seleccionando y favoreciendo el desarrollo de las especies más interesantes para defender el suelo de la erosión, o reducir las poblaciones de las especies más competitivas, agresivas o de escaso valor ambiental. Actualmente el laboreo es el método más utilizado en forestación de explotaciones agrarias, lo cual no supone más que una generalización de lo que ocurre en los terrenos agrícolas (Navarro y Zaragoza, 2001).

El uso de herbicidas, localizado y/o combinado con otras técnicas, se ofrece como una alternativa de notable interés, ya que en la mayor parte de las repoblaciones forestales no es necesario ni conveniente eliminar totalmente la vegetación espontánea. La experiencia en el uso de herbicidas en plantaciones forestales es relativamente reducida en comparación con la que existe para cultivos agrícolas (Fernández-Cavada *et al.*, 1995; Jiménez y Cabezuelo, 1995; Peñuelas *et al.*, 1997; Jiménez, 1999; Jiménez y Saavedra, 1999; Ortega *et al.*, 1999; Ruiz *et al.*, 2001b; Navarro *et al.*, 2005a).

Los protectores horizontales representan una técnica alternativa para el establecimiento de repoblaciones. Pueden producir efectos beneficiosos relacionados con la mejora de las condiciones de humedad del suelo, la reducción de la competencia por vegetación arvense, la disminución de la transpiración de la planta, así como la regulación de la temperatura del suelo (van Lerberghe y Gallois, 1997). Sin embargo, no está muy claro su efecto en todos los casos, presentando algunas limitaciones en suelos pesados, y en climas con





Figura 3. Labores de mantenimiento del suelo y control de la vegetación en terrenos con fuerte competencia herbácea. Comparación entre dos forestaciones de pino salgareño en la Serranía de Cuenca realizada en las mismas condiciones ecológicas, pero con diferente intensidad de cuidados culturales.

fuertes restricciones hídricas (Navarro *et al.*, 2005b). En términos de supervivencia, los resultados no son concluyentes, en algunos casos se logra una mejora considerable (Haywood, 2000), mientras que en otros la supervivencia no se diferencia significativamente del control (Oliet *et al.*, 1997; Navarro *et al.*, 2005b), debido posiblemente a que en condiciones climáticas con tendencia a la aridez se reduce considerablemente el efecto beneficioso del tratamiento por la escasa competencia y la evolución de la humedad del suelo.

Cabe tener en cuenta, no obstante, que las interacciones entre la vegetación pre-existente y la vegetación introducida no necesariamente han de ser negativas. En el balance de interacciones positivas y negativas, a menudo prevalecen las primeras en terrenos de mayor vocación forestal, y con vegetación menos competitiva que las herbáceas (propias de suelos agrícolas), al menos a corto plazo y en medios áridos. En esta situación, existen ejemplos de fenómenos de facilitación, especialmente relacionados con modificaciones climáticas (como la reducción de la radiación solar recibida) (Maestre *et al.*, 2001; Castro *et al.*, 2002; Maestre *et al.*, 2003b; Castro *et al.*, 2004). Estas interacciones son dinámicas y complejas, por lo que pueden depender de la especie y de las condiciones edáficas y climáticas, variando de un año a otro y de una repoblación a otra (Maestre *et al.*, 2003a).



2.7. Heterogeneidad espacial

Las condiciones ambientales (topografía, edafología, climatología,...) pueden llegar a ser extraordinariamente variables no sólo entre localizaciones o rodales, escala tradicionalmente empleada en las decisiones de restauración, sino también a escalas inferiores (Maestre *et al.*, 2003a), lo que hace conveniente considerar el concepto de micrositio como un factor más que afecta al establecimiento. Así, algunos trabajos evidencian que dentro de un mismo rodal de plantación puede existir incluso mayor variación ambiental que entre diferentes rodales (Alloza, 2003; del Campo *et al.*, 2005b), lo que a su vez origina que la respuesta en plantación muestre notables diferencias cuando se analiza dentro del rodal. Determinados micrositios juegan un papel muy importante en la regeneración, supervivencia y crecimiento de plantas individualmente (Maestre y Cortina, 2002; Elmarsdottir *et al.*, 2003), siendo las propiedades físicas e hídricas del suelo, las que normalmente presentan mayor variabilidad, aunque también las condiciones de luz y nutrientes son determinantes (Setterfield, 2001).

La identificación de estos micrositios o puntos de plantación donde se presenta una conjunción favorable de factores ambientales (luminosidad, infiltración de escorrentías superficiales, microtopografía, etc.) podría suponer una importante mejora del establecimiento de plantaciones; especialmente en estaciones desfavorables con abundancia de afloramientos rocosos y presencia de suelo embolsado, donde las preparaciones del terreno mecanizadas no son viables. Sin embargo, los estudios sobre el efecto de la variabilidad espacial en el establecimiento de repoblaciones forestales mediterráneas no son muy abundantes y su aplicación práctica es muy limitada, aunque sí son suficientes como para constatar su importancia.

3. CONCLUSIONES

En general, para comprender el establecimiento de brinzales forestales es necesario conocer mejor la expresión y la dependencia de las distintas características de la planta, su evolución en el tiempo y la capacidad del brinzal para ajustarlas ante situaciones cambiantes como las que impone la plantación. Los resultados obtenidos hasta el momento evidencian la complejidad del problema debido a las interacciones múltiples entre los atributos de calidad de planta (Capítulo 4), unido a los restantes factores ambientales que condicionan el establecimiento (Capítulo 2), lo que hace que las indicaciones sobre la importancia de cada uno de los factores considerados individualmente puedan ser contradictorias. No obstante, parece confirmarse la hipótesis de South (2000) relativa a la mayor importancia de los factores de estación, en particular el procedimiento de preparación y la fecha de plantación (y su modificación mediante la técnica repobladora) sobre los valores absolutos de supervivencia y crecimiento frente a la calidad de planta, que tiene un peso mayor cuando se mantienen constantes los factores anteriores. En cualquier caso, es preciso profundizar en el conocimiento de estas interrelaciones, de forma que se pueda contribuir a mejorar el establecimiento de las repoblaciones.



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de ASOCIAFLOR, y de los viveros Paisajes del Sur (Granada), Andarax (Almería), Sierra Norte (Sevilla), Ponce Lajara, Zulaime (Granada), la Red de Viveros de Andalucía de la Consejería de Medio Ambiente y los viveros públicos de Alicante (Conselleria de Territorio y Vivienda, Generalitat Valenciana), por su generosidad a la hora de compartir con nosotros su experiencia, su ilusión por producir planta de la mejor calidad posible, y sobre todo por su amistad. El trabajo de JC ha sido financiado por el proyecto CREOAK (UE DGXII 5.º PM, QLRT-2001-01594) y el proyecto VARQUS (Ministerio de Ciencia y Tecnología, CGL2004-04325/BOS).

REFERENCIAS

- ALLOZA, J. A. (2003). Análisis de repoblaciones forestales en la Comunidad Valenciana. Desarrollo de criterios y procedimientos de evaluación. Tesis Doctoral. 301 pp. Univ. Politécnica de Valencia. Valencia.
- ALLOZA J. A. y VALLEJO, R. (1999). Relación entre las características meteorológicas del año de plantación y los resultados de las repoblaciones. *Ecología* 13: 173-187.
- BARBERÁ, G. G.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, F.; ÁLVAREZ-ROGEL, J.; ALBALADEJO, J. y CASTILLO, V. (2005). Short and intermediate-term effects of site and plant preparation techniques on reforestation of a Mediterranean semiarid ecosystem with *Pinus halepensis* Mill. *New Forests*, 29: 177-198.
- BONFILS, P. (1978). Le classement des sols en vue de la reforestation en zone méditerranéenne. *Revue Forêstiere Française*, vol. 30, n.º 4, 271-282.
- BOCIO PERALTA, I.; DE SIMÓN NAVARRETE, E.; NAVARRO REYES, F. B. y RIPOLL MORALES, M. A. (2001). Efectos de diferentes procedimientos de preparación del suelo en la forestación de tierras agrarias. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 317-322.
- BURDETT, A. N. (1990). Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 415-427.
- CASTILLO, V.; QUEREJETA, J. y ALBADALEJO, J. (2001). Disponibilidad hídrica en repoblaciones de *Pinus halepensis* Mill. en medios semiáridos: efectos de los métodos de preparación del suelo. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 94-99.
- CASTRO, J.; ZAMORA, R.; HÓDAR, J. A. y GÓMEZ, J. M. (2002). The use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains. *Restoration Ecology* 10: 297-305.
- CASTRO, J.; ZAMORA, R.; HÓDAR, J. A.; GÓMEZ, J. M. y GÓMEZ-APARICIO, L. (2004). Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: a 4-year study. *Restoration Ecology* 12: 352-358.
- DEL CAMPO, A. D. (2002). Régimen de cultivo, desarrollo en vivero, calidad de planta y respuesta al establecimiento en cuatro especies de frondosas mediterráneas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 310 pp.
- DEL CAMPO, A. D. y NAVARRO, R. M. (2004a). Calidad de lotes comerciales de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.). Evaluación de su respuesta en campo. Cuadernos de la S.E.C.F. 17: 35-42.



- DEL CAMPO, A. D. y NAVARRO, R. M. (2004b). Calidad de lotes comerciales de acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.). Evaluación de su respuesta en campo. Cuadernos de la S.E.C.F. 17: 43-49.
- DEL CAMPO, A. D.; HERMOSO, J.; IBÁÑEZ, A. y NAVARRO, R. M. (2005a). Respuesta pos-trasplante y evolución del potencial hídrico en plantación de *Pinus pinaster* Ait. en varias localizaciones de Valencia. En: IV Congreso Forestal Español. Mesa 2. Zaragoza 26-30 Sep. Vol Resúmenes + CD. p. 214 (8 pp).
- DEL CAMPO, A. D.; HERMOSO, J.; CABRERA, A. M.; IBÁÑEZ, A. J. y NAVARRO, R. M. (2005b). Influencia de la variación local de la estación en la restauración forestal. Cuadernos de la S.E.C.F. 20: 79-85.
- DOMÍNGUEZ-LERENA, S.; MURRIAS, G.; HERRERO, N. y PEÑUELAS, J. L. (2001). Comparación del desarrollo de ocho especies mediterráneas durante su primer año en campo y su relación con los parámetros funcionales de las plantas. Actas del III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 75-81.
- DUNSWORTH, G. B. (1997). Plant quality assessment: an industrial perspective. *New Forests* 13: 439-448.
- ELLIOTT, K. J. y VOSE, J. M. (1995). Evaluation of the competitive environment for white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings planted on prescribed burn sites in the southern Appalachians. *Forest Science* 41: 513-530.
- ELMARSDOTTIR, A.; ARADOTTIR, A. L. & TRILICA, M. J. (2003). Microsite availability and establishment of native species on degraded and reclaimed sites. *Journal of Applied Ecology*, 40: 815-823.
- FERNÁNDEZ-CAVADA S.; COSCULLUELA J.; SOPEÑA J. M. y ZARAGOZA C. (1995). Primeros resultados de un ensayo de herbicidas en vivero de *Pinus halepensis* y *P. pinaster*. Actas Congreso Sociedad Española de Malherbología. Huesca. 297-301.
- GÓMEZ, V. y ELENA-ROSELLÓ, R. (1997). Investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. Cuadernos de la S.E.C.F. 4: 13-25.
- HAYWOOD, J. D. (2000). Mulch and hexazinona herbicide shorten the time longlife pine seedlings are in the grass stage and increase height growth. *New Forests* 19: 279-290.
- HEISKANEN, J. y RIKALA, R. (2000). Effects of peat-based container media on establishment of scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings after transplanting in contrasting water conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 49-57.
- JIMÉNEZ, M. (1999). Selectividad de plantones de forestales. XIII reunión Grupo de Trabajo Fitosanitario de Malas Hierbas y Herbicidas de las CCAA. Gerona. 68-70.
- JIMÉNEZ, M. y CABEZUELO, P. (1995). Evaluación de la fitotoxicidad de herbicidas sobre plantones de *Quercus rotundifolia* Lam. (Encina). Actas Congreso 1995 de la Sociedad Española de Malherbología. Huesca. (225-228).
- JIMÉNEZ, M. y SAAVEDRA, M. (1999). Selectividad de herbicidas en nuevas plantaciones de *Quercus ilex* y *Pinus halepensis*. Actas Congreso Sociedad Española de Malherbología. Logroño. 347-352.
- KETCHUM, J. S. y ROSE, R. (2000). Interaction of initial seedling size, fertilization and vegetation control. En: 21st Forest Vegetation management conference. Redding, Jan 18-20, 2000. CA. pp. 63-69.
- KOOISTRA, C. y BRAZIER, D. (1999). Seedling standards and the need for them. En: Landis, T. D. y Barnett, J. P. (tech. coords.). National proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. GTR-SRS- 25. Ashville, NC: USDA Forest Service Southern Research Station: 111-115 pp.
- MAESTRE, F. T. y J. CORTINA (2002). Spatial patterns of surface soil properties and vegetation in a Mediterranean semi-arid steppe. *Plant and Soil* 241: 279-291.



- MAESTRE, F. T.; BAUTISTA, S.; CORTINA, J., y BELLOT, J. (2001). Potential for using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications* 11: 1641-1655.
- MAESTRE, F. T.; CORTINA, J.; BAUTISTA, S.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (2003a). Small-scale environmental heterogeneity and spatial-temporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem. *Ecosystems* 6: 630-643.
- MAESTRE, F. T.; BAUTISTA, S. y CORTINA, J. (2003b). Positive, negative and net effects in grass-shrub interactions in Mediterranean semiarid grasslands. *Ecology* 84: 3186-3197.
- MARGOLIS, H. A. y BRAND, D. G. (1990). An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 375-390.
- McKAY, H. M. (1997). A review of effect of stresses between lifting and planting on nursery stock quality and performance. *New Forests* 13: 369-399.
- McTAGUE, J. P. y TINUS, R. W. (1996). The effects of seedling quality and forest site weather on field survival of ponderosa pine. *Tree Planters' notes* 47: 16-23.
- MENZIES, M. I.; HOLDEN, D. G. y KLOMP, B. K. (2001). Recent trends in nursery practice in New Zealand. *New Forests* 22: 3-17.
- NAVARRO, R. M. y SAAVEDRA, M. (1997). El laboreo de conservación en la forestación de tierras agrarias. En: García Torres, L. y González Fernández, P. (Eds.). *Agricultura de Conservación. Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*. Proyecto Life. AELC/SV. 327-346 pp.
- NAVARRO, R. M. y ZARAGOZA, C. (2001). Uso de herbicidas en el mantenimiento del suelo en repoblaciones forestales. En: De Prado, R. L. y Jorrián, J. (Eds.). *Uso de herbicidas en la agricultura del siglo XXI*. Universidad de Córdoba. 197-218 pp.
- NAVARRO, R. M. y PALACIOS, G. (2004). Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 17: 199-204.
- NAVARRO, R. M.; FRAGEIRO, B.; CEACEROS, C.; DEL CAMPO, A. y DE PRADO, R. (2005a). Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* Desf. Samp. Using different weed control strategies in Southern Spain. *Ecological Engineering* 25: 332-342.
- NAVARRO, R. M.; MORENO, J.; PARRA, M. A. y GUZMÁN, J. R. (2005b). Utilización de tubos invernaderos, mulch plásticos y polímeros en el establecimiento de encina y alcornoque en el semiárido almeriense. *ITEA* 101: 129-134.
- OCAÑA, L.; DOMÍNGUEZ, S.; CARRASCO, I.; PEÑUELAS, J. y HERRERO, N. (1997). Influencia del tamaño de la semilla y diferentes dosis de fertilización sobre el crecimiento y supervivencia en campo de cuatro especies forestales. *Actas del II Congreso Forestal Español*. Mesa 3: 461-466.
- OLARIETA, J. R.; USÓN, A.; RODRÍGUEZ, R.; ROSA, M.; BLANCO, R. y ANTÚNEZ, M. (2000). Land requirements for *Pinus halepensis* Mill. growth in a plantation in Huesca, Spain. *Soil Use and Management* 16: 88-92.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; LÓPEZ, M. y ARTERO, F. (1997). Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 4: 69-79.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; LÓPEZ, M. y ARTERO, F. (2002). Soil water content and water relations in planted and naturally regenerated *Pinus halepensis* Mill. seedlings during the first year in semiarid conditions. *New Forests* 23: 31-44.
- ORTEGA, J.C.; PEÑUELAS, J.; MONTERO, G. y GARCÍA-BAUDIN, J. M. (1999). Respuesta de *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster* y *Pinus pinea*, a herbicidas: resultados preliminares. *Montes* 53: 83-87.



- PALACIOS, G. y NAVARRO, R. M. (2001). Caracterización de la calidad de planta en vivero de siete procedencias de pino piñonero (*Pinus pinea* L.). Actas III Congreso Forestal Español, Mesa 3: 854-860.
- PARDOS, M.; ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Effect of nursery location and out-planting date on field performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* seedlings. *Forestry* 76 (1): 67-81.
- PEMÁN, J. y NAVARRO, R. M. (1996). Repoblaciones Forestales. Universidad de Lérida y Universidad de Córdoba, 400 pp. Lérida.
- PEÑUELAS, J.; OCAÑA, L.; DOMÍNGUEZ, S. y RENILLES, I. (1997). Experiencias sobre el control de la competencia herbácea en repoblaciones en terrenos agrícolas abandonados. Resultados de tres años de campo. Cuadernos de la S.E.C.F. 4: 113-118.
- PLANELLES, R.; OLIET, J. A.; ARTERO, F. y LÓPEZ, M. (2001). Efecto de distintas dosis N-P-K sobre la calidad funcional de planta de *Ceratonia siliqua*. Respuesta en plantación. Actas III Congreso Forestal Español, Mesa 3: 599-605.
- QUEREJETA, J.; ROLDÁN, A.; ALBALADEJO, J. y CASTILLO, V. (2001). Soil water availability improved by site preparation in a *Pinus halepensis* afforestation under semiarid climate. *Forest Ecology and Management* 149: 115-128.
- ROTH, B. E. y NEWTON, M. (1996). Survival and growth of Douglas-fir relating to weeding, fertilization and seed source. *Western Journal of Applied Forestry* 11: 62-69.
- ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2000). Efecto de la fecha de plantación sobre la supervivencia y el crecimiento del pino carrasco. Cuadernos de la S.E.C.F. 10: 57-62.
- RUIZ, F.; SORIA, F. y TOVAL, G. (2001a). Ensayos de preparación del terreno para el establecimiento de masas clonales de *Eucaliptus globulus* (Labill.) en distintos suelos de la provincia de Huelva. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 117-124.
- RUIZ, J.; NAVARRO, R. M. y DE PRADO, R. (2001b). Efecto del glifosato, oxifluorfen, simazina, paraquat+dicuat y tiazopir sobre plantaciones de algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.). En: De Prado, R. L. y Jorrián, J. (Eds.). Uso de herbicidas en la agricultura del siglo XXI. Universidad de Córdoba. 497-502 pp.
- SCHENEIDER, W. G.; KNOWE, S. A. y HARRINGTON, T. B. (1998). Predicting survival of planted douglas-fir and ponderosa pine on dry, low-elevation sites in southwestern Oregon. *New Forests* 15: 139-159.
- SERRADA HIERRO, R. (1993). Apuntes de repoblaciones forestales. Fundación Conde del Valle de Salazar. ETSIM, Madrid. 398 pp.
- SETTERFIELD, S. A. (2001). Seedling establishment in an Australian tropical savanna: effects of seed supply, soil disturbance and fire. *Journal of Applied Ecology* 39: 949-959.
- SIMPSON, D. G. y RITCHIE, G. A. (1997). Does RGP predict field performance? A debate. *New Forests* 13: 253-277.
- SOUTH, D. B. (2000). Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. *Forestry and Wildlife Research Series N.º 1*. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama. 12 pp.
- SOUTH, D. B.; ROSE, R. W. y McNABB, K. L. (2001). Nursery and site preparation interaction research in the United States. *New Forests* 22: 43-58.
- STAPE, J. L.; MORAES GONÇALVES, J. L. y GONÇALVES, A. N. (2001). Relationships between nursery practices and field performance for *Eucaliptus* plantations in Brazil. *New Forests* 22: 19-41.



- TESCH, S. D.; KORPELA, E. J. y HOBBS, S. D. (1993). Effects of sclerophyllous shrub competition on root and shoot development and biomass partitioning of Douglas-fir seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1415-1426.
- VAN LERBERGHE y GALLOIS (1997). Les objectifs culturaux du paillage et ses conséquences. *Fôret Enterprise* 116: 26-30.
- VILAGROSA, A.; SEVA, J. P.; VALDECANTOS, A.; CORTINA, J.; ALLOZA, J. A.; SERRASOLAS, I.; DIEGO, V.; ABRIL, M.; FERRÁN, A.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (1997a). Plantaciones para la restauración forestal en la Comunidad Valenciana. En: Vallejo, V. R. (Ed.). *La restauración de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana*. CEAM, Valencia. pp. 435-556.
- VILAGROSA, A.; SEVA, J. P.; VALDECANTOS, A.; HERNÁNDEZ, N.; CORTINA, J.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (1997b). Una nueva técnica viverística para la introducción de plantones de *Quercus* spp. en clima seco y semiárido. *Actas del II Congreso Forestal Español*. Mesa 3: 667-672.
- VILAGROSA, A.; CATURLA, R. N.; HERNANDEZ, N.; CORTINA, J.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (2001). Reforestación en ambiente semiárido del sureste peninsular. Resultados de las investigaciones desarrolladas para optimizar la supervivencia y el crecimiento de especies autóctonas. *Actas del III Congreso Forestal Español*, Mesa 3: 213-219.
- VILLAR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E.; PEÑUELAS, J. y ZAZO, J. (2001). Influencia de la fertilización y el sombreado en el vivero sobre la calidad de la planta de *Quercus ilex* L. y su desarrollo en campo. *Actas III Congreso Forestal Español*, Mesa 3: 770-776.
- ZAZO, J.; PINAZO, O.; PLANELLES, R.; VIVAR, A.; CORNEJO, L. y LÓPEZ, M. (2001). Estudio de la influencia de la fertilización nitrogenada e iluminación sobre atributos morfológicos y fisiológicos de brinzales de *Q. suber* L. cultivado en vivero. Resultados tras el primer año de campo. *Actas III Congreso Forestal Español*, Mesa 3: 777-783.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- ALLOZA J. A. y VALLEJO, R. (1999). Relación entre las características meteorológicas del año de plantación y los resultados de las repoblaciones. *Ecología* 13: 173-187.
- CASTILLO, V.; QUEREJETA, J. y ALBADALEJO, J. (2001). Disponibilidad hídrica en repoblaciones de *Pinus halepensis* Mill. en medios semiáridos: efectos de los métodos de preparación del suelo. *III Congreso Forestal Español*. Mesa 3: 94-99.
- GÓMEZ, V. y ELENA-ROSELLÓ, R. (1997). Investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 4: 13-25.
- MAESTRE, F. T.; CORTINA, J.; BAUTISTA, S.; BELLOT, J. y VALLEJO, V. R. (2003a). Small-scale environmental heterogeneity and spatial-temporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem. *Ecosystems* 6: 630-643.
- NAVARRO, R. M. y PALACIOS, G. (2004). Efecto de la calidad de planta, el procedimiento de preparación y la fecha de plantación en la supervivencia de una repoblación de *Pinus pinea* L. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 17: 199-204.
- ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2000). Efecto de la fecha de plantación sobre la supervivencia y el crecimiento del pino carrasco. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 10: 57-62.
- SOUTH, D. B.; ROSE, R. W. y MCNABB, K. L. (2001). Nursery and site preparation interaction research in the United States. *New Forests* 22: 43-58.





Características genéticas de los materiales de reproducción. Influencia sobre la calidad de planta

RICARDO ALÍA

RESUMEN

En los programas de restauración ecológica es necesario tener en cuenta las características genéticas de los materiales de reproducción (semillas, plantas o partes de plantas) y de los materiales de base de los que éstos se obtienen para asegurar a largo plazo las funciones de las plantaciones en ambientes mediterráneos (económicas, paisajísticas, recreativas, ecológicas y sociales). Cabe destacar el origen (y procedencia), su diversidad genética, la ganancia genética que representan para caracteres de interés, y los efectos de la transferencia de los materiales a ambientes distintos a aquellos en los que se han obtenido. En especies forestales poco mejoradas como suelen ser las mediterráneas, el origen determina muchas de las características relacionadas con la adaptación de las plantaciones. Además, un uso correcto de los materiales de reproducción debe basarse en conseguir los objetivos perseguidos sin poner en riesgo los recursos genéticos de las especies.

ASPECTOS BIEN CONOCIDOS

- *La normativa sobre comercialización de materiales forestales de reproducción (RD 289/03) rige el comercio de frutos, semillas, plantas y partes de plantas. Esta legislación es de obligado cumplimiento para numerosas especies forestales mediterráneas.*
- *Las especies forestales mediterráneas son muy diversas genéticamente y presentan diferencias genéticas entre poblaciones. Para tener en cuenta esta variación se definen las regiones de procedencia de las especies forestales como unidades básicas para la comercialización.*
- *Los distintos tipos de materiales de base de los que se obtienen los frutos, semillas, plantas o partes de plantas difieren en características que determinan la calidad de estos materiales de reproducción y dan lugar a distintas categorías de estos materiales (identificado, seleccionado, cualificado o controlado) según la información disponible sobre los materiales de base.*
- *Muchas de las características relacionadas con el crecimiento y la adaptación de las especies están sujetos a control genético, y se ha de tener en cuenta para un uso correcto de los materiales de reproducción.*



ASPECTOS POCO CONOCIDOS

- *Se desconocen los patrones de variación genética en caracteres adaptativos en muchas de las especies mediterráneas.*
- *No se conoce con precisión el comportamiento de los materiales forestales de reproducción bajo distintos ambientes, para poder establecer recomendaciones de uso de los materiales.*
- *No se conocen las demandas de los distintos materiales de reproducción (por especie, categoría y región de procedencia) para poder planificar adecuadamente los procesos productivos de las plantas o partes de plantas.*
- *No se dispone de información sobre el control genético de caracteres de interés en el medio mediterráneo y para las especies y poblaciones utilizadas.*

1. INTRODUCCIÓN. MATERIALES DE BASE Y REPRODUCCIÓN

¿Porqué plantaciones obtenidas a partir de distintos lotes de semilla de *Pinus contorta*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* o *Picea abies* presentaban grandes diferencias entre ellas en supervivencia, resistencia a heladas o a sequía, crecimiento, o calidad de la madera obtenida? La influencia del origen (localidad donde se recogía la semilla) y de otras características fenotípicas de las poblaciones suministradoras de semilla sobre el comportamiento posterior de las plantas fue observada y analizada en especies forestales hace ya más de 200 años (Langlet, 1971). Constituyó uno de los principales objetos de la experimentación forestal durante el siglo XX y el principal motivo para establecer una legislación sobre comercialización de materiales de reproducción. Así, se consideró necesario garantizar las características genéticas de los materiales utilizados en las repoblaciones forestales. Mientras la calidad exterior es posible que sea evaluada por el comprador, las características genéticas no son fácilmente determinables y se considera que debe existir alguna autoridad que realice el control durante todo el proceso productivo hasta la comercialización para asegurar la veracidad de los datos aportados en los documentos suministrados por el proveedor sobre el origen y características de los frutos, semillas o plantas.

Se entiende por **material forestal de reproducción** “los frutos y semillas, partes de plantas y plantas que se utilizan para la multiplicación de las especies forestales y de sus híbridos artificiales” (RD 289/2003) y se subdividen en 4 categorías: identificada, seleccionada, cualificada y controlada. El **material de base** está constituido por las poblaciones, plantaciones y clones de los que se obtiene el material forestal de reproducción. Existen diferentes tipos:

- *fuelle semillera* (árboles situados dentro de una zona de recolección de frutos y semillas, con una superficie tal que contenga uno o más grupos de árboles



bien distribuidos y en número y densidad suficiente para asegurar una adecuada interpolinización)

- *rodal* (población delimitada de árboles que posean suficiente uniformidad fenotípica en su composición)
- *huerto semillero* (plantación de clones o de brinzales (familias seleccionadas), suficientemente aislada para evitar o reducir la polinización procedente de fuentes externas, y gestionada para la producción de cosechas de semillas frecuentes, abundantes y fáciles de recolectar)
- *progenitores de familia* (árboles utilizados para obtener progenies –material forestal de reproducción–, mediante polinización controlada o libre, de un progenitor identificado utilizado como hembra, con el polen de un progenitor o de una serie de progenitores identificados o no)
- *clon* (conjunto de individuos –*ramets*– procedentes originariamente de un único individuo –*ortet*– mediante propagación vegetativa)
- *mezcla de clones* (conjunto de ramets procedentes de varios clones identificados en proporciones definidas).

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE BASE Y DE REPRODUCCIÓN

Las características genéticas que presentan los materiales de reproducción dependen en gran medida de su categoría y de las características de los materiales de los que se obtienen (*material de base*) y derivadas de la diversidad genética de los materiales de base de los que proceden o el método y caracteres de selección considerados (Tabla 1). Asimismo tiene gran importancia la forma de recolección (o producción) y que son analizados en otros capítulos de esta monografía.

Entre las características principales de los materiales de base para su uso correcto destaca en ambientes mediterráneos el origen (y región de procedencia) de los materiales de reproducción utilizados, por la prioridad en el uso de materiales autóctonos en muchas plantaciones. Pero también es necesario disponer de información sobre la diversidad genética, la ganancia genética, la caracterización de los materiales de base y de reproducción y la transferencia de los materiales de reproducción, así como la información disponible en el registro nacional de materiales de base.



CALIDAD DE PLANTA FORESTAL PARA LA RESTAURACIÓN EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS

Tabla 1. Características de los materiales de base, según la categoría de los materiales de reproducción a que dan lugar (Sistema UE para la comercialización de materiales de reproducción: Directiva 105/99/CE y RD 289/03)

| Características de los materiales de base | Categoría de los materiales forestales de reproducción | | | |
|---|--|--|-----------------------------|------------------------------------|
| | Identificada (Etiqueta Amarilla) | Seleccionada (Etiqueta Verde) | Cualificada (Etiqueta Rosa) | Controlada (Etiqueta Azul) |
| Origen | Determinado. Una región de procedencia | Determinado. Una región de procedencia | No aplicable | No aplicable |
| Número de árboles | Conjunto de árboles o población | Población | Individuos o clones | Población, individuos o clones |
| Diversidad genética | Elevada | Elevada | Variable | Variable |
| Tipo de selección | Sin selección | Selección poblacional | Selección individual | Selección poblacional o individual |
| Evaluación | Ninguna | Fenotípica | Fenotípica | Genética |
| Ensayos | No | No | No es necesario | Obligatorio |
| Ganancia genética | Ninguna | Baja | Media | Alta |



Glosario:

Autóctono. Una fuente semillera autóctona o un rodal autóctono es el que ha sido normal y continuamente regenerado bien por procesos naturales, bien regenerado artificialmente, sea a partir de materiales de reproducción recogidos en la misma fuente semillera o rodal, sea a partir de fuentes semilleras o rodales autóctonos dentro de una distancia reducida.

Controlado. Material de reproducción obtenido de materiales de base que se corresponden con rodales, huertos semilleros, progenitores de familias, clones o mezclas de clones. La superioridad del material de reproducción debe haber sido demostrada mediante ensayos comparativos o estimada a partir de la evaluación genética de los componentes de los materiales de base.

Cualificado. Material de reproducción obtenido de materiales de base que se corresponden con huertos semilleros, progenitores de familias, clones o mezclas de clones, cuyos componentes han sido individualmente seleccionados fenotípicamente. No es estrictamente necesario que se hayan iniciado o terminado ensayos de evaluación o de comparación de materiales de reproducción.

Diferencial de selección. Valor fenotípico medio de los genitores expresado como desviación respecto de la media de todos los individuos de la generación parental antes de la selección artificial.

Diversidad genética. La variabilidad genética dentro de una población o especie como consecuencia de su evolución, normalmente evaluada a tres niveles: 1. Dentro de las poblaciones. 2. Entre poblaciones reproductivas. 3. Dentro de la especie. Suele referirse a caracteres sin valor adaptativo.

Ganancia genética. Incremento del valor genotípico de un carácter seleccionado, que se obtiene mediante mejora. Es el producto de la heredabilidad en sentido estricto y el diferencial de selección de ese carácter.

Guía de transferencia de semilla. Un conjunto de reglas para coleccionar semilla y hacer plantaciones de forma tal que los genotipos no se coloquen en microclimas o suelos inapropiados. Comúnmente las guías de transferencia de semilla describen el movimiento máximo desde un punto de colecta en kilómetros al este, oeste, norte y sur como también en metros sobre el nivel del mar.

Heredabilidad. Parte de la varianza de un carácter debida a factores hereditarios, a diferencia de los factores que dependen del ambiente.

Identificado. Material de reproducción obtenido de materiales de base que pueden ser bien una fuente semillera, bien un rodal situados dentro de una única región de procedencia.

Interacción genotipo ambiente. Cambios en jerarquía o valores en los caracteres entre genotipos (clones, individuos, poblaciones) cuando se prueba en diferentes ambientes.

Marcador genético. Un gen o grupo de genes utilizados para identificar un individuo o célula portadora o para marcar un cromosoma o locus. Marcadores genéticos son clasificados como marcadores bioquímicos (por ej. isoenzimas) y marcadores moleculares (por ej. marcadores de ADN).



Material de base para la producción de material forestal de reproducción. Incluye los siguientes tipos: fuente semillero, rodal, huerto semillero, progenitores de familia, clon y mezcla de clones.

Material forestal de reproducción. Conjunto de estructuras, órganos o tejidos mediante los cuales una especie forestal garantiza la reproducción de nuevos individuos. Está constituido por frutos y semillas, partes de plantas y plantas que se utilizan para la multiplicación de las especies forestales y de sus híbridos artificiales.

Región de procedencia. Para una especie o una subespecie determinadas: la región de procedencia es la zona o el grupo de zonas sujetas a condiciones ecológicas suficientemente uniformes en las que se encuentran fuentes semilleras o rodales que presentan características fenotípicas o genéticas semejantes, teniendo en cuenta límites de altitud, cuando proceda.

Seleccionado. Material de reproducción obtenido de materiales de base que se corresponden con un rodal situado dentro de una única región de procedencia, que hayan sido seleccionados fenotípicamente a nivel de población.

(RD289/03 y Diccionario Forestal, 2005)

3. ORIGEN Y REGIÓN DE PROCEDENCIA

El origen “para una fuente semillera o rodal autóctono es el lugar en el que vegetan los árboles. Para una fuente semillera o rodal no autóctono es el lugar desde el que se introdujeron inicialmente las semillas o las plantas. El origen de una fuente semillera o rodal puede ser desconocido” (Directiva 199/105/CE y RD289/03). El origen del material de base es de gran importancia en los materiales identificados y seleccionados, pues las adaptaciones locales juegan un papel esencial en la evolución de las especies (Kawecki y Ebert, 2004), y determinan muchas características genéticas de los materiales de reproducción. Los ensayos en ambiente común realizados con especies forestales desde hace ya cerca de 100 años han demostrado la variación existente asociada al origen geográfico (Langlet, 1971), determinando el origen en gran medida los caracteres relacionados con la adaptación y crecimiento de los materiales empleados (ver por ej. referencias para especies ibéricas incluidas en las monografías sobre regiones de procedencia: Agúndez *et al.*, 1995; Alía *et al.*, 1996; Catalán *et al.*, 1991; Gil *et al.*, 1996; Jiménez *et al.*, 1998; Prada *et al.*, 1997). Aunque se ha demostrado en numerosos casos que los orígenes locales no tienen por qué ser los más adaptados o los más productivos (Namkoong, 1969), la prudencia ante la ausencia de datos fiables, o criterios asociados a la conservación de los recursos genéticos suele favorecer el uso de los orígenes locales en la mayo-



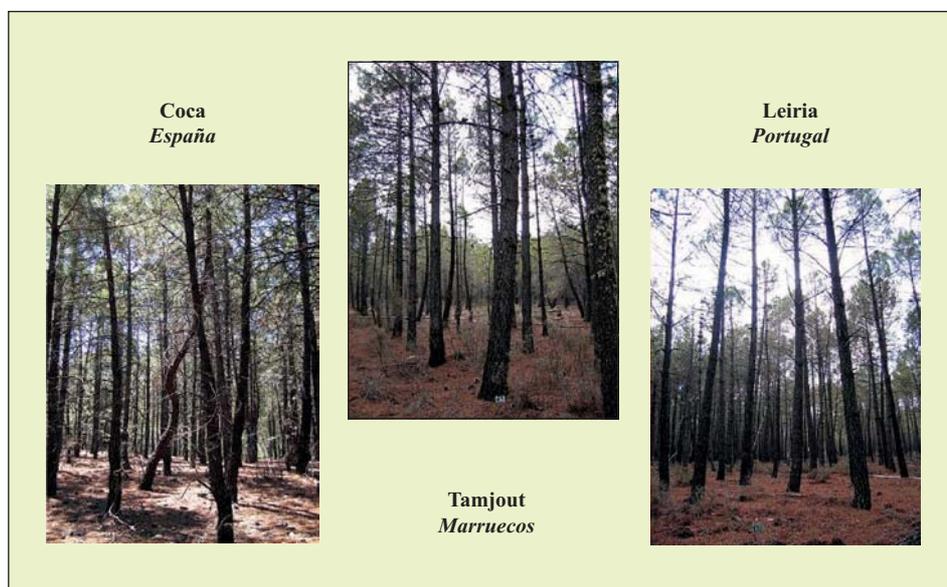


Figura 1. Ejemplo de la importancia del origen en el comportamiento de 3 poblaciones instaladas en el mismo ensayo (Cabañeros, Ciudad Real). Se aprecian diferencias en forma y en supervivencia. Por ejemplo, la población de Leiria presenta unos árboles con crecimientos y mortalidad elevados al compararla con las otras poblaciones (Fotografías: J. Climent)

ría de las especies ¹. En los materiales de reproducción cualificados o controlados, el origen suele ser desconocido o no es aplicable.

Las *regiones de procedencia* son las unidades básicas de comercialización en la legislación europea y son “zonas con características ecológicas suficientemente similares en las que habitan poblaciones con características fenotípicas o genéticas similares”. Se han establecido para 55 especies y dos géneros de los regulados en España a partir de la información existente sobre los factores que determinan la variación entre poblaciones (aislamiento, factores selectivos, datos fenotípicos o genéticos existentes, etc.). En España se han utilizado dos métodos para establecer las regiones de procedencia (ver Figura 2):

- Método divisivo: consistente en la división del territorio en 57 regiones de procedencia. Estas regiones se aplican a 39 especies o géneros (García del Barrio *et al.*,

¹ La conservación de los recursos genéticos no es un objetivo de la legislación sobre comercialización de material de reproducción, pero sí es una responsabilidad de los técnicos encargados de planificar las repoblaciones o restauraciones ecológicas.





Figura 2. Mapas de regiones de procedencia diferenciadas en España: Método divisivo aplicable a 39 especies o géneros; Método aglomerativo aplicable a 17 especies. (ver descripción completa en Martín *et al.* 1998; García del Barrio 2001, 2004; Alía *et al.* 2005).

2001, 2004), y pueden ser aplicables a especies no reguladas en la actualidad. En este método los límites de las regiones son comunes para todas las especies.

- Método aglomerativo: consistente en la unión de poblaciones de una especie con características ecológicas, fenotípicas o genéticas similares. Se han establecido regiones para 17 especies (ver resumen en Martín *et al.*, 1998, o en las monografías de cada especie cuyas referencias se recogen en esta publicación), y mediante este método los límites de las regiones son diferentes para cada especie. Su principal ventaja es que permiten reflejar más adecuadamente los patrones de variación de las especies.

4. DIVERSIDAD GENÉTICA

En cualquier programa de restauración es necesario considerar la variación intraespecífica de las especies a utilizar pues, aunque su influencia en la *eficacia biológica (fitness)* no es muy determinante, sí determina la calidad de la restauración (van Andel, 1998). La diversidad genética puede ser estimada fácilmente a través de marcadores moleculares. En especies forestales, los niveles de diversidad suelen ser muy altos (Hamrick *et al.*, 1979; Hamrick, 1992), y en la Península Ibérica suelen ser elevados incluso en poblaciones marginales o de tamaño reducido, como por ejemplo en poblaciones marginales de *Pinus pinaster* (González Martínez *et al.*, 1999; Jiménez *et al.*, 1999) o *Quercus suber* (Jiménez *et al.*, 1999). En el caso de plantaciones con funciones sociales, de protección, o similares, hemos de planificar la instalación de unas masas con persistencia a largo plazo. Estudios teóricos indican que es necesario contar con poblaciones de grandes para asegurar la viabilidad a largo plazo bajo distintos modelos (Reede *et al.*, 2003).



Aunque este tamaño depende de factores como el sistema de reproducción de la especie, en programas de conservación se manejan poblaciones de entre 500 árboles (que permiten mantener suficientes niveles de varianza aditiva), y más de 3000, para tener en cuenta que no todos los árboles de la población se reproducen igualmente.

Los niveles altos de diversidad se obtienen utilizando materiales de reproducción recolectados en las fuentes semilleras o en los rodales. En los materiales procedentes de huertos semilleros los niveles de diversidad genética suelen ser similares a los de las poblaciones originales, cuando se han recolectado las semillas o frutos con unas mínimas precauciones. Lógicamente, la diversidad es menor en materiales procedentes de progenitores de familia o de mezclas de clones. En este último caso, existen pocos efectos sobre la supervivencia o el crecimiento (Bembrahim *et al.*, 2000), pudiendo ser más estables a largo plazo que los clones. Los clones, al ser el mismo genotipo, no presentan ninguna diversidad genética, aunque existen plantaciones extensas que de forma natural están constituidas por uno o pocos clones. La menor diversidad de materiales obtenidos de progenitores de familia, clones y mezclas de clones, ocasiona una mayor homogeneidad de los materiales de reproducción, una mayor ganancia genética para los caracteres para los que se han seleccionado, mayor homogeneidad de los productos obtenidos, aunque suele estar asociada a mayores riesgos para la persistencia de las plantaciones a largo plazo (Namkoong, 1986; Namkoong *et al.*, 1996).

5. GANANCIA GENÉTICA

En el caso de plantaciones con una función preponderantemente económica, se han de seleccionar individuos o clones altamente productivos, con los que se asegure una ganancia económica derivada del uso de materiales altamente productivos, resistentes a plagas, enfermedades, y otros caracteres de interés. La normativa vigente sobre comercialización de material forestal de reproducción (RD 289/03) obliga a que los materiales cualificados, y especialmente los controlados, sean sometidos a procesos de evaluación. En el caso de los materiales controlados, estos ensayos han de responder a unos protocolos internacionalmente reconocidos que permitan comprobar la superioridad de los materiales frente a unos controles para los sitios en que se recomienda su uso. Los materiales controlados están dirigidos en nuestro país principalmente a clones de chopo euramericanos o a materiales seleccionados para unos caracteres concretos de gran valor (nogales o cerezos para producción de madera de calidad, castaños u olmos resistente a enfermedades, etc.).

6. EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES DE BASE Y DE REPRODUCCIÓN

Para asegurar la calidad de los materiales de reproducción, y su adaptación a distintas condiciones ambientales, es necesario proceder a la evaluación de los materiales bajo



condiciones experimentales que permitan separar los efectos genéticos de los ambientales. La normativa sobre comercialización de materiales forestales de reproducción admite el uso de ensayos de distintos tipos para asegurar la superioridad de los materiales de reproducción (ensayos comparativos de los materiales de reproducción, y los de evaluación de los materiales de base). En cualquier caso se comparan en ambiente común y siguiendo diseños y protocolos estandarizados distintos lotes de materiales de reproducción o de materiales de base para evaluar su comportamiento para distintos caracteres de interés (Figura 3). También se admiten los ensayos precoces (en condiciones de vivero o invernadero) cuando se asegure que los resultados obtenidos se relacionan con el comportamiento de los materiales ensayados a edades adultas.

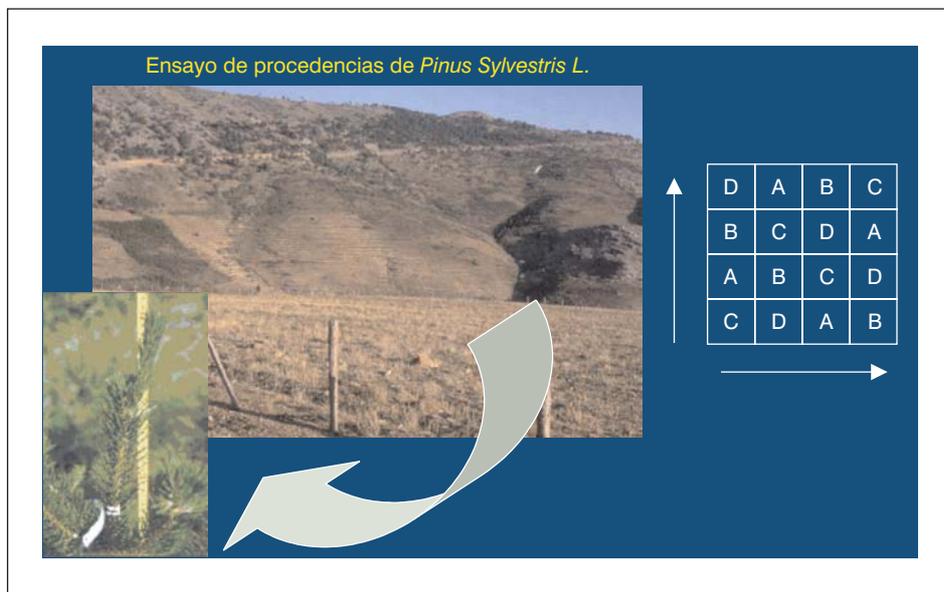


Figura 3. Ensayo de procedencias de *Pinus sylvestris L.* instalado en Baza (Granada).

Dependiendo de los materiales ensayados, podemos distinguir los ensayos de procedencias, los ensayos de progenie, y los ensayos clonales, o la combinación de varios de los anteriores. Los ensayos de procedencias comparan lotes de distintas poblaciones de la misma especie, y permiten comprobar las diferencias genéticas entre fuentes semilleros o rodales, además de evaluar la diferenciación existente entre poblaciones de distintas regiones de procedencia. Los ensayos de progenies permiten evaluar diferencias genéticas entre distintas familias, y permite evaluar a los progenitores de familia o a los individuos seleccionados en huertos semilleros. Por último, los ensayos clonales permi-



ten evaluar las diferencias genéticas entre clones y son aplicables para los clones y mezclas de clones. La información sobre estos tipos de ensayos han de formar parte de la Red nacional de ensayos ² (Estrategia para la Conservación y Uso de los Recursos genéticos forestales, 2006), pues son esenciales para asegurar un uso correcto de los materiales, y se han de extender al mayor número de especies con interés en programas de restauración.

7. TRANSFERENCIA DE MATERIALES DE REPRODUCCIÓN

Van Buijtenen (1992) señala que cuando se definen reglas para la transferencia de semilla es necesario tener en cuenta varios conceptos. El primero es el de *región de procedencia* (o su análogo de zona semillera) que es una zona dentro de la que se puede mezclar semilla. Por tanto, podemos suponer que la semilla puede moverse libremente dentro de ella, cuando tenemos en cuenta el comportamiento futuro del material de reproducción. Puesto que el movimiento de semilla no tiene que ser necesariamente bi-direccional, este autor distingue dos términos más: *zona de utilización de semilla* y *zona de obtención de semilla*. La zona de utilización de semilla es aquella en la que una semilla procedente de una región de procedencia determinada se puede utilizar. La zona de obtención de semilla es la zona de la que se puede obtener semilla para una zona de plantación determinada. En este caso, las superficies que definen estas dos zonas pueden ser idénticas, o una de ellas un subconjunto de las otras, o podrían ser áreas que no se solapasen. Por ejemplo, para un sitio determinado, la zona de obtención de semilla podría corresponder a varias regiones de procedencia. La adecuación de las condiciones originales de un material de reproducción y sus condiciones de uso presenta un gran interés. La transferencia de semilla puede evaluarse mediante modelos que determinan el riesgo asociado a esta transferencia (ver por ej. Westfall, 1992; Alía *et al.*, 1996; Chuine *et al.*, 2000) a partir de la información obtenida en ensayos comparativos. Pero en nuestras condiciones, y principalmente por el escaso valor económico de las especies, no se ha abordado esta línea de investigación: los ensayos de campo son costosos, requieren tiempo y no pueden cubrir todas las especies, materiales de base y condiciones ambientales necesarias para los programas de reforestación o restauración ecológica. En España se han definido 57 regiones de utilización de los materiales de reproducción, que coinciden en sus límites con el de las regiones de procedencia establecidas por el método divisivo (García del Barrio *et al.*, 2001, 2004), y se han establecido unas homologaciones entre regiones para poder decidir el uso de materiales de reproducción (ver Tabla 2, y una descripción más detallada en Alía *et al.*, 2005). Estas recomendaciones están siendo revisadas y actualizadas a partir de los datos existentes sobre la variación de las especies, con objeto de ser aprobadas por el Comité Nacional de mejora y conservación de recursos genéticos forestales.

² Se puede comprobar la información de ensayos instalados en España en la página de GENFORED: <http://www.inia.es/genfored.html>



Tabla 2. Valores de heredabilidad de distintos caracteres (modificado de Alía *et al.*, 2005).

| Carácter | Especie | Heredabilidad |
|----------------------|--------------------------|---------------|
| Altura | <i>Pinus sylvestris</i> | Baja |
| | <i>Pinus halepensis</i> | Moderada |
| | <i>Pinus nigra</i> | Moderada |
| | <i>Pinus pinaster</i> | Baja |
| | <i>Castanea sativa</i> | Moderada |
| | <i>P. x euramericana</i> | Moderada |
| Ángulo ramas | <i>Pinus sylvestris</i> | Moderada |
| | <i>Pinus nigra</i> | Moderada |
| Densidad madera | <i>Pinus sylvestris</i> | Alta |
| | <i>Pinus nigra</i> | Alta |
| | <i>Pinus pinaster</i> | Alta |
| | <i>P. x euramericana</i> | Alta |
| Diámetro | <i>Pinus sylvestris</i> | Baja |
| | <i>Pinus nigra</i> | Baja |
| | <i>Pinus pinaster</i> | Baja |
| Disposición de ramas | <i>Populus alba</i> | Baja |
| | <i>Populus deltoides</i> | Moderada |
| Fenología | <i>P. x euramericana</i> | Alta |
| | <i>Populus alba</i> | Moderada |
| | <i>Populus deltoides</i> | Alta |
| | <i>Populus deltoides</i> | Moderada |
| | <i>Castanea sativa</i> | Alta |
| Forma de fuste | <i>P. x euramericana</i> | Alta |
| | <i>Populus alba</i> | Muy baja |
| | <i>Pinus pinaster</i> | Moderada |
| Policiclismo | <i>Pinus nigra</i> | Baja |
| | <i>Pinus pinaster</i> | Alta |
| Ramosidad | <i>P. x euramericana</i> | Alta |
| | <i>Populus alba</i> | Moderada |
| Rectitud | <i>Pinus pinaster</i> | Baja |
| Tolerancia sequía | <i>Pinus pinaster</i> | Alta |
| | <i>Castanea sativa</i> | Alta |

Heredabilidad: Muy baja: 0-0.1; baja: 0.1-0.35; moderada:0.35-0.6; alta: 0.6-0.9; muy alta: 0.9-1.0



8. INFORMACIÓN DISPONIBLE EN EL REGISTRO NACIONAL DE MATERIALES DE BASE

En el proceso de catalogación de los materiales de base se genera una serie de información sobre estos materiales ³, que complementados con la información generada por los productores del material forestal de reproducción podría ayudar a la elección de los materiales de reproducción más adecuados a las condiciones de uso. Esta información se divide en:

- criterios de selección utilizados para la catalogación de los materiales de base (producción de madera, producción de fruto, multifuncionales, etc.)
- características ecológicas del material de base, del que proceden los materiales de reproducción.
- zonas de mejor adaptación y crecimiento de los materiales de reproducción
- características genéticas (origen, procedencia, diversidad genética, etc.) de los materiales de reproducción

En muchos casos, la información genética sobre las especies a las que se aplica el sistema UE en España (RD 289/03) es escasa o nula, y la disponible se basa principalmente en el uso de marcadores genéticos (generalmente neutrales) que miden los niveles de diversidad y diferenciación de las especies. Sólo de algunas especies que han sido objeto de programas de mejora o conservación se cuenta con información sobre patrones de variación y parámetros genéticos en caracteres de crecimiento o relacionados con la adaptación (la información existente se puede consultar en la página web del Servicio de Material Genético de la DGB, incluida en la nota 1).

9. INFLUENCIA DE LA CARACTERÍSTICAS GENÉTICAS SOBRE ALGUNOS ASPECTOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DE LA PLANTA

El análisis de la influencia de las características genéticas sobre aspectos relacionados con la calidad de la planta se pueden resumir en los siguientes puntos.

9.1. *¿Qué importancia puede tener la herencia frente a la manipulación que se puede hacer en vivero?*

La heredabilidad de un carácter mide el grado de control genético, como cociente entre varianza aditiva (o genética) a varianza fenotípica total. Cuanto más alto sea su va-

³ La información sobre el Catálogo nacional de materiales de base se puede consultar en la página web: http://www.mma.es/conserv_nat/acciones/mejora_genet/index.htm, del Servicio de Material Genético de la DGB (MMA).



lor (comprendido entre 0 y 1) mayor es el control genético de ese carácter. El valor de la heredabilidad de un carácter depende de la especie, de la población, y de las condiciones de evaluación. Sin embargo, sabemos órdenes de magnitud de la heredabilidad para muchos de los caracteres relacionados con las características que determinan la calidad exterior de la planta (ver algunos ejemplos en la Tabla 2). Esta información está disponible para algunas especies mediterráneas con interés en reforestaciones (algunas especies de *Pinus*, *Populus*, *Castanea*, *Juglans*, *Quercus*, etc.) aunque los datos suelen ser escasos para nuestras condiciones ambientales. En general, podemos señalar valores bajos a moderados de heredabilidad para el crecimiento, muy superiores para caracteres relacionados con la fenología (brotación, foliación, cese e inicio de crecimiento, etc.) que suelen ser medios-altos, muy variable para caracteres de forma del tronco (rectitud, tipo de ramificación, presencia de bifurcaciones, etc.) que oscila desde un control genético nulo hasta valores moderados-altos. Los caracteres relacionados con la tolerancia a la sequía presentan unos valores moderados-altos en muchas de las especies evaluadas, aunque en este caso existe una gran plasticidad fenotípica que afecta los valores de heredabilidad según el ambiente. Incluso especies del mismo grupo (podríamos considerar los pinos como ejemplo, o distintas especies de *Populus*), pueden presentar valores muy distintos. Estas diferencias están relacionadas con la variabilidad genética total de la especie para los caracteres que nos interesan (por ejemplo, mucho mayor en *Pinus pinaster* que en *Pinus pinea* o *Pinus halepensis*), que hace que las diferencias entre poblaciones de la misma especie puedan llegar a ser esenciales para el crecimiento y comportamiento posterior de las especies.

En conclusión, los caracteres relacionados con la calidad exterior de planta suelen presentar valores de heredabilidad (sentido estricto) significativos para afectar la calidad dependiendo de nuestra manipulación. Así, en caracteres de baja heredabilidad, la manipulación podrá alterar fácilmente las características de nuestros materiales. Para otros caracteres (en la mayoría de los casos relacionados con la fenología, forma de la planta, tolerancia a la sequía), nuestra capacidad de alteración tiene menor trascendencia.

9.2. ¿Cómo influye la variabilidad genética en la producción de planta en vivero?

La diversidad genética está estructurada en varios niveles (especie, población, individuo, etc.). Aunque los niveles de diversidad son altos, existen grandes diferencias entre las distintas especies, como puede apreciarse fácilmente para distintas especies del género *Pinus* (Tabla 3).

Esta diversidad en caracteres neutrales suele ser menor que la variabilidad encontrada en caracteres de crecimiento y supervivencia.

Si descendemos al nivel poblacional, no todas las poblaciones de una especie tienen el mismo nivel de variabilidad fenotípica total. Por ejemplo, en *Pinus pinaster* podemos encontrar diferencias 1:2 en niveles de variabilidad durante el primer año en caracteres de crecimiento, o desarrollo ontogénico. Hay que remarcar que mucha de esta variabili-



Tabla 3. Valores de los principales parámetros de diversidad para algunas especies ibéricas (modificado de Jiménez *et al.*, 2001 y datos propios)

| Especie | Marcador | Número de poblaciones | Polimorfismo | Diversidad/variabilidad | Diferenciación entre poblaciones |
|--------------------------|---------------|-----------------------|--------------|-------------------------|----------------------------------|
| <i>P. pinaster</i> | Isoenzimas | 12 | Medio | Media | Alta |
| | Altura | 40 (5 sitios) | – | Alta | Muy alta |
| | Supervivencia | 40 (5 sitios) | – | Alta | Muy alta |
| <i>P. halepensis</i> | Isoenzimas | 6 | Bajo | Baja | Alta |
| | RAPDs | 6 | | Media | Alta |
| | CpSSR | 6 | Alto | Alta | Alta |
| | Altura | 54 (4 sitios) | – | Alta | Baja |
| <i>P. pinea</i> | CpSSR | 10 | Bajo | Media | Baja |
| | Altura | 40 (4 sitios) | – | Media | Baja |
| <i>Q. suber</i> | Isoenzimas | 22 | Medio | Media | Baja |
| | CpDNA | 13 | Alto | Media | Alta |
| | Fenología | 30 (2 sitios) | – | Media | Muy alta |
| | Altura | 30 (2 sitios) | – | Alta | Baja |
| <i>Q. ilex</i> | CpDNA | 12 | Alto | Alta | Muy alta |
| <i>U. minor</i> | Isoenzimas | 3 | Medio | Media | – |
| <i>U. pumila</i> | Isoenzimas | 6 | Alto | Media | – |
| <i>U. minor x pumila</i> | Isoenzimas | 1 | Alto | Alta | – |
| <i>Populus alba</i> | Isoenzimas | 8 | Medio | Media | Alta |

dad es genética (heredabilidad moderada a alta) y por tanto difícil de manipular en vivo. En especies como *Quercus suber* donde la heredabilidad en caracteres de crecimiento en altura es muy baja, es más fácil de homogeneizar los lotes por medio de cultivos controlados. En el caso de materiales muy homogéneos (clones o mezclas de clones), la homogeneidad genética es total, y por tanto la calidad de la planta (correspondiente a los genotipos utilizados) estará determinada por el tipo de cultivo que se emplee.



9.3. ¿Qué impacto pueden tener estas diferencias sobre el comportamiento posterior en terreno (supervivencia, crecimiento, etc.)?

El principal resultado obtenido en ensayos de ambiente común sobre la importancia de la población en el comportamiento posterior de las plantas (en término de supervivencia, crecimiento, fenología, etc.) es la necesidad de tener en cuenta este resultado para establecer y utilizar las regiones de procedencia de las especies. En el caso de la influencia de las diferencias individuales o clonales, existe una gran cantidad de información sobre la gran importancia del material utilizado en relación con el comportamiento posterior de las plantaciones (clones de gran crecimiento, supervivencia superior a la media en condiciones desfavorables por suelo, o sequía). El principal problema con estas estimaciones es que son necesarias evaluaciones en campo, aunque podemos basar las predicciones en el tipo de carácter o heredabilidad que podemos esperar.

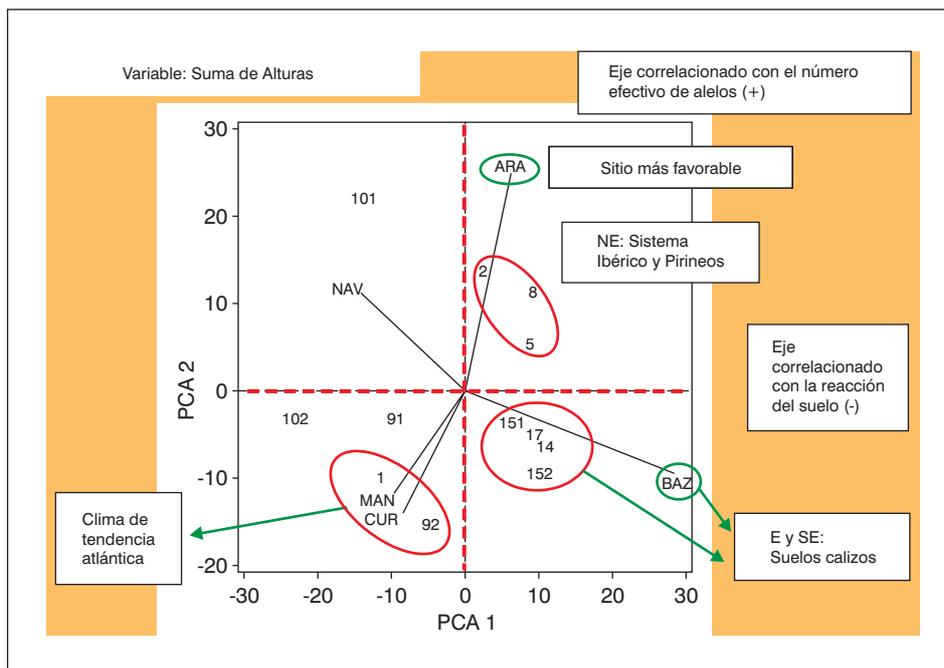


Figura 4. Interacción genotipo-ambiente de procedencias españolas de *Pinus sylvestris* L. evaluadas en cinco sitios de ensayo (Manzanal: MAN, Curueño: CUR; Baza: BAZ; Aragües del Puerto: ARA; Navarra, NAV). En el gráfico se observan los dos ejes principales de la interacción (Método AMMI) y una interpretación en función de variables de los sitios de ensayo y de las procedencias. (Chambel, 2006).



En general, en las especies forestales hay que tener en cuenta la existencia de elevados niveles de interacción genotipo-ambiente y/o de plasticidad fenotípica que modifica el comportamiento de las especies, poblaciones o genotipos analizados. Aunque hay muchos trabajos para caracterizar los niveles de interacción con objeto de reducir su impacto en programas de mejora, sólo recientemente se han iniciado estudios para comprender el papel adaptativo de la plasticidad en especies forestales y su posible utilidad en restauración ecológica (ver la revisión por Chambel *et al.*, 2005).

En conclusión, la calidad genética de los materiales de base determina la calidad genética de los materiales de reproducción. Solamente para los materiales controlados se cuenta con información suficiente sobre sus características genéticas (diversidad, variabilidad, comportamiento en ensayos comparativos), y en los otros tipos se suele tener información para algunas especies y poblaciones. Dado que la variación se estructura en distintos niveles jerárquicos (especie, población, individuos dentro de población), y esta estructuración está determinada por aspectos históricos y evolutivos, no es fácil obtener generalizaciones para distintos caracteres y especies. Los resultados existentes remarcan la importancia de la variación entre poblaciones para muchos caracteres, y la gran variación individual existente en nuestras especies forestales, afectada también por la escasa domesticación de los recursos genéticos forestales.

REFERENCIAS

- AGÚNDEZ, D.; MARTÍN, S.; DE MIGUEL, J.; GALERA, R. y JIMÉNEZ, P. (1995). Las regiones de procedencia de *Fagus sylvatica* L. en España. ICONA, Madrid.
- ALÍA, R.; ALBA, N.; AGÚNDEZ, D. e IGLESIAS, S. (2005). Manual para la producción y comercialización de semillas forestales: materiales de base y reproducción. DGB. MIMAM. Madrid.
- ALÍA, R.; MARTÍN, S.; DE MIGUEL, J.; GALERA, R.; AGÚNDEZ, D.; GORDO, J.; SALVADOR, L.; CATALÁN, G. y GIL, L. (1996). Las regiones de procedencia de *Pinus pinaster* Aiton. DGCONA, Madrid.
- ANDEL J. VAN (1998). Intraspecific variability in the context of ecological restoration projects. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 1(2): 221-237.
- BENBRAHIM, M.; GAVALAND, A. y GAUVIN, J. (2000). Growth and Yield of Mixed Polycloonal Stands of Populus in Short-Rotation Coppice. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15(6): 605-610.
- BUIJTENEN, J. P. VAN (1992). Fundamental Genetic Principles. En: Fins, L.; Friedman, S. T.; Brotschol, J. V. (Eds.). *Handbook of quantitative forest genetics*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- CATALÁN, G.; GIL, P.; GALERA, R.; MARTÍN, S.; AGÚNDEZ, D. y ALÍA, R. (1991). Las regiones de procedencia de *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arn subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco en España. ICONA, Madrid.
- CHAMBEL, R. (2006). Variabilidad adaptativa y plasticidad fenotípicas en procedencias de pinos ibéricos. Tesis Doctoral. UPM. Madrid.



- CHAMBEL, R.; CLIMENT, J.; ALÍA, R. y VALLADARES, F. (2005). Phenotypic plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14(3).
- CHUINE, I.; BELMONTE, J. y MIGNOT, A. (2000). A modelling analysis of the genetic variation of phenology between tree populations. *Journal of Ecology* 88(4): 561-570.
- GARCÍA DEL BARRIO, J. M.; DE MIGUEL, J.; IGLESIAS, S. y ALÍA, R. (2001). *Regiones de Identificación y Utilización de Material Forestal de Reproducción*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- GARCÍA DEL BARRIO, J. M.; IGLESIAS, S. y ALÍA, R. (2004). *Regiones de Identificación y Utilización de Material Forestal de Reproducción*. Adenda. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- GIL, L.; DÍAZ, P.; JIMÉNEZ, P.; ROLDÁN, M.; ALÍA, R.; AGÚNDEZ, D.; DE MIGUEL, J.; MARTÍN, S. y TUERO, M. (1996). Las regiones de procedencia de *Pinus halepensis* Mill. en España. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- GONZÁLEZ MARTÍNEZ, S. C.; AGÚNDEZ, D.; ALÍA, R.; SALVADOR, L.; GIL L. (1999). Geographical variation of gene diversity of *Pinus pinaster* Ait. in the Iberian Peninsula. In *Genetic Response of Forest Systems to Changing Environmental Conditions*. IUFRO, Munich.
- HAMRICK, J. L.; LINHART, Y. B. y MITTON, J. B. (1979). Relationships between life history characteristics and electrophoretically detectable genetic variation in plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 10: 173-200.
- HAMRICK, J. L. (1992). Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forests* 6: 95-124.
- JIMÉNEZ, P.; AGÚNDEZ, D.; ALÍA, R. y GIL, L. (1999). Genetic variation in central and marginal populations of *Quercus suber* L. *Silvae Genetica* 48: 278-284.
- JIMÉNEZ, P.; DÍAZ-FERNÁNDEZ, P. M.; MARTÍN, S. y GIL, L. (1998). Regiones de procedencia de *Quercus pyrenaica* W., *Quercus faginea* Lam. y *Quercus canariensis* Willd. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- KAWECKI, T. J. Y EBERT, D. (2004). Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters* 7: 1225.
- KREMER, A.; ZANETTO, A. y DUCOUSSO, A. (1997). Multilocus and multitrail measures of differentiation for gene markers and phenotypic traits. *Genetics* 145: 1229-1241.
- LANGLET, O. (1971). Two hundred years genecology. *Taxon* 20 (5/6): 653-722.
- MARTÍN, S.; DÍAZ-FERNÁNDEZ, P. y DE MIGUEL, J. (1998). Regiones de procedencia de Especies Forestales españolas. Géneros *Abies*, *Fagus*, *Pinus*, y *Quercus*. O.A. Parques Nacionales, Madrid.
- NAMKOONG, G.; BOYLE, T.; GREGORIUS, H. R.; JOLY, H.; SAVOLAINEN, O.; RATNAM, W. y YOUNG, A. (1996). Testing Criteria and Indicators for assessing the Sustainability of Forest Management: Genetic criteria and Indicators. In. CIFOR, p. 16.
- NAMKOONG, G. (1969). Nonoptimality of local races. Proceedings of the tenth southern Conference on Forest Tree Improvement. Houston, Texas.
- NAMKOONG, G. (1986). La genética y los bosques del futuro. *Unasylya* 38.



- PRADA, M. A.; GORDO, J.; DE MIGUEL, J.; MUTKE, S.; CATALÁN, G.; IGLESIAS, S. y GIL, L. (1997). Las regiones de procedencia de *Pinus pinea* L. en España. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- REEDE, D. H.; O'GRADYA, J. J.; BROOKB, B. W.; BALLOUC, J. D. y FRANKHAMA, R. (2003). Estimates of minimum viable population sizes for vertebrates and factors influencing those estimates. *Biological Conservation* 113: 23-34.
- SECF (2005). Diccionario Forestal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1314 pp.
- WESTFALL, R. D. (1992). Developing seed transfer zones. En: Fins, L.; Friedman, S. T.; Brotschol, J. V. (Eds.). *Handbook of quantitative forest genetics*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers: 313-398.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- ALÍA, R.; ALBA, N.; AGÚNDEZ, D. e IGLESIAS, S. (2005). Manual para la producción y comercialización de semillas forestales: materiales de base y reproducción. DGB. MIMAM. Madrid.
- ANDEL J. VAN (1998). Intraspecific variability in the context of ecological restoration projects. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 1(2): 221-237.
- BUIJTENEN, J. P. VAN (1992). Fundamental Genetic Principles. In: Fins, L.; Friedman, S. T.; Brotschol, J. V. (Eds.). *Handbook of quantitative forest genetics*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- KAWECKI, T. J. y EBERT, D. (2004). Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters* 7(12): 1225.
- LANGLET, O. (1971). Two hundred years geneecology. *Taxon* 20 (5/6): 653-722.



Morfología y establecimiento de los plantones

RAFAEL M. NAVARRO, PEDRO VILLAR-SALVADOR
y ANTONIO DEL CAMPO

RESUMEN

En este capítulo se revisa el conocimiento actual sobre la relación entre el establecimiento de los plantones en campo de especies mediterráneas y los atributos morfológicos de planta cultivada en contenedor. A partir de las experiencias publicadas hasta este momento por autores españoles se proponen una serie de rangos de variables morfológicas adecuados para algunas especies mediterráneas, así como una propuesta para la aplicación de los atributos morfológicos en programas de control de la calidad de planta. Por simplicidad se han seleccionado como atributos más representativos la altura, el diámetro, la esbeltez y la relación entre el peso seco de la parte aérea y la parte radical.

ASPECTOS BIEN CONOCIDOS

- *En ambientes no mediterráneos las plantas más grandes tienden a presentar mayor supervivencia y crecimiento absoluto que las de menor tamaño*
- *En ambientes mediterráneos, los atributos morfológicos tienen una baja capacidad de predicción de la respuesta en campo de la planta de vivero*
- *No obstante, la planta de tamaño y proporción de parte aérea media o grande tiende a mostrar una mejor respuesta al establecimiento, o por lo menos, una respuesta igual a la de pequeño tamaño.*
- *El control de las variables morfológicas y su mantenimiento dentro de unos valores de referencia (ventanas de calidad) es un sistema sencillo para estandarizar el cultivo de una especie, lo que supone un paso muy importante en los programas de cultivo y control de calidad en viveros comerciales.*



ASPECTOS POCO CONOCIDOS

- *No existen evidencias sólidas sobre la persistencia de la relación entre la respuesta en repoblación de los plántones y su morfología en diferentes ombroclimas. Se desconoce si deben hacerse ajustes de la morfología en función de la aridez del lugar de plantación.*
- *No se conoce suficientemente la importancia relativa de la calidad de planta con respecto a otros factores como el procedimiento de preparación, el manejo de la planta durante la plantación o la fecha de plantación, en el éxito final de la repoblación, lo cual cuestiona algunos de los resultados obtenidos hasta el momento en parcelas de investigación.*
- *Las normas vigentes en la actualidad sobre calidad morfológica deberían ser revisadas y adecuadas a los programas de cultivo más frecuentes en viveros y a ampliar el número de especies mediterráneas consideradas.*

1. INTRODUCCIÓN

La calidad morfológica de una planta hace referencia a un conjunto de caracteres, tanto de naturaleza cualitativa como cuantitativa, sobre la forma y estructura de la planta. La morfología de una planta cultivada en contenedor en un vivero forestal es el resultado de las características genéticas de las plantas, las condiciones ambientales del vivero y las prácticas de cultivo empleadas, como la fecha de siembra, la densidad de cultivo, el tipo de contenedor, el grado de sombreado, el régimen de fertilización y riego, las podas aéreas, etc. (Mexal y Landis, 1990). Se han empleado multitud de atributos morfológicos cuantitativos para caracterizar la calidad de una planta (ver revisiones de Ritchie, 1984; Thompson, 1985; Mexal y Landis, 1990; Villar-Salvador, 2003). Los más utilizados han sido la altura de la parte aérea, el diámetro del cuello de la raíz y los pesos secos de la raíz y la parte aérea (Chavasse, 1980; Puttonen, 1997; South, 2000), todos ellos descriptores del grado de desarrollo de las partes aérea y radical. También se han usado índices o relaciones morfológicas, que son combinaciones de dos o más atributos morfológicos, siendo la esbeltez (cociente entre la altura y el diámetro en el cuello de la raíz) y la relación entre el peso seco de la parte aérea y la radical (PA/PR) los más empleados. Estos índices paliar las limitaciones interpretativas que los atributos morfológicos poseen al considerarlos de forma individualizada, sobre todo cuando se analiza el equilibrio entre el desarrollo de la parte aérea o transpirante y la radical o absorbente (Thompson, 1985). El índice de Dickson, que integra la esbeltez y PA/PR, y la morfología del sistema radical, medida a través del peso seco, volumen, longitud, arquitectura o fibrosidad, también se han utilizado como atributos de calidad morfológica de plantas forestales cultivadas en vivero (Thompson, 1985; Romero *et al.*, 1986; Brissette *et al.*, 1991; Dey y Parker, 1997; Navarro y Calvo, 2002; del Campo, 2002; Villar-Salvador, 2003).



El reto es determinar qué atributos morfológicos son los más apropiados para medir la *calidad funcional* de una planta, pues la mayoría de ellos están muy correlacionados entre sí (por ejemplo, el diámetro en el cuello de la raíz se correlaciona con el peso seco radical o la altura de la planta). En principio, deberían elegirse los atributos que mejor puedan predecir el establecimiento de la planta en campo en términos de supervivencia y crecimiento y, a la vez, sean sencillos de medir (Scagel *et al.*, 1993; Mattsson, 1997). Debido a su facilidad de medición (a menudo no destructiva) y mejor control estadístico (sobre todo en lo referente a tamaños de muestra), algunos caracteres morfológicos son usados en la legislación existente como criterios de análisis de calidad de planta. En concreto, la normativa vigente de calidad de planta de la Unión Europea, y en sus correspondientes transposiciones (RD 1356/1998, BOE 153, 27 de junio de 1998), define la altura y el diámetro del tallo que deben cumplir los lotes de plantas en varias especies forestales para ser considerados de calidad cabal (Pemán *et al.*, 2000).

Gracias al gran número de trabajos realizados en los últimos años, se conocen los rangos de variación de los atributos morfológicos de muchas especies arbóreas y arbustivas mediterráneas cultivadas en contenedor en España (ver Tablas 1 a 5). Sin embargo, todavía no se sabe con precisión cuál es la morfología que deben tener los brinzales de las distintas especies forestales mediterráneas para desarrollarse adecuadamente en las repoblaciones. Es probable que los rangos de tamaño de planta de la vigente legislación sobre calidad de planta no se ajusten bien a los rangos de altura y diámetro necesarios para un adecuado establecimiento de las plantas en campo, especialmente teniendo en cuenta la diversidad de ambientes que algunas especies forestales pueden ocupar.

El objetivo de este capítulo es revisar la relación entre el desarrollo de las plantaciones forestales y los atributos morfológicos de los plantones de especies mediterráneas cultivados en contenedor. Además, a partir de las experiencias publicadas hasta la fecha por autores españoles se propone, para algunas especies forestales mediterráneas, rangos de variación de diferentes atributos morfológicos que se asocian con buenos desarrollos post-plantación. Finalmente, se hace una propuesta para la aplicación de los atributos morfológicos en programas de control de la calidad de planta. Por simplicidad, se han seleccionado como atributos morfológicos más representativos la altura, el diámetro en el cuello de la raíz, la esbeltez del tallo y la relación entre el peso seco de la parte aérea y la parte radical.



Tabla 2. Rangos de variación de los caracteres morfológicos y relaciones entre la supervivencia y el crecimiento en campo con los atributos morfológicos en ensayos con *Pinus pinea*, *Tetraclinis articulata* y *Abies pinsapo*. Las celdas vacías indican carácter no estudiado o dato desconocido. En el caso de las relaciones positivas se indican con (+), las negativas con (-) y la ausencia de relación se indica con (0). Las relaciones con crecimiento lo son con crecimiento absoluto, excepto en aquellos casos indicados. PA: Peso seco aéreo; PA/PR: relación entre el peso seco aéreo y el peso seco radical

| | Villar-Salvador et al., Villar-Salvador et al., Palacios y Navarro, 2000 | 2000 | Trubat et al., 2003 | Navarro et al., 2006 |
|--------------------------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| | <i>Pinus pinea</i> | <i>Pinus pinea</i> | <i>Tetraclinis articulata</i> | <i>Abies pinsapo</i> |
| Especie | <i>Pinus pinea</i> | <i>Pinus pinea</i> | <i>Pinus pinea</i> | <i>Pinus pinea</i> |
| Condiciones del ensayo | | | | |
| Localización..... | Guadalajara (El Serranillo) 400 | Guadalajara (El Serranillo) 400 | Guadalajara (El Serranillo) 400 | Málaga (Yunquera) Húmedo |
| Precipit. media (mm)..... | | | | |
| Precipit. primer año del ensayo..... | | | | |
| Preparación del suelo..... | Subsolado | Subsolado | Subsolado | Laboreo |
| Tipo de parcela..... | Suelo agrícola | Suelo agrícola | Suelo agrícola | Suelo forestal |
| Fecha de plantación..... | Enero 1998 | Enero 1997 | Noviembre 1997 | Diciembre 1998 |
| Atributos morfológicos | | | | |
| Altura..... | 16,4-24 | 7-16 | 18,2-24,9 | 5,85-8,7 |
| Diámetro..... | 2,96-4,05 | 2,3-4,2 | 2,7-3,6 | 2,7-4,7 |
| PA..... | 1,76-3,71 | 1,77-3,99 | 2,14-3,50 | 0,5-1,8 |
| PA/PR..... | 1,62-2,32 | 2,07-3,25 | 1,43-2,03 | 0,5-0,7 |
| Esbeltez..... | 5,08-6,77 | 2-5,1 | 5,63-7,23 | 1,8-2,3 |
| Respuesta al establecimiento | | | | |
| Supervivencia..... | (0) | (0) | (0) | (0) |
| Crecimiento en altura..... | (0) | (+) | (0) | (-) |
| Crecimiento en diámetro..... | (+) | (+) | (0) | (-) |

¹ Con la altura final; ² Con el diámetro final.





Tabla 3. Rangos de variación de los caracteres morfológicos y relaciones entre la supervivencia y el crecimiento en campo con los atributos morfológicos en ensayos con *Ceratonia siliqua* L. y *Olea europaea* L. Las celdas vacías indican carácter no estudiado o dato desconocido. En el caso de las relaciones positivas se indican con (+), las negativas con (-) y la ausencia de relación se indica con (0). Las relaciones con crecimiento lo son con crecimiento absoluto, excepto en aquellos casos indicados. PA: peso seco aéreo; PA/PR: relación entre el peso seco aéreo y el peso seco radical

| | Del Campo, 2002 | Del Campo, 2004 | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004 | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004 | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004 | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004 | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004 | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004 | Del Campo, 2004b | Del Campo, 2004 | Del Campo, 2004b | |
|--|--|-----------------|--|------------------|--|------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------------|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|--|
| Condiciones del ensayo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Especie..... | <i>Ceratonia siliqua</i> | | <i>Ceratonia siliqua</i> | | <i>Ceratonia siliqua</i> | | <i>Olea europaea</i> | | <i>Olea europaea</i> | | <i>Olea europaea</i> | | <i>Olea europaea</i> | | <i>Olea europaea</i> | | <i>Olea europaea</i> | | <i>Olea europaea</i> | |
| Localización..... | Córdoba | | Córdoba | | Córdoba | | Córdoba | | Córdoba | | Córdoba | | Córdoba | | Córdoba | | Córdoba | | Córdoba | |
| Precipitación media..... | 618 | | 618 | | 618 | | 618 | | 618 | | 618 | | 618 | | 618 | | 618 | | 618 | |
| Precipitación del primer año del ensayo..... | 470 | | 499 | | 770 | | 470 | | 499 | | 770 | | 470 | | 499 | | 770 | | 770 | |
| Preparación del suelo..... | Laboreo | | Laboreo | | Laboreo | | Laboreo | | Laboreo | | Laboreo | | Laboreo | | Laboreo | | Laboreo | | Laboreo | |
| Tipo de parcela..... | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | | Suelo agrícola | |
| Fecha de plantación..... | Diciembre 1998 | | Diciembre 1999 | | Noviembre 2002 | | Diciembre 1998 | | Diciembre 1998 | | Diciembre 1998 | | Diciembre 1998 | | Diciembre 1999 | | Diciembre 2002 | | Noviembre 2002 | |
| Atributos morfológicos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura..... | 3,8-18,6 | | 4,1-30,4 | | 6,5-10,23 | | 15,0-38,1 | | 15,0-38,1 | | 7,7-43,11 | | 29,06-55,25 | | 29,06-55,25 | | 29,06-55,25 | | 29,06-55,25 | |
| Diámetro..... | 2,34-3,60 | | 2,31-4,50 | | 2,98-3,2 | | 2,64-4,43 | | 2,64-4,43 | | 2,2-4,51 | | 4,02-4,97 | | 4,02-4,97 | | 4,02-4,97 | | 4,02-4,97 | |
| Peso seco aéreo..... | 0,18-2,34 | | 0,10-4,93 | | 0,78-1,15 | | 0,38-3,07 | | 0,38-3,07 | | 0,3-3,10 | | 1,84-5,88 | | 1,84-5,88 | | 1,84-5,88 | | 1,84-5,88 | |
| PA/PR..... | 1,19-3,33 | | 1,09-3,22 | | 1,23-2,17 | | 1,39-2,43 | | 1,39-2,43 | | 1,02-2,6 | | 1,38-4,06 | | 1,38-4,06 | | 1,38-4,06 | | 1,38-4,06 | |
| Esbeltez..... | 1,57-5,79 | | 2,07-7,23 | | 2,21-3,22 | | 5,03-9,71 | | 5,03-9,71 | | 3,53-2,61 | | 7,19-12,61 | | 7,19-12,61 | | 7,19-12,61 | | 7,19-12,61 | |
| Respuesta al establecimiento | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Supervivencia..... | (-) PA/PR; (0) altura, diámetro, PA y esbeltez | | (0) altura, diámetro, esbeltez, PA y PA/PR | | (+) altura, esbeltez y PA/PR | | (+) altura, diámetro, PSA; (-) PA/PR | | (+) altura, diámetro, PSA; (-) PA/PR | | (+) todos caracteres | |
| Crecimiento en altura..... | (0) ² todos caracteres | | (-) ² todos caracteres | | (-) ¹ y ² altura, diámetro, PA, esbeltez, (-) ² PA/PR | | (-) ² PA | | (-) ² PA | | (-) ² altura, diámetro, PA, esbeltez | | (0) ¹ y ² todos caracteres | |
| Crecimiento en diámetro..... | (0) ² todos caracteres | | (0) ² todos caracteres | | (0) ² todos caracteres | | (0) ² todos caracteres | | (0) ² todos caracteres | | (0) ² PA/PR; (0) ² resto caracteres | | (0) ² PA/PR; (0) ² resto caracteres | | (0) ² PA/PR; (0) ² resto caracteres | | (0) ² PA/PR; (0) ² resto caracteres | | (0) ² PA/PR; (0) ² resto caracteres | |

¹ Crecimiento absoluto, ² Tasas de crecimiento relativo.

Tabla 4. Rangos de variación de los caracteres morfológicos y relaciones entre la supervivencia y el crecimiento en campo con los atributos morfológicos en ensayos con *Quercus ilex* y *Q. coccifera*. Las celdas vacías indican carácter no estudiado o dato desconocido. En el caso de las relaciones positivas se indican con (+), las negativas con (-) y la ausencia de relación se indica con (0). Las relaciones con crecimiento lo son con crecimiento absoluto, excepto en aquellos casos indicados. PA: peso seco aéreo; PA/PR: relación entre el peso seco aéreo y el peso seco radical

| | Del Campo y Navarro, 2004a | Del Campo y Navarro, 2004a | Villar-Salvador et al., 2004 | Navarro y Del Campo, 2004 | Cortina et al., 1997 | Cortina et al., 1997 | Cortina et al., 1997 |
|--|--|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Condiciones del ensayo | | | | | | | |
| Especie..... | <i>Quercus ilex</i> | <i>Quercus ilex</i> | <i>Quercus ilex</i> | <i>Quercus ilex</i> | <i>Quercus ilex</i> | <i>Quercus coccifera</i> | <i>Quercus coccifera</i> |
| Localización..... | Córdoba | Córdoba | Madrid (Santorcaz) | Córdoba | Ombroclima seco | Ombroclima seco | Ombroclima semiárido |
| Precipitación media..... | 618 | 618 | 490 | 618 | 350-600 | 350-600 | 200-350 |
| Precep. del primer año del ensayo..... | 470 | 499 | 505 | 770 | | | |
| Preparación del suelo..... | Laboreo | Laboreo | Laboreo | Laboreo | | | |
| Tipo de parcela..... | Suelo agrícola | Suelo agrícola | Suelo agrícola | Suelo agrícola | Suelo forestal | Suelo forestal | Suelo forestal |
| Fecha de plantación..... | Diciembre 1998 | Diciembre 1999 | Abril 1999 | Noviembre 2002 | | | |
| Atributos morfológicos | | | | | | | |
| Altura..... | 11,1-22,6 | 8,5-17,5 | 9,7-19,6 | 11,8-33,4 | 4,0-20,0 | 13,6-29,6 | 11,5-25,1 |
| Diámetro..... | 3,21-5,02 | 2,83-4,49 | 4,07-5,97 | 3,56-4,45 | 1,5-4,6 | 2,2-3,8 | 2,2-3,6 |
| PA..... | 1,06-2,99 | 0,84-2,17 | 1,26-2,36 | 1,03-4,58 | | | |
| PA/PR..... | 0,34-0,70 | 0,32-0,59 | 0,39-0,71 | 0,37-1,04 | | | |
| Esbeltez..... | 2,96-5,28 | 2,54-4,59 | 2,04-4,07 | 3,3-7,55 | | | |
| Respuesta al establecimiento | | | | | | | |
| Supervivencia..... | (-) esbeltez, PA y PA/PR; (0) resto atributos | (0) todos caracteres | (+) altura, diámetro PA y PA/PR | (+) diámetro | (+) altura y diámetro | (0) altura, diámetro | (0) altura, diámetro |
| Crecimiento en altura..... | (-) PA/PR; (0) resto atributos | (-) PA; (0) resto atributos | (+) altura, diámetro PA y PA/PR | (+) esbeltez, diámetro PA y PA/PR | | | |
| Crecimiento en diámetro..... | (+) altura, esbeltez, PSA y PSA/PSR | (-) altura, diámetro y PSA; (0) resto | (+) altura, diámetro PA y PA/PR | (0) resto atributos | | | |

¹ Crecimiento absoluto, ² Tasas de crecimiento relativo, ³ Crecimiento en volumen.





Tabla 5. Rangos de variación de los caracteres morfológicos y relaciones entre la supervivencia y el crecimiento en campo con los atributos morfológicos en ensayos con arbustos mediterráneos. Las celdas vacías indican carácter no estudiado o dato desconocido. En el caso de las relaciones positivas se indican con (+), las negativas con (-) y la ausencia de relación se indica con (0). Las relaciones con crecimiento lo son con crecimiento absoluto, excepto en aquellos casos indicados. PA: peso seco aéreo; PA/PR: relación entre el peso seco aéreo y el peso seco radical

| | Trubat <i>et al.</i> , 2003 | Navarro y del Campo, 2004 | Cortina <i>et al.</i> , 1997 | Cortina <i>et al.</i> , 1997 | Trubat <i>et al.</i> , 2003 | Ceacero <i>et al.</i> , 2005 | Ceacero <i>et al.</i> , 2005 |
|---|--------------------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|---|---|---|
| Condiciones del ensayo | | | | | | | |
| Especie..... | <i>Quercus coccifera</i> | <i>Quercus coccifera</i> Córdoba | <i>Pistacia lentiscus</i> | <i>Pistacia lentiscus</i> | <i>Pistacia lentiscus</i> Alicante (Albatera) | <i>Pistacia lentiscus</i> Sevilla (Guadamar) | <i>Lavandula stoechas L.</i> Sevilla (Guadamar) |
| Localización..... | (Albatera) | | | | Semiárido | 729 | 729 |
| Precipit. media (mm)..... | | 618 | Ombroclima seco 350-600 | | Semiárido | | |
| Preparación del primer año del ensayo.. | | 770 | | | | 621 | 621 |
| Preparación del suelo..... | Ahoyado 40 cm | Laboreo | | | Ahoyado 40 cm | Subsolado lineal | Subsolado lineal |
| Tipo de parcela..... | Suelo forestal | Suelo agrícola | Suelo forestal | Suelo forestal | Suelo forestal | Suelo agrícola | Suelo agrícola |
| Fecha de plantación..... | Febrero 2003 | Noviembre 2002 | | | Febrero 2003 | | |
| Atributos morfológicos | | | | | | | |
| Altura..... | 8,2-17,3 | 19,4-21,5 | 25,1-45,3 | 22,9-37,1 | 7,7-19,5 | 16,3-27,3 | 26,2-55 |
| Diámetro..... | 3,0-4,1 | 2,6-4,7 | 5,1-7,3 | 4,9-7,3 | 1,6-4,2 | 3,4-4,6 | 1,7-3,4 |
| PA..... | | 0,7-2,4 | | | | 1,9-4,2 | 1,3-1,8 |
| PA/PR..... | | 0,5-0,9 | | | | 0,9-5,3 | 0,7-1,8 |
| Esbeltez..... | | 4,7-5,0 | | | | 0,8-4,2 | 6,3-18,5 |
| Respuesta al establecimiento | | | | | | | |
| Supervivencia..... | (0) altura | (0) | (0) altura y diámetro | (0) altura y diámetro | (-) altura | (-) PA/PR y PA; (0) resto atributos | (-) PA/PR; (0) resto atributos |
| Crecimiento en altura..... | | (0) ¹ y ² | | | | (0) | (0) |
| Crecimiento en diámetro..... | | | | | | (+) ² DCR; (0) ² resto atributos | |

¹ Crecimiento absoluto, ² Tasa de crecimiento relativo.

2. RELACIÓN ENTRE EL DESARROLLO POST-TRANSPLANTE Y LOS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS EN ESPECIES NO MEDITERRÁNEAS

La morfología de una planta al salir del vivero puede condicionar su capacidad de crecimiento y supervivencia en campo, pudiendo sus efectos durar varios años (Burdett, 1990). Por ello, muchos de los atributos morfológicos mencionados previamente se han empleado para predecir el desarrollo de las plantaciones (Ritchie, 1984; Thompson, 1985; Mexal y Landis, 1990; McGrath y Duryea, 1994; South, 2000). Estos trabajos demuestran que frecuentemente existen relaciones consistentes entre la morfología de los brinzales y su supervivencia y crecimiento en campo. Los caracteres que han tenido mejores resultados predictivos han sido la altura y peso seco de la parte aérea, el diámetro en el cuello de la raíz, el peso seco radical y el índice PA/PR. Por tanto, determinados atributos morfológicos pueden ser usados como indicadores del desarrollo potencial de las plantaciones forestales y clasificar las plantas en distintas categorías de calidad según sus características morfológicas (Navarro *et al.*, 1998). No obstante, la capacidad predictiva de los atributos morfológicos es limitada. Por ejemplo, si una planta se daña por una mala manipulación durante su transporte o por una helada temprana, los atributos morfológicos indicarán muy poco sobre el desarrollo de las plantas en campo (Fig. 1). Otra importante limitación es la dificultad de establecer predicciones generales a partir de datos experimentales provenientes de distintos años, lotes de plantas, o tipos de cultivo (raíz desnuda *vs.* contenedor), incluso para especies bien conocidas (Puttonen, 1997).

Aunque existen excepciones, de la revisión de la bibliografía de especies no mediterráneas se desprende que existe una tendencia a que las plantas con partes aéreas más grandes tienden a sobrevivir y a crecer más que las plantas con partes aéreas más pequeñas cuando se manejan de una forma adecuada o, por lo menos, no necesariamente presentan una mayor mortandad que las plantas más pequeñas. En general, las relaciones entre la supervivencia y el tamaño de la parte aérea de la planta son menos frecuentes y menos estrechas que las que se suelen observar entre el crecimiento y el tamaño de la parte aérea. Del mismo modo, la supervivencia y el crecimiento se relacionan peor con la altura, como medida del tamaño de la parte aérea, que el diámetro en el cuello de la raíz o el peso seco aéreo. En cuanto al atributo PA/PR, presenta la ventaja de un mayor valor interpretativo por su relación con la economía hídrica de la planta (Carlson, 1986; Lamhamedi *et al.*, 1998), lo cual puede ser particularmente importante en climas secos (Lloret *et al.*, 1999). Así, en especies no mediterráneas se han encontrado resultados que relacionan dicho índice con la respuesta inicial en plantación en planta cultivada a raíz desnuda (McDonald *et al.*, 1984), pero su utilidad como atributo de evaluación de calidad de planta también ha sido cuestionada para planta cultivada en contenedor (Bernier *et al.*, 1995).





Figura 1. Uno de los problemas normalmente achacados a la calidad morfológica de la planta es su ineficacia para detectar una pérdida de vigor en los plántones entre el vivero y la plantación, debida a un manejo inadecuado o a la posibilidad de heladas. En la fotografía, descarga de un lote de pino carrasco a su llegada al monte para repoblación.

3. ¿QUÉ RELACIÓN HAY ENTRE EL DESARROLLO POST-TRANSPLANTE Y LOS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS EN ESPECIES MEDITERRÁNEAS?

En las Tablas 1 a 5 se recogen los resultados publicados por autores españoles sobre la relación entre el desarrollo en campo de diversas especies y sus características morfológicas. Para extraer patrones generales de dicha revisión bibliográfica se ha contado el número de estudios en los que la relación entre el desarrollo en campo con los diferentes atributos morfológicos no era significativa (es decir el desarrollo de la plantación es independiente de la calidad morfológica de los plántones), o de existir alguna relación estadísticamente significativa se ha diferenciado entre tendencias positivas y tendencias negativas. Una tendencia positiva indicaría que el desarrollo de las plantas se incrementa con el aumento del carácter estudiado, mientras que una relación negativa indicaría lo contrario. Por ejemplo, una relación negativa entre la supervivencia y el tamaño de la planta indicaría que las plantas con mayor supervivencia son las más pequeñas mientras



que las de mayor tamaño tendrían menor supervivencia. Para analizar estadísticamente los resultados se comparan las frecuencias observadas de los tres posibles resultados con la frecuencia esperada si no existen diferencias entre los tres resultados (1:1:1).

Los resultados de la relación entre la supervivencia y el tamaño de la parte aérea de la planta, medida con la altura, el diámetro o PA, indican que de los 30 casos consultados, en aproximadamente la mitad no se halló relación significativa entre la supervivencia y el tamaño de la parte aérea de la planta. En un tercio de los casos la relación fue positiva, es decir, que las plantas de mayor tamaño presentan mayor supervivencia y en el 10% la relación fue negativa (Fig. 2). La diferencia de frecuencias de casos en los que no hay relación, o la relación es positiva o negativa es estadísticamente significativa ($\chi^2_{0,05, 2} = 9,80$; $P=0,0074$). Este mismo resultado se obtiene si se excluye del análisis la proporción de casos no significativos ($\chi^2_{0,05, 1} = 3,77$; $P=0,052$), es decir, que la frecuencia de casos en los que las relaciones son positivas es significativamente mayor que la frecuencia de casos negativos. Analizando estos datos en función del grado de aridez de la localidad de plantación, se observa que la frecuencia de distintos resultados no difiere entre las zonas más áridas (precipitación <400 mm) y las menos secas (≥ 400 mm) ($\chi^2_{0,05, 2} = 0,539$; $P=0,76$). Tampoco parece que el tipo de terreno (forestal o agrícola) determine los resultados de la relación entre la supervivencia y el tamaño de la planta. Se aprecia una tendencia a que la fre-

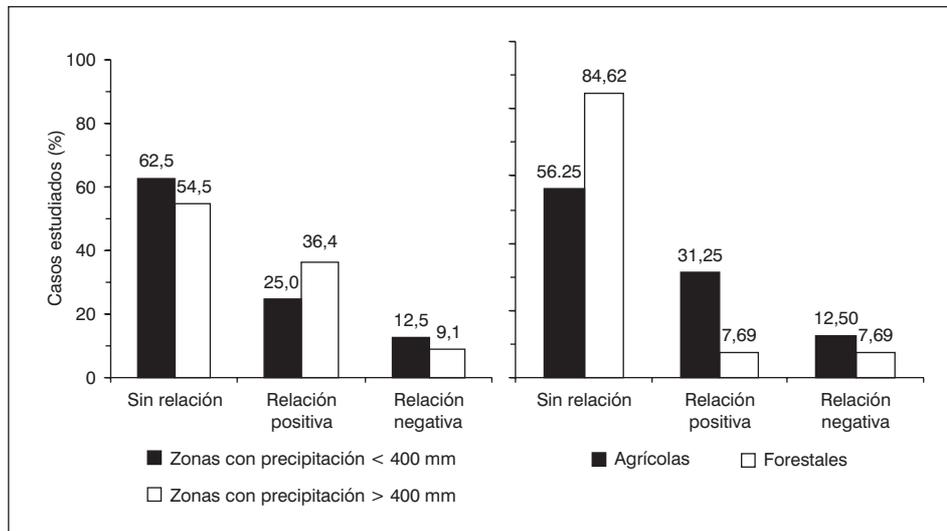


Figura 2. Porcentaje de casos en los que la relación entre la supervivencia de las plantas y el tamaño de la parte aérea no fue significativa (sin relación), o si la relación resultó significativa, la tendencia fue positiva o bien negativa. Los porcentajes están separados por el ombroclima de las parcelas (izquierda) y el tipo de terreno (derecha). El número de casos examinados es de 30.



cuencia de casos positivos sea mayor en los terrenos agrícolas que en los forestales y que la frecuencia de casos en los que no existe relación sea mayor en terrenos forestales que en agrícolas (Fig. 2). Sin embargo, dichas diferencias no son significativas ($\chi^2_{0,05,2} = 3,286$; $P=0,19$).

En cuanto a la relación entre la supervivencia y PA/PR, se observa que de los 18 casos en los que existe información, en aproximadamente la mitad no se observó relación alguna, mientras que en los casos en los que hubo relación, la frecuencia de casos positivos y negativos fue prácticamente la misma. Las diferencias de frecuencia de los tres posibles resultados no son estadísticamente significativas (Fig. 3).

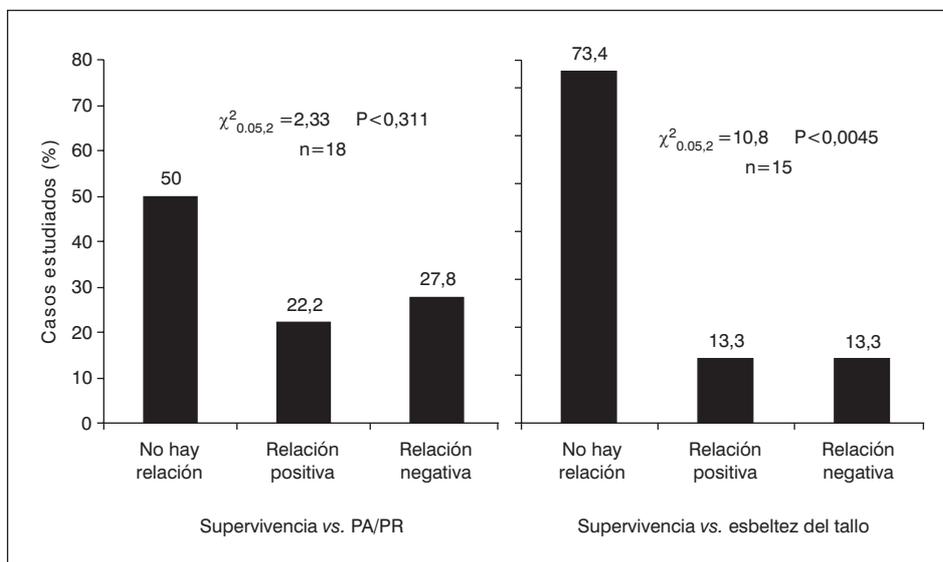


Figura 3. Porcentaje de casos en los que la relación de la supervivencia de las plantas con PA/PR (relación entre el peso seco aéreo y el peso seco de las raíces al salir del vivero) y la esbeltez (altura/diámetro) de los tallos no fue significativa (sin relación), o si la relación resultó significativa, la tendencia fue positiva o bien negativa. En las figuras se presenta también el análisis estadístico de frecuencias de los distintos resultados.

Finalmente, con respecto a la relación entre la supervivencia y la esbeltez de las plantas, en la gran mayoría de los 15 casos con información disponible no hubo relación significativa, mientras que la frecuencia de casos con relaciones positivas y negativas fueron los mismos. Las diferencias de frecuencia de los tres resultados son significativas (Fig. 3). Para la relación PA/PR y la esbeltez no se ha podido analizar si la frecuencia de casos difería con el ombroclima del lugar de plantación y el tipo de parcela debido a la escasez de resultados en las áreas más secas.



En especies mediterráneas, por tanto, la supervivencia no está relacionada en la mayoría de los casos con los atributos morfológicos de las plantas al salir del vivero. Sin embargo, cuando existe algún tipo de relación, la supervivencia tiende a ser mayor en las plantas de mayor tamaño que en las de menor tamaño. No existen evidencias de que esta tendencia cambie en las plantaciones de áreas más secas con respecto a las zonas más húmedas, ni en plantaciones hechas en terrenos forestales con respecto a los campos agrícolas abandonados. No existen tendencias claras de la supervivencia con la relación PA/PR o la esbeltez.

En cuanto a las relaciones del crecimiento absoluto en altura con el tamaño aéreo de la planta, se observa que en la mayor parte de los casos las relaciones no son significativas y entre las relaciones significativas, predominan las relaciones positivas. Las diferencias de frecuencia de los tres resultados posibles son estadísticamente distintas de la que se hubiese obtenido por azar (Fig. 4). La mayor frecuencia de casos positivos que de negativos no es significativa en ningún caso. Resultados semejantes a éstos se han observado en las relaciones entre crecimiento en diámetro y el tamaño aéreo de la planta, así como en los resultados de las relaciones del crecimiento en altura y en diámetro con PA/PR. El escaso número de casos no permite analizar las tendencias con la esbeltez ni las tendencias en función del ombroclima o del tipo de terreno de plantación.

De los resultados de crecimiento se desprende que, al igual que la supervivencia, en la mayoría de los casos la morfología tiene una baja influencia sobre el crecimiento.



CALIDAD DE PLANTA FORESTAL PARA LA RESTAURACIÓN EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS

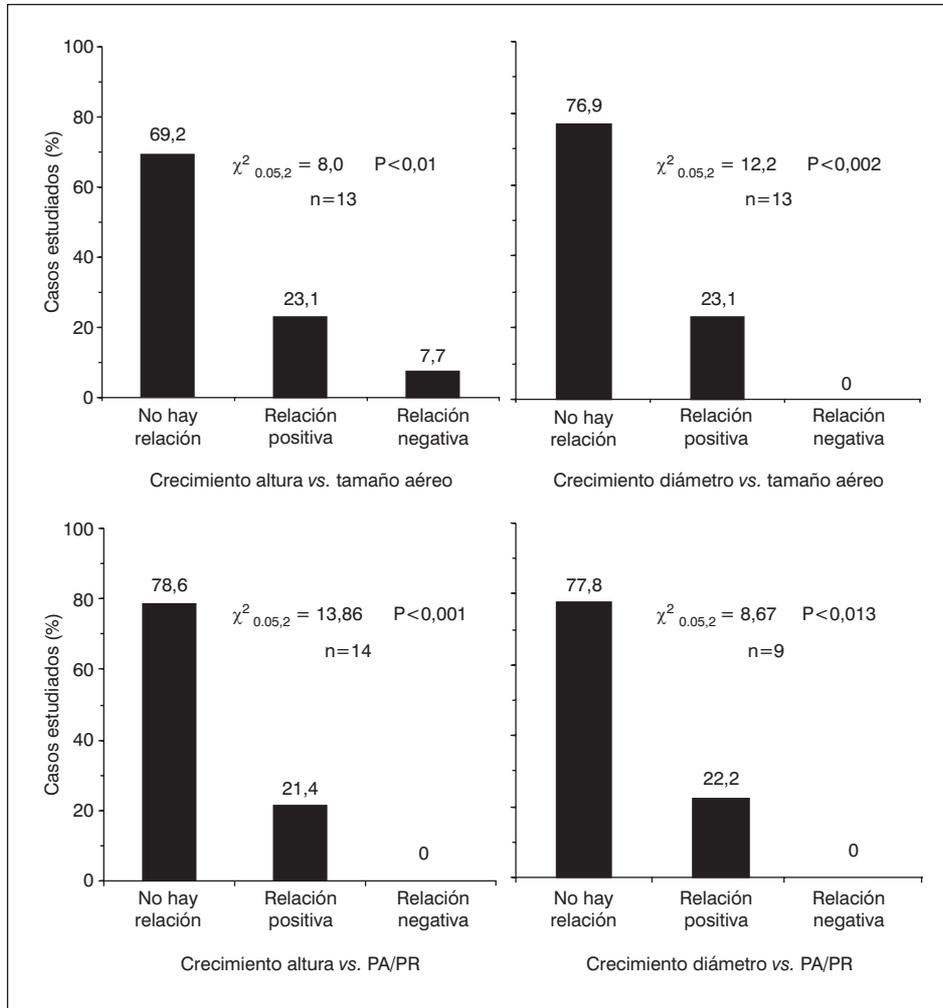


Figura 4. Porcentaje de casos en los que la relación del crecimiento absoluto en altura y en diámetro en campo con el tamaño de la parte aérea y la relación PA/PR al salir del vivero no fue significativa (sin relación), o si la relación resultó significativa, la tendencia fue positiva o bien negativa. En las figuras se presenta también el análisis estadístico de frecuencias de los distintos resultados.



4. PROPUESTA DE RANGOS DE VARIACIÓN ADECUADOS DE ALGUNOS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS PARA ESPECIES MEDITERRÁNEAS CULTIVADAS EN CONTENEDOR

En la Tabla 6 se sugieren rangos de valores de los atributos morfológicos de plantas cultivadas en contenedor en diferentes especies que potencialmente se asocian con buenos resultados de supervivencia y crecimiento en campo. Dichos rangos se han establecido a partir de los mejores resultados de supervivencia y crecimiento en varias localidades. Como se puede apreciar, se estrecha el rango de variación de altura contemplado en la legislación vigente de calidad de planta y se ha propuesto un rango de diámetros que puede ayudar a centrar los valores adecuados de dicho atributo. Los valores de la relación PA/PR y de la esbeltez dados son complementarios a la altura y al diámetro, y ayudan a caracterizar mejor la calidad morfológica de los lotes de planta. A nuestro juicio es mejor sugerir un rango de valores que valores concretos, dada la variedad de técnicas de cultivo empleadas para estas especies (Del Campo, 2002; ver Capítulo 7) y la escasa información disponible de muchas especies. Por otro lado, creemos que no existe un único valor ideal adecuado para todas las situaciones de repoblación debido a que probablemente haya numerosas interacciones entre las características morfológicas de las plantas

Tabla 6. Rangos de variación sugeridos de algunos parámetros morfológicos en especies mediterráneas cultivadas en contenedor en los que el desarrollo de la plantación puede ser adecuado. En aquellos caracteres y especies en los que existen dimensiones reguladas por normativa española (BOE 153, 27 de junio de 1998) su valor se indica entre paréntesis. Esbeltez: altura/diámetro, PA: peso seco aéreo, PR: peso seco radical

| | EDAD (n.º savias) | ALTURA (cm) | DIÁMETRO (mm) | ESBELTEZ (cm mm ⁻¹) | PA/PR (g g ⁻¹) |
|--|----------------------|----------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| CONÍFERAS | | | | | |
| <i>Pinus halepensis</i> | 1 | 15-30 (10-25) | 3-4 (>2) | 5-7 | 1,5-2,0 |
| <i>Pinus pinea</i> | 1 | 20-30 (10-30) | 3,5-4,5 (>3) | 5-7 | 2,0-2,5 |
| <i>Pinus canariensis</i> | 1 | 15-30 (10-25) | (>2) | | |
| <i>Pinus pinaster</i> | 1 | (10-30) | (>2) | | |
| <i>Abies pinsapo</i> | 2-3 | 8-9 (*) | 3-5 (>3,5) | 2-3 | 0,6-0,7 |
| ÁRBOLES Y ARBUSTOS PLANIFOLIOS Y MATORRALES | | | | | |
| <i>Quercus ilex</i> | 1 | 20-30 (8-30) | 4-5 (>2) | 4-7 | 0,6-1 |
| <i>Ceratonia siliqua</i> | 1-2 | 6-10 | 2-3 | 2-3 | 1-2 |
| <i>Olea europaea</i> var. <i>silvestris</i> | 1 | 30-50 | 4-5 | 7-12 | 2-4 |
| <i>Quercus coccifera</i> | 1 | >20 | >4 | 4-5 | 0,5-0,9 |
| <i>Pistacia lentiscos</i> | 1 | 15-30 | 3-5 | 4-7 | 0,9-2 |
| <i>Lavandula stoechas</i> | 1-2 | 25-50 | 2-4 | 7-15 | 0,9-2 |

* La altura mínima de calidad cabal será la mitad del contenedor y la máxima, la altura del contenedor.



y otros aspectos de la repoblación, como la calidad de la estación, el método de preparación del terreno, la fecha de plantación y los cuidados culturales. Los rangos de valores sugeridos deben utilizarse más bien como una guía general para que cada vivero ajuste su propio protocolo de cultivo para conseguir una morfología adecuada (Navarro *et al.*, 1998) y el repoblador conozca la potencialidad de la planta que utiliza.

5. ¿ES POSIBLE UNA APLICACIÓN PRÁCTICA DEL CONTROL DE ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS?

El uso de atributos morfológicos es actualmente el único requisito de calidad de planta forestal recogido por la normativa y, por tanto, exigible en los Pliegos de Condiciones Técnicas de los Proyectos de Repoblación Forestal. Sin embargo, a partir de la información recogida en este trabajo, y de acuerdo a otros sistemas de aceptación de planta (Scagel *et al.*, 1993; Servicio Forestal de Canadá, 2003), la aplicación más inmediata de



Figura 5. La gradación de los lotes comerciales de acuerdo a su morfología podría ayudar a una mejor expresión de la influencia de ésta sobre la respuesta en plantación. En la fotografía se observa distintas morfologías de un mismo lote de pino carrasco recibido en campo para plantación; altura, ramificación, área foliar o diámetro muestran una variación excesiva. Cuadrícula de 3×3 cm.



los atributos morfológicos es la clasificación de lotes en función de su calidad morfológica. La calidad de un determinado lote de planta respecto a sus atributos morfológicos, puede clasificarse según la homogeneidad de los mismos y su capacidad relativa de supervivencia y crecimiento en unas condiciones reales determinadas (Fig. 5). Ello puede hacerse mediante el uso de clasificaciones sencillas, representadas gráficamente a través de *ventanas de calidad* (Landis *et al.*, 1994; Navarro *et al.*, 1998; Navarro y del Campo, 2005, ver Capítulo 7) a partir de los atributos morfológicos presentados en esta sección: altura *vs.* diámetro o el peso seco aéreo *vs.* el peso seco radical. Un ejemplo se ilustra en la Fig. 6 (Hermoso *et al.*, 2004). Se representa el ajuste de una ventana de calidad para planta de *Pinus halepensis* en Valencia en función de la relación entre el peso seco aéreo y el radical. El trazo continuo se refiere a los valores que maximizan la supervivencia para la totalidad de los lotes ensayados en Valencia; el trazo discontinuo corto se corresponde con los valores obtenidos por los ensayos de Royo *et al.* (1996), y el trazo discontinuo largo se corresponde al reajuste para los resultados de la campaña de ensayos realizados en 2002. El trazo continuo rojo corresponde a la *planta tipo* producida en el período 2002-2003 como ajuste de las características morfológicas consideradas óptimas para esa especie en repoblaciones en Valencia.

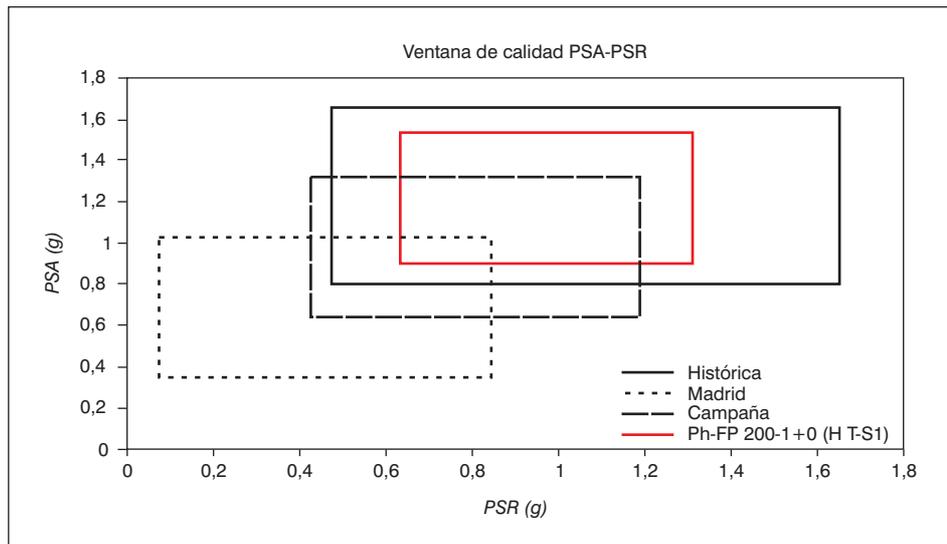


Figura 6. Ventanas de calidad para el peso seco aéreo (PA) y el radical (PR) en *Pinus halepensis*. El trazo continuo se refiere a los valores que maximizan la supervivencia para la totalidad de los lotes ensayados en Valencia en el período 2000-2003; el trazo discontinuo corto se corresponde a valores obtenidos en los ensayos de Royo *et al.* (1996); el trazo discontinuo largo corresponde al reajuste para los resultados de la campaña de ensayos realizados en el 2002. El trazo continuo rojo corresponde a la planta tipo de pino carrasco producida en el vivero en el año 2002-2003 como ajuste de las características morfológicas consideradas óptimas para esa especie en repoblaciones en Valencia.



Los datos recogidos en la Fig. 6 ponen en evidencia el incremento de tamaño de la planta cultivada en los viveros públicos de Valencia en los últimos años con respecto a los valores de campañas anteriores (Royo *et al.*, 1996). Ello se debe a una mejora de las condiciones de cultivo (envase, sustrato y fertilización principalmente), así como a la progresiva aceptación, por parte de los repobladores, de planta de mayor tamaño. La utilidad de esta ventana, por tanto, consiste en que para los viveros y los destinos estudiados, el cultivo en el vivero se programará para producir plantas cuyas características morfológicas se ajusten a esos rangos de peso aéreo y radical. Es evidente que esto no garantiza una calidad óptima de la planta, pero creemos que tiene una ventaja importante, homogeneiza las prácticas de cultivo y la morfología final de la planta de acuerdo a una respuesta observada en campo.

6. CONCLUSIÓN

La altura, el diámetro, la esbeltez y la proporción entre el tamaño aéreo y el radical son atributos válidos para el control de calidad de los lotes en especies mediterráneas cultivadas en contenedor ya que son buenos indicadores de la forma de cultivo en el vivero. Sin embargo, la morfología de la planta tiene una baja capacidad de predicción de la supervivencia y el crecimiento de las repoblaciones mediterráneas. Ello sugiere que existen otros factores de la repoblación que tienen un peso mayor que la calidad morfológica de las plantas a la hora de determinar los resultados finales. Por ejemplo, el clima del año de plantación, el método de preparación del suelo, la calidad edáfica, la adecuación de la especie a la estación, la competencia herbácea en los campos agrícolas abandonados o la calidad fisiológica de los plantones pueden ser factores de mayor peso que la calidad morfológica de las plantas. La revisión de los trabajos publicados hasta ahora con especies mediterráneas no respalda la hipótesis general que existe entre muchos profesionales dedicados a la reforestación y restauración forestal de que las plantas de una savia más grandes y con relaciones PA/PR más elevadas son más vulnerables una vez transplantadas. Por el contrario, puede ser recomendable utilizar, para una edad concreta, planta de tamaño medio-grande pero con una esbeltez y una relación PA/PR equilibrada, es decir evitando valores pequeños o excesivamente grandes dentro de los rangos propios de cada especie. Es importante separar morfología y edad de la planta. Para conseguir planta de mayor tamaño no se debe recurrir a planta de dos o más savias si se puede conseguir planta de calidad morfológica adecuada con una savia (Nicolás *et al.*, 2006). Igualmente y con el fin de garantizar una calidad morfológica adecuada quizá sea necesario revisar al alza los valores inferiores de los rangos de altura y diámetro considerados en la legislación de calidad morfológica.

Quedan muchas preguntas por contestar. En el futuro los esfuerzos de investigación deberán encaminarse principalmente a establecer evidencias más sólidas en los patrones descritos en los apartados anteriores y analizar las interacciones entre la morfología de las plantas y otros aspectos de la repoblación. A partir de los resultados obtenidos es posible pensar en una clasificación de las plantas a través de *ventanas de calidad* basadas en atributos morfológicos, básicamente relaciones altura/diámetro, y relaciones parte aé-



rea/parte radical. Este procedimiento de clasificación se ha generalizado a muchos viveros fuera de España (Servicio Forestal de Canadá, 2003), como una consecuencia práctica de la aplicación de los atributos morfológicos para mejorar los resultados de las repoblaciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de ASOCIAFLOR, y de los viveros Paisajes del Sur (Granada), Andarax (Almería), Sierra Norte (Sevilla), Ponce Lajara, Zulaime (Granada), y la Red de Viveros de Andalucía de la Consejería de Medio Ambiente, por su generosidad a la hora de compartir con nosotros su experiencia, su ilusión por producir planta de la mejor calidad posible, y sobre todo por su amistad. Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación recibida del Ministerio de Medio Ambiente y los proyectos CGL2004-00355/BOS y la red REMEDINAL S-0505/AMB/0335.

REFERENCIAS

- BERNIER, P. Y.; LANHAMEDI, M. S. y SIMPSON, D. G. (1995). Shoot:root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. *Tree Planters' Notes* 46(3): 102-106.
- BRISSETE, J. C.; BARNETT, J. P. y LANDIS, T. D. (1991). Container seedlings. En: Duryea, M. L. & Dougherty, P. M. (Eds.) *Forest Regeneration Manual*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 117-141.
- BURDETT, A. N. (1990). Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 415-427.
- CARLSON, W. C. (1986). Root system considerations in the quality of loblolly pine seedlings. *Southern Journal of Applied Forestry* 10: 87-92.
- CEACERO RUIZ, C.; NAVARRO CERRILLO, R. M. y DEL CAMPO GARCÍA, A. (2005). Caracterización morfológica final y respuesta en campo de dos especies de matorral mediterráneo. *Ecología* 19: 113-128.
- CHAVASSE, C. G. R. (1980). Planting stock quality: a review of factors affecting performance. *New Zealand Journal of Forestry* 25(2): 144-171.
- CORTINA, J.; VALDECANTOS, A.; SEVA, J. P.; VILAGROSA, A.; BELLOT, J. y VALLEJO, R. (1997). Relación tamaño-supervivencia en plantones de especies arbustivas y arbóreas mediterráneas. *Actas del II Congreso Forestal Español*. Mesa 3: 159-164, Pamplona.
- DEL CAMPO, A. D. (2002). Régimen de cultivo, desarrollo en vivero, calidad de planta y respuesta al establecimiento en cuatro especies de frondosas mediterráneas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 310 pp.
- DEL CAMPO, A. D. y NAVARRO, R. M. (2004a). Calidad de lotes comerciales de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.). Evaluación de su respuesta en campo. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 17: 35-42.



- DEL CAMPO, A. D. y NAVARRO, R. M. (2004b). Calidad de lotes comerciales de acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.). Evaluación de su respuesta en campo. Cuadernos de la S.E.C.F. 17: 43-50.
- DEY, D. C. y PARKER, W. C. (1997). Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings underplanted in a central Ontario shelterwood. *New Forests* 14: 145-156.
- HERMOSO, J.; NAVARRO, R. M. y DEL CAMPO, A. (2004). Caracterización del cultivo y control de calidad de planta en el vivero de la Hunde. Generalitat de Valencia-Universidad de Córdoba-Universidad de Valencia-VAERSA. Informe final. No publicado.
- LAMHAMEDI, M. S.; BERNIER, P. Y.; HÉBERT, C. y JOBIDON, R. (1998). Physiological and growth responses of three sizes of containerized *Picea mariana* seedlings outplanted with and without vegetation control. *Forest Ecology and Management* 110: 13-23.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; MCDONALD, S. E. y BARNETT, J. P. (1994). Nursery planning, development and management, Vol. 1, The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 188 pp.
- LLORET, F.; CASANOVAS, C. y PEÑUELAS, J. (1999). Seedling survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Functional Ecology* 13: 210-216.
- LUIS, V. C.; CLIMENT, J.; PETERS, J.; PÉREZ PUÉRTOLAS, J.; MORALES, D.; JIMÉNEZ, M. S. y GIL, L. (2004a). Evaluación de la calidad de plántulas de *Pinus canariensis* cultivadas con diferentes métodos en la supervivencia y crecimiento en campo. Cuadernos de la S.E.C.F. 17: 63-67.
- LUIS, V. C.; PETERS, J.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. M.; JIMÉNEZ, M. S. y MORALES, D. (2004b). Testing nursery plant quality of canary island pine seedlings grown under different cultivation methods. *Phyton* 44: 231-244.
- MATTSSON, A. (1997). Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests* 13: 227-252.
- MEXAL, J. G. y LANDIS, T. D. (1990). Target seedling concepts: height and diameter. En: Rose, R. (Eds.). Target seedling symposium: Proceedings, combined meeting of the western forest nursery associations. Roseburg, OR. GTR: RM-200. USDA Forest Service, pp. 17-34.
- MCDONALD, S. E.; TINUS, R. W.; REID, C. P. P. y GROSSNICKLE, S. C. (1984). Effect of CuCO_3 container wall treatment and mycorrhizae fungi inoculation of growing medium on pine seedling growth and root development. *Journal of Environmental Horticulture* 2: 5-8.
- McGRATH, D. A. y DURYEY, M. L. (1994). Initial moisture stress, budbreak and two-year field performance of three morphological grades of slash pine seedlings. *New Forests* 8: 335-350.
- NAVARRO, R. M.; GÁLVEZ, C.; CONTRERAS, V. y DEL CAMPO, A. (1998). Protocolo para la caracterización del cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Consejería de Agricultura y Pesca, E.T.S.I. Agrónomos y de Montes, Córdoba. 78 pp.
- NAVARRO, R. M. y DEL CAMPO, A. (2004). Evaluación de calidad de lotes comerciales de varias especies forestales. Universidad de Córdoba-ASOCIAFLOR. Informe final. No publicado.
- NAVARRO, R. M.; RETAMOS, M. J.; LÓPEZ, J.; DEL CAMPO, A. y SALMORAL, L. (2006). Nursery practices and field performance for the endangered Mediterranean species *Abies pinsapo* Boiss. *Ecological Engineering* (en prensa).



- NAVARRO CERRILLO, R. M. y CALVO, J. (2002). Efecto de la fertilización de crecimiento con N sobre la arquitectura y el contenido de almidón en la raíz de brinzales de *Pinus halepensis* Mill.; *Pinus pinaster* Aiton.; *Pinus pinea* L. SCIENTIA gerundensis 26: 5-21.
- NAVARRO, R. M. y DEL CAMPO, A. D. (2005). Evaluación de la calidad de lotes comerciales de encina (*Quercus ilex* L. subs. *ballota* (Desf.) y acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.): tres años de ensayos. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 Sep. Vol. abstracts + CD; p. 199 (8 pp).
- NICOLÁS, J. L.; VILLAR-SALVADOR, P. y PEÑUELAS, J. L. (2006). Efecto de la edad de la planta y el tipo de preparación del suelo en la supervivencia y crecimiento de *Quercus faginea* Lam. cultivado en contenedor. Cuadernos de la S.E.C.F. 17: 205-209.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; LÓPEZ, M. y ARTERO, F. (1997). Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. Cuadernos de la S.E.C.F. 4: 69-79.
- PALACIOS RODRÍGUEZ, G. y NAVARRO CERRILLO, R. M. (2001). Caracterización de la calidad de planta en vivero de seis procedencias de pino piñonero. Universidad de Córdoba-Consejería de Medio Ambiente. Informe final. No publicado.
- PEMÁN, J.; RIBELLES, M. y NAVARRO CERRILLO, M. (2000). Repoblaciones forestales: Análisis del marco legal. Universidad de Lérida. Lérida. 300 pp.
- PUÉRTOLAS, J. (2003). Efecto del riego y la fertilización nitrogenada sobre la calidad de planta de *Pinus halepensis* Mill. y su comportamiento en campo. Tesis doctoral inédita. Universidad Politécnica de Madrid.
- PUÉRTOLAS, J.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. Forestry 76: 159-168.
- PUTTONEN, P. (1997). Looking for the "silver bullet"- can one test do it all? New Forests 13: 9-27.
- RITCHIE, G. A. (1984). Assessing seedling quality. In: Duryea, M. L. y Landis, T. D. (Eds.). Forest nursery manual: production of bareroot seedlings. The Hague: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk publishers, for Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR, pp. 243-259.
- ROMERO, A. E.; RYDER, J.; FISHER, J. T. y MEXAL, J. G. (1986). Root system modification of container stock for arid land plantation. Forest Ecology and Management 16: 281-290.
- ROYO, A.; FERNÁNDEZ, M.; GIL, L.; GONZÁLEZ, E.; PUELLES, A.; RUANO, R. y PARDOS, J. (1997). La calidad de la planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. destinada a repoblación forestal. Tres años de resultados en la comunidad valenciana. Montes 50: 29-39.
- SCAGEL, R.; BOWDEN, R.; MADILL, M. y KOOISTRA, C. (1993). Provincial seedling stock type selection and ordering guidelines. British Columbia. Min. of Forests. SD404.P76. 76 pp.
- SERVICIO FORESTAL DE CANADÁ (2003) www.for.gov.bc.ca/nursery/stockselection/poster
- SOUTH, D. B. (2000). Planting morphologically improved pine seedlings to increase survival and growth. Forestry and Wildlife Research Series N.º 1. Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama. 12 pp.
- THOMPSON, B. E. (1985). Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. En: Duryea, M. L. (Ed.), Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Oregon State University, Corvallis (Oregon), pp. 59-71.



- TRUBAT, R.; CORTINA, J. y VILAGROSA, A. (2003). Estado nutricional y establecimiento de especies leñosas en ambiente semiárido. Cuadernos de la S.E.C.F. 17: 245-251.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PEÑUELAS, J. L. y CARRASCO, I. (2000). Plantas grandes y mejor nutridas de *Pinus pinea* L. tienen mejor desarrollo en campo. 1^{er} Simposio de Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.). I. (Ed.). Junta de Castilla y León, Valladolid, pp. 219-227.
- VILLAR-SALVADOR, P. (2003). Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. En: Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Rey-Benayas, J. M.; Espigares Pinilla, T. y Nicolau Ibarra, J. M. (Eds.), Universidad de Alcalá/Asociación Española de Ecología Terrestre, pp. 65-86.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E. y PEÑUELAS RUBIRA, J. (2004). Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. Forest Ecology and Management 196: 257-266.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- CORTINA, J.; VALDECANTOS, A.; SEVA, J. P.; VILAGROSA, A.; BELLOT, J. y VALLEJO, R. (1997). Relación tamaño-supervivencia en plantones de especies arbustivas y arbóreas mediterráneas. Actas del II Congreso Forestal Español. Mesa 3: 159-164, Pamplona.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E. y BARNETT, J. P. (1994). Nursery planning, development and management, Vol. 1, The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 188 pp.
- NAVARRO, R. M. y DEL CAMPO, A. D. (2005). Evaluación de la calidad de lotes comerciales de encina (*Quercus ilex* L. subs. *ballota* (Desf.) y acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.): tres años de ensayos. En: IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 Sep. Vol. abstracts + CD; p. 199 (8 pp).
- PUTTONEN, P. (1997). Looking for the “silver bullet”- can one test do it all? New Forests 13: 9-27.
- SERVICIO FORESTAL DE CANADÁ (2003). www.for.gov.bc.ca/nursery/stockselection/poster
- VILLAR-SALVADOR, P. (2003). Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. En: Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Rey-Benayas, J. M., Espigares Pinilla, T. y Nicolau Ibarra, J. M. (Eds.), Universidad de Alcalá/Asociación Española de Ecología Terrestre, pp. 65-86.





Influencia del estado nutricional y el contenido en carbohidratos en el establecimiento de las plantaciones

JUAN A. OLIET, ALEJANDRO VALDECANTOS, JAIME PUÉRTOLAS y ROMÁN TRUBAT

RESUMEN

El estado nutricional de la planta de vivero afecta a sus atributos morfológicos y fisiológicos. En esta sección se revisa el papel de los principales macronutrientes en la calidad de la planta a través de su respuesta pos-trasplante. El nitrógeno y el fósforo son los macroelementos con mayor influencia en el desarrollo en vivero, con consecuencias sobre la respuesta pos-trasplante. El nitrógeno afecta a la capacidad de asimilación, con efectos favorables en algunas especies forestales, pero también promueve un desequilibrio morfológico de consecuencias negativas en el trasplante de otras. El fósforo, a través de la mejora del desarrollo radical, parece tener efectos positivos en la supervivencia y el crecimiento pos-trasplante. Se discute asimismo las relaciones entre morfología y estado nutricional a través del contenido total de un nutriente, que predice mejor el crecimiento pos-trasplante. Asimismo, se destaca la importancia de la interacción entre el estado nutricional y las condiciones edáficas del lugar de plantación.

ASPECTOS BIEN CONOCIDOS

- *El manejo de la fertilización en vivero es una de las herramientas más eficaces para modelar la calidad final de la planta producida.*
- *Las plantas más fertilizadas tienen, al final del cultivo, un mayor tamaño y una concentración de nutrientes más elevada.*
- *Se ha demostrado en muchos estudios que estas características -tamaño grande y elevada concentración de nutrientes- mejoran notablemente la respuesta de la planta en el campo en términos sobre todo de crecimiento y, menos claramente, de supervivencia.*
- *Por tanto, el endurecimiento nutricional, aplicado tradicionalmente en los viveros mediante el cultivo de la planta en condiciones de baja fertilidad, es una práctica que debe reemplazarse por un manejo de la nutrición que no someta a la planta a estrés nutricional. Esto dará lugar a fenotipos vigorosos, con capacidad de soportar el impacto del trasplante y de la sequía estival posterior.*



ASPECTOS POCO CONOCIDOS

- *Debe profundizarse en la relación estado nutricional-morfología, tratando de delimitar el papel de los nutrientes per se en la respuesta pos-trasplante, separándolos del tamaño inicial y del equilibrio aéreo-radical. Las plantas más fertilizadas en vivero, ¿crecen más en campo porque son más grandes o porque están mejor nutridas?*
- *Si, como sucede en otras especies forestales de ámbitos no mediterráneos, las plantas con altas concentraciones de nutrientes pero morfológicamente equilibradas tienen un comportamiento muy positivo en campo, deben desarrollarse técnicas para promover la sobrecarga nutricional en vivero para nuestras especies.*
- *¿Cómo afecta la fertilidad y características físicas del suelo en el papel del estado nutricional en la respuesta postrasplante? Profundizar en esta relación permitiría mejorar la calidad de la planta, adaptando los programas de fertilización en vivero al destino de plantación.*
- *La concentración de carbohidratos ha demostrado ser relevante en otras condiciones de plantación y especies diferentes a las nuestras, si bien los estudios en planta mediterránea no son concluyentes.*

A. ESTADO NUTRICIONAL Y COMPORTAMIENTO EN CAMPO

1. INTRODUCCIÓN

Las adaptaciones morfológicas y funcionales de las plantas a la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo han devenido un tema central en la investigación (Aerts y Chapin, 2000). La relación entre la concentración en los tejidos vegetales de un nutriente mineral esencial y el crecimiento de la planta, que da lugar a estados de deficiencia o carencia, no limitación, consumo óptimo, consumo de lujo y toxicidad, es bien conocida. Esta relación se explica por el efecto de cada nutriente esencial en muchos procesos fisiológicos, una de cuyas manifestaciones más evidentes es el crecimiento. Sin embargo, el viverista no persigue tanto la producción de máximas cantidades de biomasa como su distribución equilibrada entre parte aérea y radical, la acumulación de reservas, la capacidad de arraigo, la resistencia a estrés, etc., características conducentes a una pronta reacción post-transplante y, por tanto, un mayor éxito de las plantaciones. Desde el punto de vista nutricional, debe conseguir un valor óptimo de la concentración de nutrientes situado en algún punto indeterminado, difícil de precisar y, aunque no necesariamente coincidente con los valores óptimos para el crecimiento, que maximice la calidad de la planta. Lo que sí está claro es que el estado nutricional de la planta debe permitir su crecimiento en buenas condiciones de vigor durante el cultivo en vivero; esto descarta tanto los estados de carencia marcados como los de toxicidad.

Por ello, frente a la creencia –muy consolidada en ciertos sectores relacionados con la producción viverística con fines de repoblación en España– de que las plantas poco



fertilizadas salen al campo *habituadas* a soportar situaciones de carencia nutritiva y, por tanto, *endurecidas*, es necesario llamar la atención sobre el hecho de que la fertilización, principal responsable del estado nutricional, debe aplicarse en las cantidades y proporciones justas para producir planta de calidad. Ningún ser vivo debilitado por la falta de recursos puede estar mejor capacitado que otro bien nutrido y vigoroso para soportar situaciones de carencias o de estrés venideros. Y, por el contrario, el exceso en uno o varios elementos nutritivos puede provocar alteraciones morfológicas y fisiológicas que lo hagan incapaz de soportar dichas situaciones.

La fertilización es, después del riego, la práctica cultural que más directamente influye en el desarrollo de las plantas en vivero. La administración de la fertilización es la principal responsable del estado nutritivo final de la planta (Landis, 1985). El estado nutricional es un elemento esencial en la calidad de la planta producida en vivero de cara a su establecimiento en condiciones de campo. El estado nutricional afecta básicamente a los procesos fisiológicos de las plantas, como la regulación del crecimiento, el flujo de energía, y la síntesis de las complejas moléculas orgánicas que componen las plantas. Asimismo la fertilización regula el crecimiento y el balance aéreo-radical (PA:PR), en definitiva, la morfología final de la planta (Fig. 1). Vemos entonces cómo la fertilización



Figura 1. Aspecto de planta de *Tetraclinis articulata* cultivada bajo distintos regímenes de fertilización. De izquierda a derecha: Plantacote, solución completa (control), endurecimiento nutricional (reducir el aporte de nitrógeno un mes antes de la plantación), misma solución que el control sin micronutrientes, la mitad de concentración de la solución control, igual pero sin P e igual sin N. (Foto: Roman Trubat).



interviene en las dos vertientes materiales de calidad de planta, fisiología y morfología. Cada especie tiene unos requerimientos particulares de nutrientes que le permiten un crecimiento y vigor óptimos. Estos requerimientos no son constantes y cambian según las plantas crecen y se desarrollan (Birchler *et al.*, 1998).

El objetivo de esta Sección es aportar información para mejorar el conocimiento sobre dónde debe situarse la concentración de nutrientes en las especies forestales con fines de repoblación mayoritariamente utilizadas en España, es decir, definir con la mayor precisión posible el estado nutricional que optimice la calidad de los brinzales.

2. ANTECEDENTES

2.1. *Función de los macronutrientes principales en relación con la calidad de la planta*

Todos los nutrientes esenciales, por su condición, son imprescindibles para el mantenimiento de las estructuras y de las funciones vitales en la planta. Puesto que los macronutrientes primarios, nitrógeno, fósforo y potasio, constituyen el 75% de la concentración de todos los nutrientes de un tejido vegetal tipo, son los que reciben más atención en la programación de la fertilización en vivero. Los menores requerimientos por parte de la planta de otros macro y micronutrientes, junto con su presencia natural en los sustratos, agua de riego o en la composición de fertilizantes NPK, garantizan en muchos casos niveles suficientes en la planta (Landis, 1997). En consecuencia, en este apartado tan sólo se mencionarán algunas de las funciones de los tres macronutrientes N, P y K en la planta forestal de vivero que están más relacionadas con la respuesta post-trasplante.

2.1.1. *Nitrógeno*

Es el macroelemento más abundante y mejor relacionado con el crecimiento en vivero, siendo parte constituyente de muchos compuestos vitales en el desarrollo, como la clorofila, los aminoácidos y las proteínas. En particular, este elemento constituye parte fundamental de las enzimas que reducen el carbono en la fotosíntesis (Margolis y Brand, 1990). Así, la concentración de nitrógeno en las hojas está relacionada con la capacidad de recuperación de la actividad tras la plantación, a través de una mayor eficiencia fotosintética de las hojas ricas en este elemento (Folk *et al.*, 1996), aspecto de vital importancia cuando el estrés hídrico post-trasplante produce un descenso en la conductancia estomática. Existen numerosas referencias en la bibliografía que ponen de manifiesto un efecto positivo de la concentración de N en hojas sobre la tasa de asimilación en especies como *Pinus taeda* (Green y Mitchell, 1992), *P. palustris* (Jose *et al.*, 2003) o varias especies del género *Picea* (Grossnickle, 2000). Respuestas parecidas se han encontrado también en plantas de vivero de especies frondosas



como *Quercus robur* (Hormilla *et al.*, 1997); también en una frondosa mediterránea (*Ceratonia siliqua*), Planelles (2004) observó una relación positiva, y significativa en determinados meses, entre la dosis de N aportada en vivero y la tasa neta de fotosíntesis durante el año posterior a la plantación en ambientes semiáridos (Fig. 2). Esto conduce en muchas especies a incrementar la velocidad de extensión de nuevas raíces cuando para ello dependen fundamentalmente de la producción de nuevos fotosintatos.

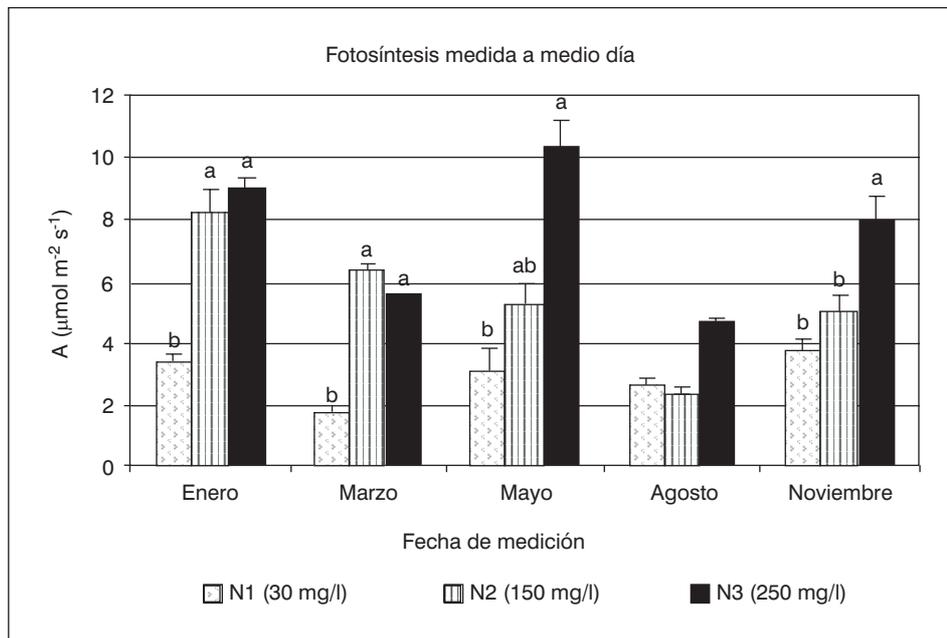


Figura 2. Tasa neta de fotosíntesis a mediodía (+EE) durante el año siguiente a la repoblación de plantas de *Ceratonia siliqua* cultivadas con tres dosis de nitrógeno. Para un mismo mes, columnas con letras distintas difieren significativamente (n.s. = 0,05) (Planelles, 2004).

Sin embargo, el N realiza otras funciones en la planta que podrían, al menos en teoría, afectar negativamente al comportamiento de la planta. La absorción de nutrientes por las plantas en contenedor es elevada, ya que las condiciones en el medio de crecimiento, tales como la temperatura, el nivel de humedad y el pH, propician una rápida absorción de iones. La absorción de N es la más susceptible de alcanzar niveles de consumo excesivos durante la fase de crecimiento rápido en vivero, cuando son empleados niveles muy altos de N. En estos casos, los efectos de un exceso de N en planta pueden manifestarse en diferentes ámbitos de la fisiología de la planta. En primer lugar, ciertos atributos fisiológicos relacionados con la tolerancia a diversas formas de estrés (Sección 5.2.) se pueden perder o



disminuir con un exceso de nitrógeno (Tan y Hogan, 1997; Fløistad y Kohmann, 2004). En segundo lugar, incrementos de nitrógeno por encima de ciertos niveles conducen a desequilibrios importantes entre parte aérea y radical de la planta en contenedor (Capítulo 4), debido al superior desarrollo aéreo inducido por el N como tal, pero también porque el crecimiento de las raíces, que también podría verse estimulado ante aportes de este elemento, está limitado por su confinamiento en el envase (Oliet *et al.*, 1999, Figs. 3, 4, 5). Finalmente, existe otra propiedad del N que puede afectar negativamente a la calidad de la planta cuando se incrementa únicamente su aporte y no el de otros nutrientes: dada la fuerte respuesta a este elemento en crecimiento, aportes crecientes pueden provocar fenómenos de dilución de otros elementos minerales (Grossnickle, 2000), provocando desequilibrios nutricionales, así como disminución de carbohidratos de reserva (Marshall, 1985), los cuales pueden resultar fundamentales en el proceso de arraigo (apartado B).

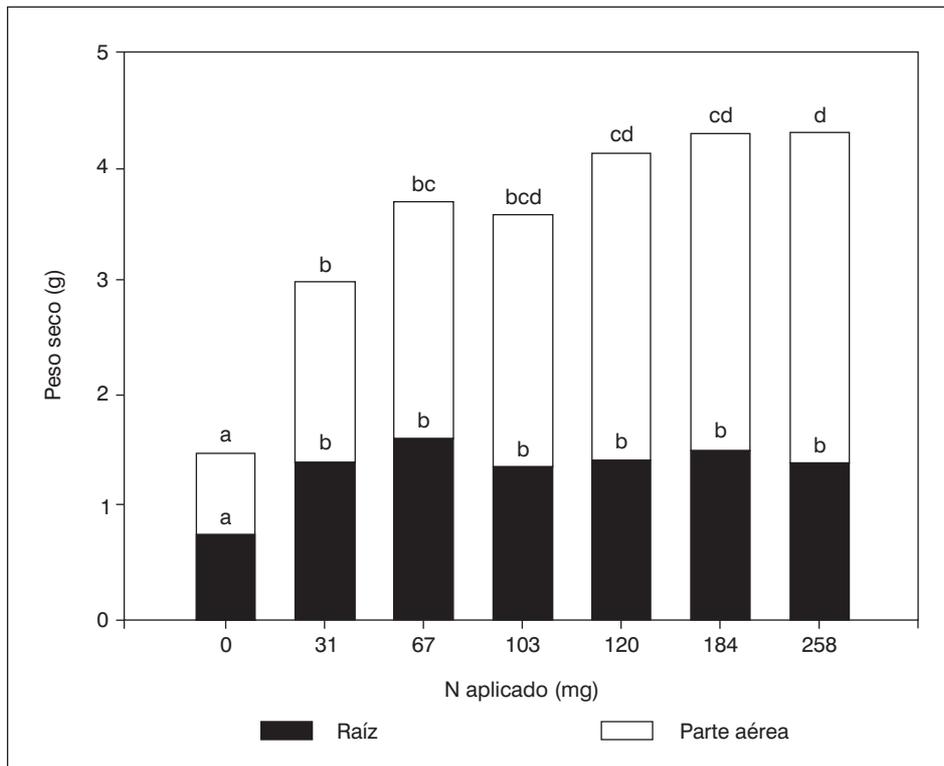


Figura 3. Peso seco aéreo y radical en planta de *Pinus halepensis* cultivada por 10 meses en envases de 230 cm³ frente a aportes crecientes de N (eje de abscisas). En cada fracción columnas con distinta letra difieren significativamente (n.s. = 0,05) (Oliet *et al.*, 1999).





Figura 4. Efecto de la dosis de nitrógeno sobre el crecimiento en biomasa de planta de *Quercus ilex* cultivada durante 9,5 meses en vivero. De izquierda a derecha: 25 mg de N, sin N, 100 mg de N (régimen exponencial) y 100 mg de N (régimen constante). (Foto: Juan Oliet).



Figura 5. Planta de *Pinus halepensis* cultivada durante 11 meses en vivero tras aplicar 240 mg de N en forma de fertilizante de liberación lenta. El desarrollo aéreo es considerable, observándose además muerte del follaje en la parte inferior. (Foto: Juan Oliet).



Los síntomas de deficiencia de nitrógeno, incluyen clorosis, especialmente en las hojas inferiores del individuo, y reducción del crecimiento, presentando sus hojas células pequeñas de paredes gruesas (Wild y Jones, 1992).

Otro aspecto de gran importancia respecto a la fertilización nitrogenada es la fuente de nitrógeno, que incluso puede llegar a ser más importante que la dosis de N final suministrada. Las plantas pueden absorber este elemento en forma de nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$) o de amonio ($\text{NH}_4\text{-N}$), aunque la preferencia por una u otra fuente parece ser una cuestión específica (Grossnickle, 2000). En general, parece que la absorción de N en forma amoniacal conviene más a las especies acidófilas menos exigentes, como plantas de la familia de las ericáceas y muchas coníferas (Duchaufour, 1987). No existe mucha información sobre la preferencia de las especies leñosas mediterráneas por las diferentes fuentes de N, a pesar de que este conocimiento es fundamental para conseguir un uso eficiente de los fertilizantes. En *Pinus pinaster*, se observó que la preferencia por el amonio era claramente superior que por el nitrato (Plassard *et al.*, 2000). En *Quercus petraea*, no se observaron diferencias significativas de crecimiento entre la fertilización con nitrato, amonio o una combinación de ambos (Berger y Glatzel, 2001), mientras que en *Q. robur*, la fertilización con NH_4NO_3 produjo plantas más grandes que las fertilizadas solamente con nitrato (Thomas y Hilker, 2000).

De la Tabla 1 puede deducirse que los valores óptimos de concentración de N en el tejido foliar en especies del género *Pinus* ronda los $20 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, lo que coincide también con las conclusiones de Landis (1989). Asimismo, se aprecia que la concentración media de pino carrasco en los viveros comerciales es muy inferior a la recomendada por los autores.

Tabla 1. Concentraciones de nitrógeno en tejido foliar de diferentes coníferas y efecto sobre la calidad de la planta en varias experiencias.

| Fuente | Nitrógeno (mg/g) | Especie | Observaciones |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|--|
| Duryea y McClain (1984a) | 17-23 | General | |
| Boyer y South (1985) | 17-23 | Género <i>Pinus</i> | |
| Ingestad y Kahr (1985) | 19-22 | <i>Pinus</i> | |
| Van den Driessche (1987) | 20 | <i>Pseudotsuga menziesii</i> | Máxima supervivencia |
| Timmer y Armstrong (1987) | 15-30 | <i>Pinus resinosa</i> | |
| Larsen <i>et al.</i> (1988) | 17-23 | <i>Pinus taeda</i> | |
| Hinesley y Wright (1988) | > 15 | <i>Pinus strobus</i> | Óptimo desarrollo en vivero |
| Landis (1989) | 13-18 | <i>Pinus sylvestris</i> | Menor daño por frío |
| Green y Mitchell (1992) | 20 | <i>Pinus taeda</i> | Máxima fotosíntesis |
| Oliet <i>et al.</i> (1997, 2005a) | ≈ 20 | <i>Pinus halepensis</i> | Máxima supervivencia |
| Royo <i>et al.</i> (1997) | 13,2 | <i>Pinus halepensis</i> | Valores medios de diversos viveros comerciales |
| Puértolas <i>et al.</i> (2003) | > 20 | <i>Pinus halepensis</i> | Máximo crecimiento post-trasplante |



2.1.2. Fósforo

El fósforo interviene decisivamente con el nitrógeno en el crecimiento y desarrollo de la planta, ya que forma parte de moléculas esenciales como el ATP y tienen un papel regulador en la síntesis de almidón y otros carbohidratos. Asimismo, es parte esencial de moléculas que participan en la fotosíntesis, la respiración y otros procesos metabólicos (Salisbury y Ross, 1994). En este sentido, Grossnickle (2000) recoge algunos ejemplos que muestran una respuesta positiva de la concentración de este elemento en acículas (principalmente jóvenes) y la fotosíntesis en varias especies de los géneros *Picea* y *Pinus*.

En cuanto a la morfología de la planta, el fósforo estimula el desarrollo del sistema radical frente al aéreo (Salisbury y Ross, 1994), contribuyendo a producir planta en contenedor más equilibrada (Timmer y Armstrong 1987; Oliet, 1995; Ruiz Viana y Domínguez, 1997). Asimismo, otros trabajos confirman una relación positiva entre la concentración de este elemento y la producción de nuevas raíces (Bigg y Schalaus, 1990; Domínguez *et al.*, 2000; Valdecantos *et al.*, 2006), lo que sin duda tiene una importancia fundamental en la supervivencia.

Los síntomas de deficiencia de fósforo son extremadamente variables entre especies y, por tanto, se dificulta el diagnóstico de este nutriente. Debido a que el fósforo es requerido relativamente pronto en el desarrollo de las plantas, uno de los primeros síntomas clásicos de la deficiencia de fósforo es cuando las hojas nuevas se tornan de un color morado. Asimismo, puede establecerse como síntoma general una disminución del crecimiento y la reducción de la longitud de entrenudos (Salisbury y Ross, 1994).

Existen pocos trabajos realizados con planta de vivero que confirmen relaciones entre supervivencia y concentración de este elemento, por lo que es difícil establecer valores o intervalos de referencia óptimos, y mucho menos para las especies forestales de ámbito mediterráneo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el P suele ser el elemento limitante en muchos suelos mediterráneos, especialmente sobre sustratos básicos (Romanayà y Vallejo, 2004; Sardans *et al.*, 2004; Sardans y Peñuelas, 2005) por lo que el papel que desempeñan las reservas de este nutriente en la planta de vivero es fundamental para la respuesta post-trasplante (Trubat *et al.*, 2004).

2.1.3. Potasio

El potasio, después del nitrógeno, es el elemento esencial requerido en mayores cantidades por la planta, y posee importantes funciones metabólicas. El papel más conocido de este elemento en la fisiología de la planta, en parte por la abundancia de cationes K^+ libres, es en el ajuste osmótico, contribuyendo a la mejora de la tolerancia de la planta al estrés hídrico y a las bajas temperaturas (Salisbury y Ross, 1994). Estas propiedades convierten teóricamente al potasio en un elemento esencial en el proceso de arraigo.



A pesar de la importancia de este elemento, muchos de los estudios para corroborar su efecto sobre la calidad de la planta se han mostrado inconsistentes (van den Driessche, 1992). Esto en parte se debe a que su papel en el crecimiento es menos marcado que el del nitrógeno y el fósforo, no formando parte de las estructuras de la planta, por lo que su efecto sobre la morfología de la planta o sobre la posible dilución y demanda de otros nutrientes no suele ser patente dentro de los niveles ensayados. Otra razón que puede explicar la falta de datos concordantes en ensayos de fertilización con potasio es la confusa respuesta de este elemento a los aportes, dado que, por una parte, su absorción presenta interferencia con otros cationes (Ca^{2+}) y, por otra, se trata de un elemento muy móvil en el sustrato, lavándose con facilidad con el agua de riego. La mayor demanda de potasio tiene lugar al final del cultivo, en la fase de inicio del endurecimiento, acumulando potasio independientemente de los aportes (Fernández *et al.*, 2003).

2.2. Retranslocación de nutrientes: importancia de la creación de reservas nutricionales

La retranslocación o removilización de nutrientes (así como de carbohidratos) es un mecanismo clave para la reutilización de estos recursos, ya que permite a la planta, al menos parcialmente y por un tiempo, ser independiente de la disponibilidad externa de nutrientes (Cherbuy *et al.*, 2001). Este proceso es crítico para satisfacer las demandas de los tejidos jóvenes de la planta recién instalada, cuando la lenta elongación inicial de las raíces o las bajas temperaturas del suelo limitan la absorción de nutrientes (Burdett, 1990). Numerosos trabajos demuestran la evidencia del fenómeno de la retranslocación en planta recién trasplantada de diversas especies de repoblación (Timmer y Aidelbaum, 1996; Salifu y Timmer, 2001; Salifu y Timmer, 2003a). Dicha retranslocación explica la mejor respuesta post-trasplante (particularmente del crecimiento) de las plantas con mayores reservas de nutrientes (Malik y Timmer, 1998; Xu y Timmer, 1999; Salifu y Timmer, 2003b), dado que la removilización es tanto más importante cuanto mayores sean dichas reservas (Salifu y Timmer, 2003a), y sugiere la conveniencia de producir planta con los máximos contenidos de nutrientes posibles, sin que se generen consecuencias negativas tal como se ha comentado anteriormente.

3. ESTADO NUTRICIONAL Y SUPERVIVENCIA POST-TRASPLANTE

Como sucede para muchos de los atributos de calidad, la capacidad predictiva del estado nutricional sobre la respuesta post-trasplante es una cuestión profundamente debatida. Los resultados experimentales son en ocasiones de signos opuestos, siendo difícil destilar de todos ellos un modelo de comportamiento claro del estado de los nutrientes en la planta en relación con la supervivencia.



En particular el N produce, al incrementar su aporte, cambios muy acusados en la calidad de la planta, aunque con signos distintos. La combinación de efectos de distinto signo se resolverá en un aumento de la supervivencia final en la medida en que el efecto positivo de una mayor y más rápida extensión radical sea más decisivo que el efecto negativo producido por la disminución de la resistencia a estrés, la reducción de las reservas de carbohidratos, o el aumento de la superficie transpirante (apartado 2.1.1.). La Figura 6 recoge los resultados obtenidos al evaluar la supervivencia post-trasplante de varios lotes de planta con un amplio rango de variación de la concentración de nitrógeno en acículas (van den Driessche, 1988); se aprecia que concentraciones de 21 mg·g⁻¹, aproximadamente, de este elemento maximizan la supervivencia, pero un incremento de la concentración por encima de este valor provoca el descenso de la misma, lo que podría explicarse por el mayor peso relativo de los efectos negativos de un exceso de nitrógeno ya citados.

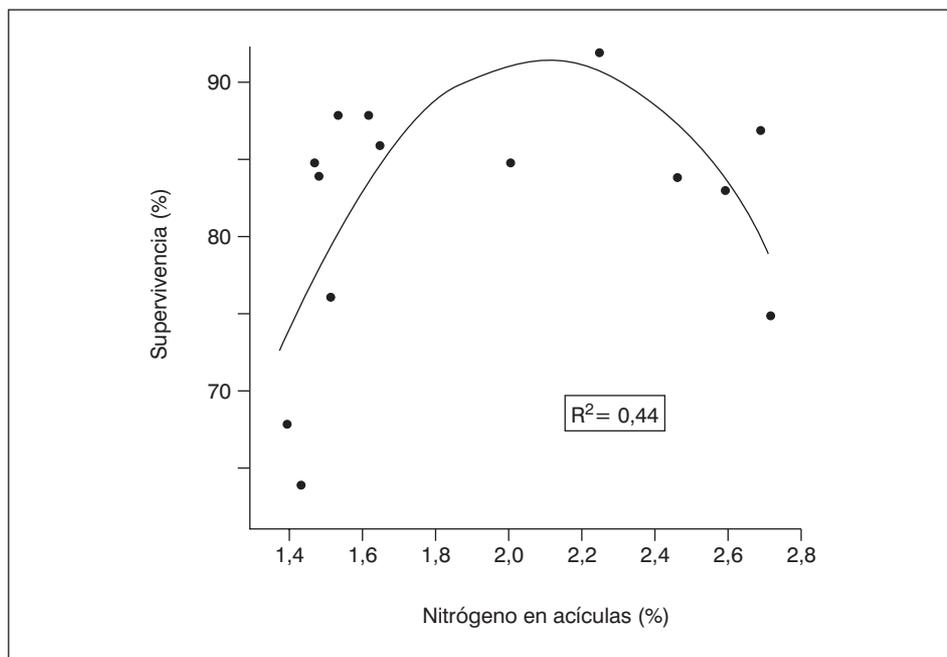


Figura 6. Relación entre la concentración de nitrógeno en acículas y la supervivencia al tercer año de plantación de *Pseudotsuga menziesii* (modificado de van den Driessche, 1988).

Se han realizado trabajos similares en especies mediterráneas para buscar relaciones entre concentración de N y supervivencia. Los datos obtenidos sugieren la existencia de relaciones positivas entre dichas variables marginalmente significativas ($P < 0,1$ para el modelo lineal, Fig. 7). En estos trabajos es posible que otros atributos, como la propor-



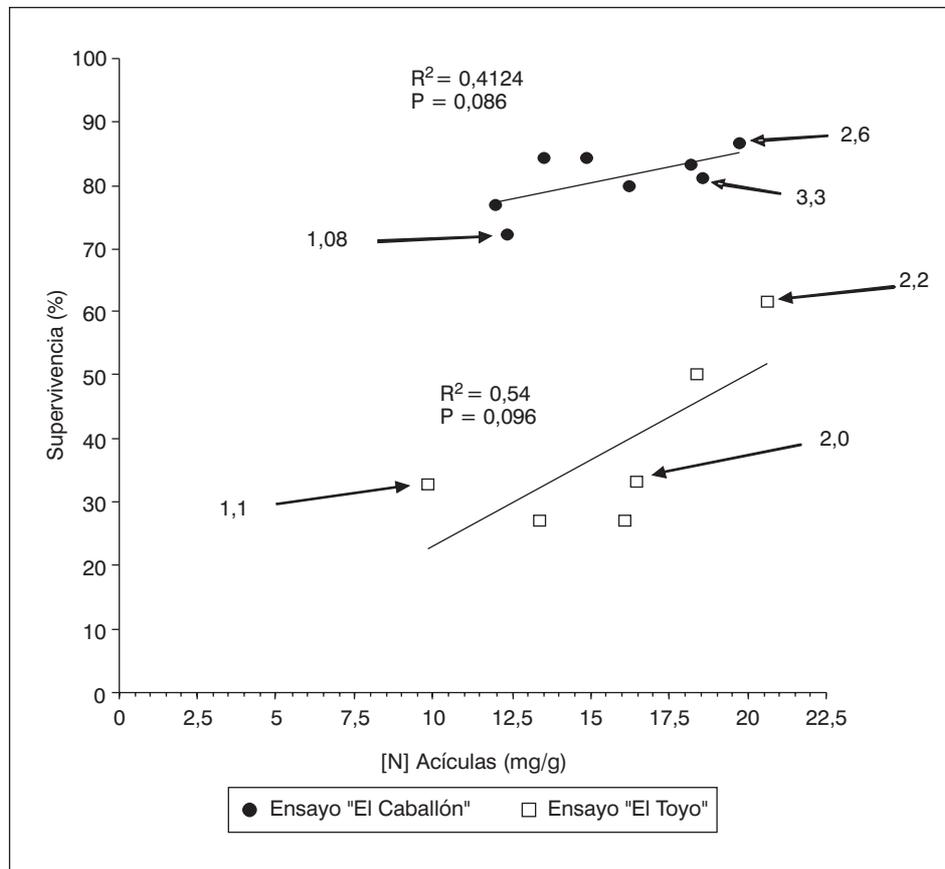


Figura 7. Supervivencia postestival de *Pinus halepensis* en dos parcelas del mediterráneo semiárido y modelos de regresión ajustados para la concentración de nitrógeno. Parcela de El Toyo (Oliet *et al.*, 1997) y parcela de El Caballón (Oliet *et al.*, 2005a). Las cifras indican el valor de la relación Parte aérea:Parte radical en peso. Las parcelas de El Caballón y del Toyo recibieron, respectivamente, una precipitación de 173 y de 85 mm hasta el conteo de supervivencia.

ción PA:PR, puedan estar afectando a la relación [N]-supervivencia, dado que en ninguno de los ensayos se llegó al consumo de lujo de este elemento, por lo que incrementos en los aportes se tradujeron en aumentos de la [N] pero también, y simultáneamente, en incrementos en la relación PA:PR. También se desprende de estos trabajos la idea de que los efectos positivos de una nutrición nitrogenada creciente son más pronunciados cuanto más extremas son las condiciones ambientales (precipitación, en este caso), como se aprecia por el valor de la pendiente de las rectas de los modelos lineales de la Figura 7. En ambos ensayos los valores de supervivencia máximos se corresponden con concentraciones en acículas de unos 20 mg·g⁻¹.



Algo similar sucede con *Zizyphus lotus*, otra especie del mediterráneo semiárido: la supervivencia responde positivamente a la concentración de N en hojas (Fig. 8), aunque a partir de 41,1 mg·g⁻¹ la supervivencia no se incrementa, probablemente por un aumento de la relación PA:PR hasta valores que en esta especie suponen un desequilibrio morfológico.

En cualquier caso, se aprecia la existencia de un rango de concentración de nitrógeno bastante amplio (dependiente de la especie) en el que se observa una respuesta positiva de la supervivencia a la concentración de este elemento en planta, a pesar del incremento simultáneo de la relación PA:PR, lo que lleva a proponer, en concordancia con otros autores (Villar-Salvador *et al.*, 2000a) la necesidad de incrementar las dosis de nitrógeno aplicadas en vivero sin temor a provocar desequilibrios morfológicos.

Así como el N parece gobernar en gran medida la respuesta en supervivencia de las especies citadas, algunas experiencias en medios mediterráneos han mostrado efectos positivos del P sobre la supervivencia de otras especies. Así, Planelles (2004) muestra que las plantas de algarrobo (*Ceratonia siliqua*) con mayor concentración de este elemento en parte aérea sobrevivieron significativamente mejor a los dos años ($R^2 = 0,40$;

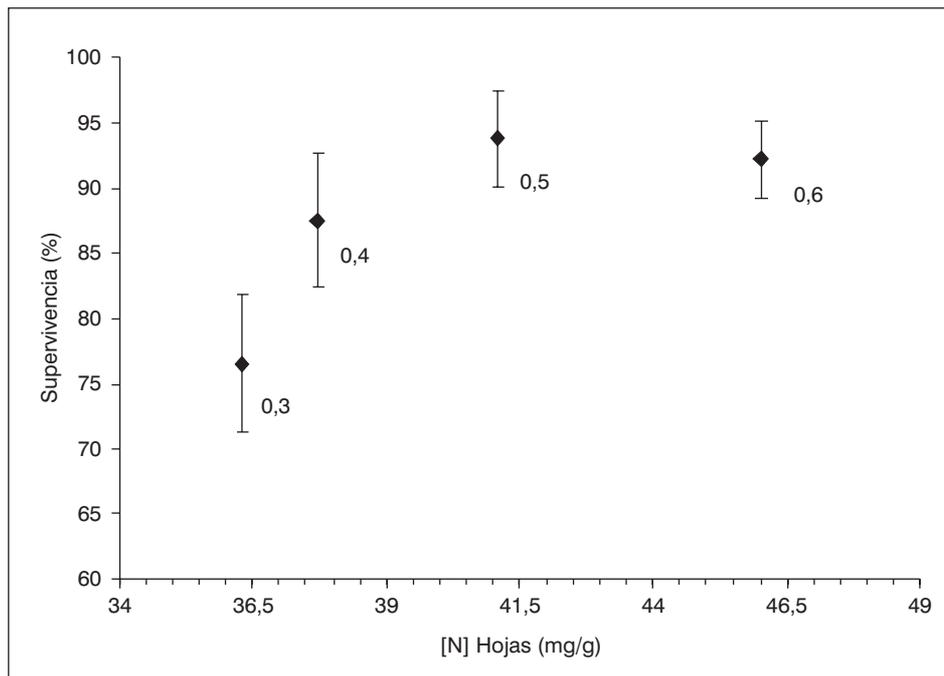


Figura 8. Supervivencia postestival de *Zizyphus lotus* (\pm EE, ANOVA $P < 0,05$) en el mediterráneo semiárido y concentración de nitrógeno (modificado de Oliet *et al.*, 2001). Las cifras indican el valor de la relación Parte aérea: Parte radical en peso.



$P < 0,05$); y Oliet *et al.* (2005b) obtuvieron una relación de igual naturaleza entre la cantidad de P suministrado en vivero y tanto el desarrollo radical ($R^2 = 0,77$; $P < 0,01$) como la supervivencia ($R^2 = 0,68$; $P < 0,05$) post-estival de *Acacia salicina* en condiciones de aridez extrema.

En algunas de las experiencias establecidas por el Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM) durante los últimos diez años se ha evaluado el efecto del estado nutricional en vivero en brinzales de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* sobre la supervivencia 12 y 24 meses después de la plantación en un rango de condiciones ambientales mediterráneas. Los lotes analizados fueron comerciales, por lo que no se partió de un rango amplio de concentraciones pre-plantación. El análisis realizado hasta el momento no tiene en cuenta otros factores que condicionan la supervivencia de la repoblación, como las características particulares del año de plantación o atributos morfológicos de los brinzales (analizados en otro capítulo), disponiendo en ocasiones de pocos datos, por lo que los resultados deben ser tomados como una aproximación. La relación entre la concentración foliar de N, P, y K y el porcentaje de supervivencia varía en función de la especie, el tipo de suelo, el ombroclima y el termoclima de la estación. Sorprendentemente, los brinzales de encina mostraron valores de supervivencia sobre calizas más elevados cuanto más bajas eran las concentraciones foliares de N y P de la planta tras el cultivo en vivero (Fig. 9). De igual forma, se observó una relación negativa entre la concentración foliar de K en vivero y la supervivencia a los dos años de los brinzales de esta especie plantados en ombroclima seco (Fig. 10). Esta relación observada puede estar influida por la modificación de las características morfológicas de los brinzales asociada al estado nutricional de los mismos. Así, en este caso existe una relación positiva ($R^2=0.8675$) entre la concentración foliar en N y la proporción PA:PR de estos brinzales, generando un posible desequilibrio tal como comentamos en el apartado 2.1.1. Los tra-

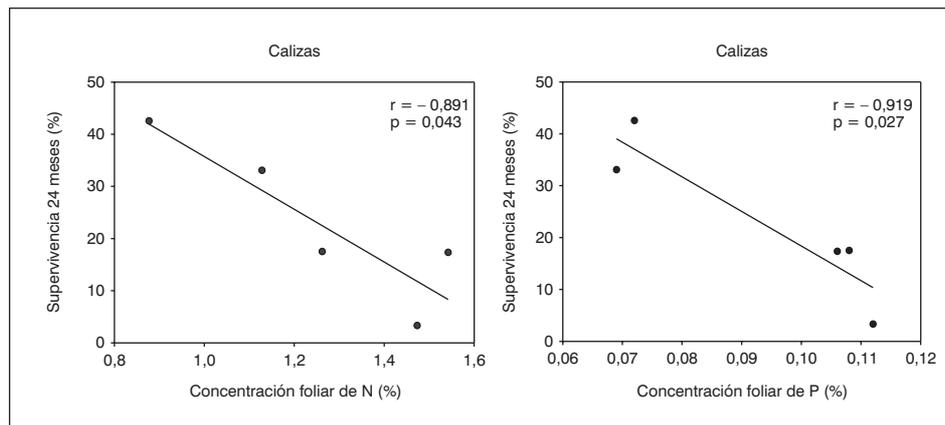


Figura 9. Relaciones entre la supervivencia dos años después de la plantación de brinzales de *Quercus ilex* y su concentración foliar en N y P en vivero (Valdecantos, datos no publicados).



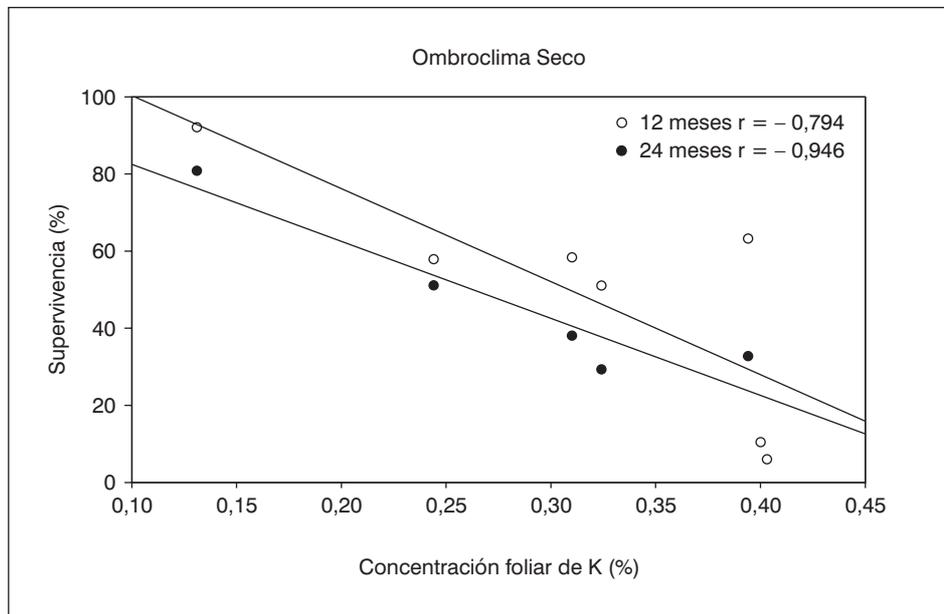


Figura 10. Relaciones entre la supervivencia uno y dos años después de la plantación en ombroclima seco de brinzales de *Quercus ilex* y la concentración foliar en K en vivero (Valdecantos, datos no publicados).

bajos realizados con brinzales de *Quercus ilex* han ofrecido relaciones positivas (Villar-Salvador *et al.*, 2004a) y negativas (Del Campo, 2002) entre supervivencia en campo y proporción PA:PR. Por el contrario, y aunque tratándose de una exploración grosera de relaciones entre estado nutricional y supervivencia en condiciones de campo muy particulares pues sólo dispusimos de tres lotes de planta introducidos en substrato margoso, existe una clara tendencia a aumentar la supervivencia, especialmente tras el segundo año en el campo, en suelos desarrollados sobre margas, de los plantones de *Pinus halepensis* con una adecuada nutrición en N y P (Fig. 11). Nótese que en ninguno de los lotes se alcanzó una concentración foliar de N de $20 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, comentada anteriormente como valor óptimo, si bien cuanto más próxima a ese valor era la concentración, mayor era el porcentaje de supervivencia observado de los pinos.

Estas diferencias de supervivencia en función de la especie y el tipo de suelo de la zona de plantación reflejan lo observado por Valdecantos *et al.* (2006) respecto a las distintas relaciones nutricionales de individuos de repoblación cinco años después de la instalación (Fig. 12). En el eje 1 resultante del análisis de componentes principales se extrajeron las concentraciones foliares en N, P (positivamente) y Ca (negativamente), mientras que en el segundo se asociaron las concentraciones foliares en Mg y K de manera positiva y negativa, respectivamente. Así, los pinos (valores positivos en el componente 1) presentan proporcionalmente mayor concentración foliar de N y P, y



CALIDAD DE PLANTA FORESTAL PARA LA RESTAURACIÓN EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS

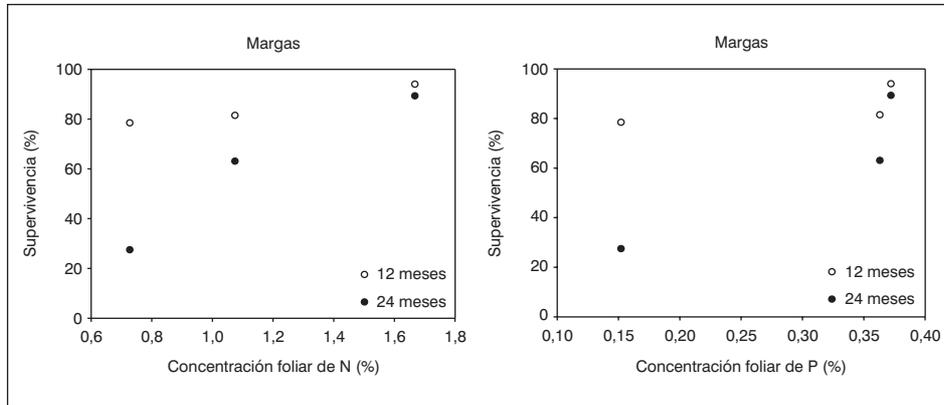


Figura 11. Relaciones entre la supervivencia uno y dos años después de la plantación sobre suelos margosos de brinzales de *Pinus halepensis* y su concentración foliar en N y P en vivero (Valdecantos, datos no publicados).

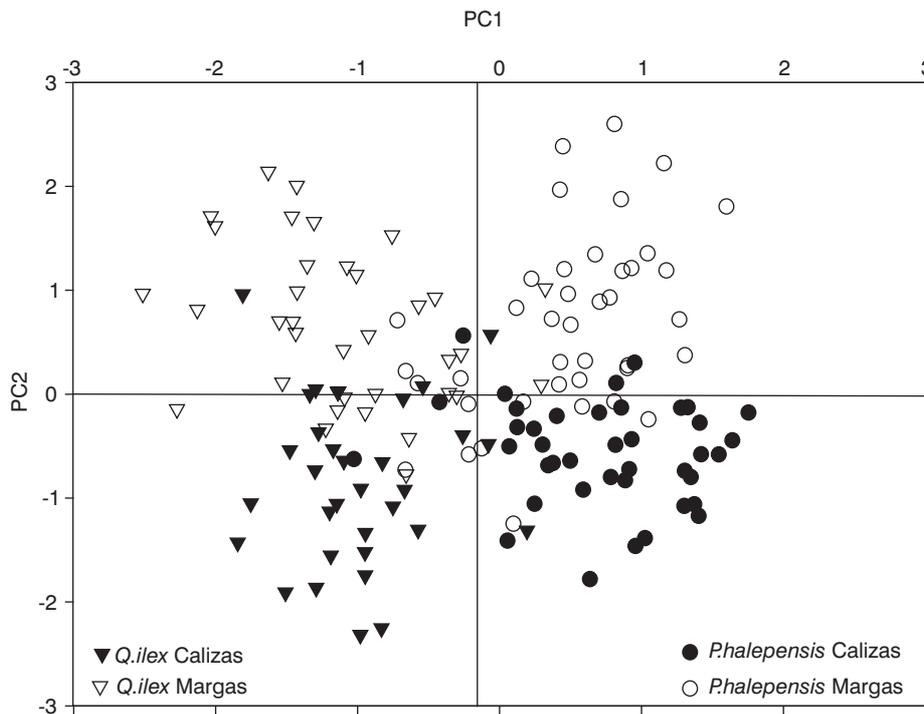


Figura 12. Distribución a lo largo de los dos componentes principales de concentraciones de macronutrientes foliares de brinzales de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex* tras cinco años de plantación sobre margas y calizas (Valdecantos *et al.*, 2006).



menor de Ca que las carrascas, mientras que los brinzales plantados en margas (valores positivos en el componente 2) muestran mayor concentración de Mg y menor de K que los plantados en calizas. La clara separación entre especies observada en este trabajo puede estar reflejando los diferentes patrones de crecimiento (y de destino de nutrientes, por tanto) que muestran las especies pioneras y tardías de la sucesión. Además pone de manifiesto las diferentes relaciones entre las concentraciones de macronutrientes en individuos en suelos básicos con o sin carbonatos.

4. ESTADO NUTRICIONAL Y CRECIMIENTO POST-TRASPLANTE

La relación positiva entre estado nutricional y crecimiento en campo ha sido puesta de manifiesto para coníferas desde hace tiempo (Switzer y Nelson, 1963; van den Driessche, 1984; Larsen *et al.*, 1988). Más recientemente, con el desarrollo en Canadá de las técnicas de “sobrecarga de nutrientes” (Timmer y Aidelbaum, 1996), la relación entre la concentración de nutrientes que tiene la planta y su crecimiento en campo, mediante la retranslocación de dichos nutrientes, ha sido confirmada (Salifu y Timmer, 2001).

En general, las experiencias con diferentes niveles de fertilización en vivero aplicados sobre especies mediterráneas han dado como resultado que el crecimiento en campo aumenta cuanto mayor es el aporte de nutrientes. Ejemplos de esto los encontramos en Villar-Salvador *et al.* (2000b), que demuestran un efecto positivo de la fertilización con nitrógeno durante el periodo de endurecimiento en el crecimiento posterior de *Pinus pinea*; en Villar-Salvador *et al.* (2004a), donde se observa un menor crecimiento en plantas de *Quercus ilex* cultivadas con menos de 45 mg de N por planta; en Planelles *et al.* (2001), que encontraron un efecto positivo del fósforo sobre el crecimiento de *Ceratonia siliqua* en un experimento factorial N-P-K; y en Puértolas *et al.* (2003), donde de 9 lotes de planta de *Pinus halepensis* cultivados de diferente forma, los tres menos fertilizados tenían un crecimiento en campo inferior al resto (Figura 13).

El gran problema con el que nos encontramos a la hora de determinar el efecto del estado nutricional sobre el crecimiento posterior en campo viene dado por la confusión de efectos entre aquél y el tamaño de la planta. Una mayor fertilización no sólo puede producir una mayor concentración de nutrientes en la planta sino que también provoca un mayor crecimiento, que resulta en una mayor biomasa de la planta producida, lo que puede comprobarse en las experiencias anteriormente señaladas. Algunos intentos de encontrar una relación entre concentración de nutrientes y crecimiento en campo agrupando diferentes lotes no han resultado satisfactorios (Villar-Salvador *et al.*, 2000a; Puértolas *et al.*, 2003; Navarro *et al.*, 2001a; Navarro *et al.*, 2001b); aunque en algún otro sí se ha evidenciado dicha relación (ver final de este apartado). Por otro lado, en la mayoría de los primeros se observaba la relación existente entre tamaño de planta antes de plantar y crecimiento en campo.



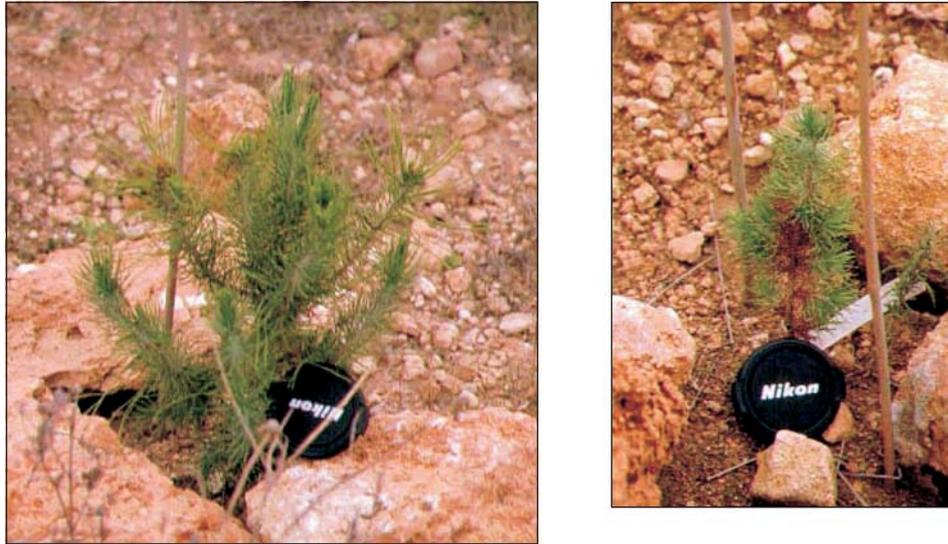


Figura 13. Plántula de *Pinus halepensis* con un año después de trasplante en Zarra (Valencia). A la izquierda, planta de un lote con altos niveles medios de concentración de nitrógeno en la parte aérea (1,9%; peso seco medio: 3,7 g), y a la derecha un lote de similar tamaño en el momento del trasplante pero con bajos niveles de nitrógeno (1,0%; peso seco medio: 3,2 g). Las diferencias de crecimiento en biomasa fueron significativas: $p < 0,05$; 8,7 g y 6,2 g, respectivamente. (Fotos: Jaime Puértolas).

De lo anterior parece desprenderse que el efecto positivo de una mayor fertilización en vivero sobre el crecimiento posterior en campo viene condicionado principalmente por la producción de plantas más grandes y no por el aumento de su concentración de nutrientes. Esto es así en gran medida, pero con ciertas matizaciones. El contenido de nutriente en la planta (sobre todo nitrógeno y fósforo) —es decir, el resultado de multiplicar el peso seco de la planta por la concentración de nutriente— a pesar de no tener un significado biológico directo, se ha relacionado con el crecimiento en campo en algunos trabajos (Villar-Salvador *et al.*, 2000a; Puértolas *et al.*, 2004) coincidiendo con lo encontrado anteriormente para especies no mediterráneas (Switzer y Nelson, 1963; Larsen *et al.*, 1988). La capacidad de predicción del contenido inicial de nutrientes sobre el crecimiento en campo cuando tenemos un rango de lotes o tratamientos suficientemente amplio en tamaños y concentraciones mejora la predicción ofrecida por el tamaño inicial de la planta como se observa en el aumento del nivel de significación y el valor de R^2 en el ensayo de la Figura 14. Esto indica que el estado nutricional influye en el crecimiento posterior en campo. También pone de manifiesto que una mayor fertilización durante el cultivo, en la medida que produce plantas con un mayor contenido de nutrientes, incrementa el posterior crecimiento de las plantas en campo. Una interesante cuestión a conocer es la intensidad de fertilización (o bien el contenido de nutriente en planta) que maximiza el crecimiento.



INFLUENCIA DEL ESTADO NUTRICIONAL Y EL CONTENIDO EN CARBOHIDRATOS

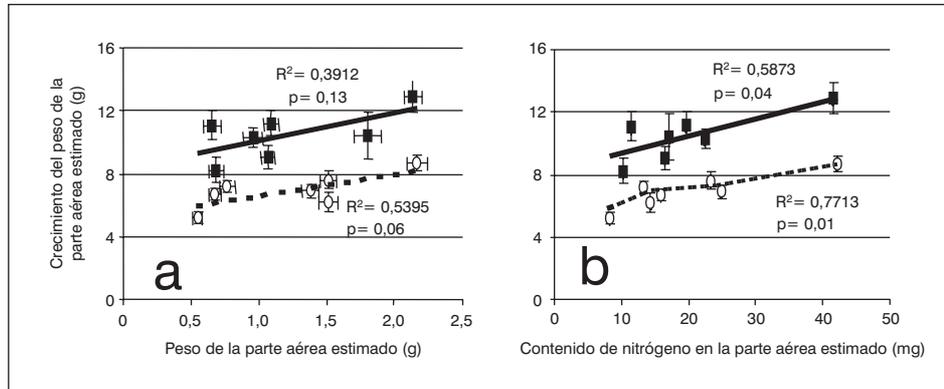


Figura 14. Relación entre los valores medios por lote del crecimiento de la biomasa de la parte aérea durante los dos años posteriores a la plantación de *Pinus halepensis* y a) el peso de la parte aérea antes de plantar, b) el contenido en nitrógeno antes de plantar. Los cuadrados sólidos representan los valores de una parcela agrícola en Arganda del Rey (Madrid), mientras que los círculos vacíos representan los de una parcela de monte en Zorra (Valencia) (Puértolas *et al.*, 2004).

Otros aspectos importantes a la hora de analizar la influencia del estado nutricional sobre el crecimiento son las características climáticas y edáficas del lugar de plantación. Del análisis realizado sobre las mismas parcelas experimentales del CEAM mencionadas en el apartado de supervivencia, se han observado algunas relaciones entre la concentración foliar de ciertos nutrientes y el posterior crecimiento en condiciones de campo mediterráneas. El P es el nutriente que en mayor medida mostró correlación positiva entre la concentración en hojas de *Quercus ilex* y el incremento (o decremento, según el caso) de la altura total y diámetro total de los brinzales, especialmente de aquéllos plantados sobre sustratos altamente carbonatados y ombroclima seco ($350\text{--}600\text{ mm año}^{-1}$), tanto uno como dos años después de su plantación (Fig. 15). De manera inversa se comporta la planta rica en K foliar, pues se observa una disminución de las tasas de crecimiento en altura según aumenta la concentración foliar de K en las mismas condiciones ambientales mencionadas para el P. Las plantas con mayor concentración de N foliar en vivero parecen mostrar mayores crecimientos en altura en el segundo año tras la plantación. Los brinzales de *Pinus halepensis*, de los que, como ya se ha comentado anteriormente, se disponía de menos lotes y parcelas distintas, mostraron relaciones positivas entre las concentraciones foliares de N (primer año sólo) y el incremento absoluto de la altura de los individuos plantados sobre sustratos margosos (Fig. 16).

A partir de las consideraciones realizadas en este apartado y en el de supervivencia, en condiciones mediterráneas de campo se pueden establecer diferentes óptimos nutricionales de planta de vivero en función de las características edáficas y climáticas de la estación y, por supuesto, de la especie –diferencias que parecen notables en la relación estado nutricional y supervivencia y crecimiento entre *P. halepensis* y *Q. ilex*–. Por tanto, sería recomendable que, en la medida de lo posible, los protocolos de fertilización en la producción de planta en viveros forestales se ajustasen en función de la especie y del destino final de la planta.



CALIDAD DE PLANTA FORESTAL PARA LA RESTAURACIÓN EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS

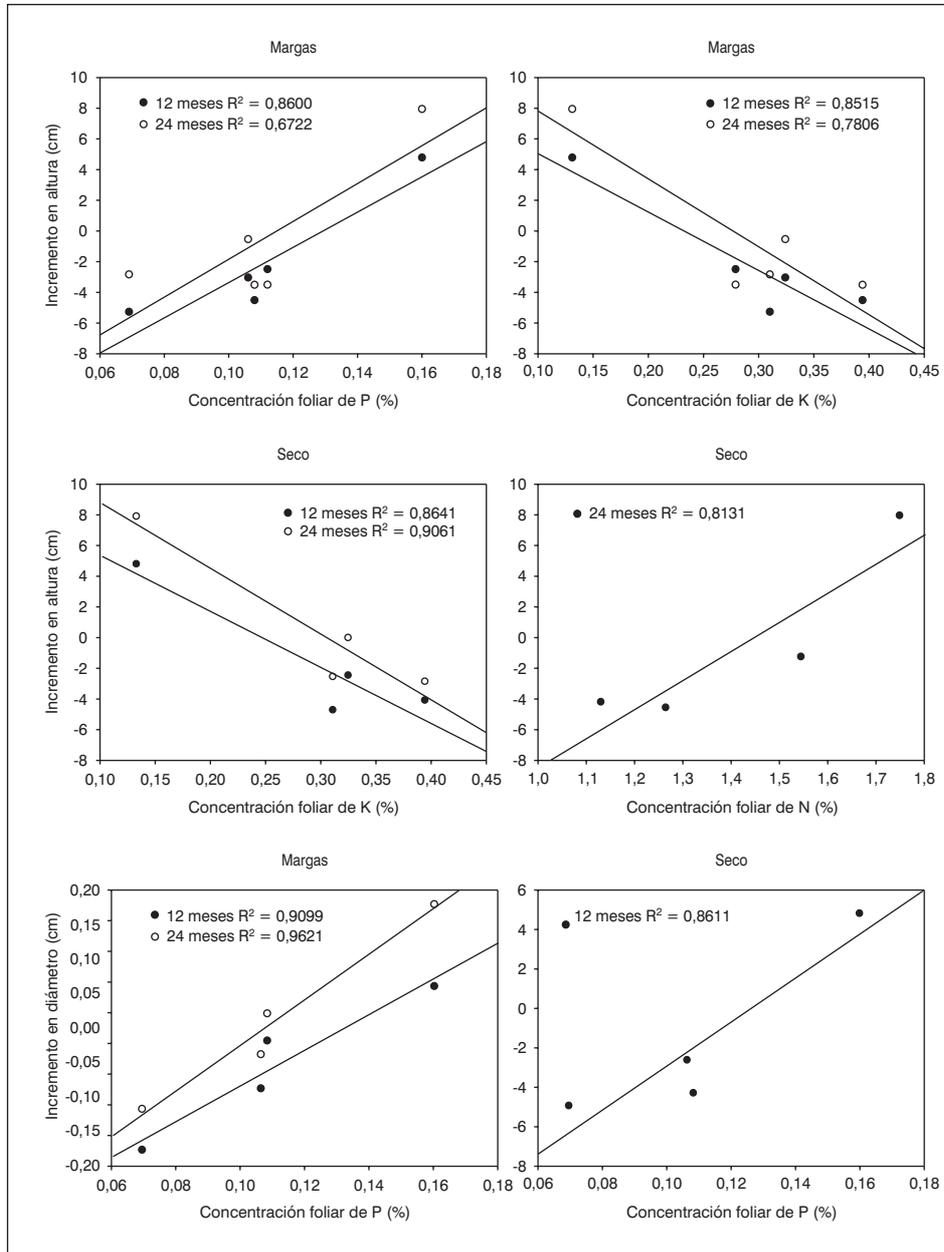


Figura 15. Relaciones entre concentración foliar de nutrientes y crecimiento de brinzales de *Quercus ilex* uno y dos años desde su plantación en diferentes condiciones climáticas y edáficas (Valdecantos, datos no publicados).



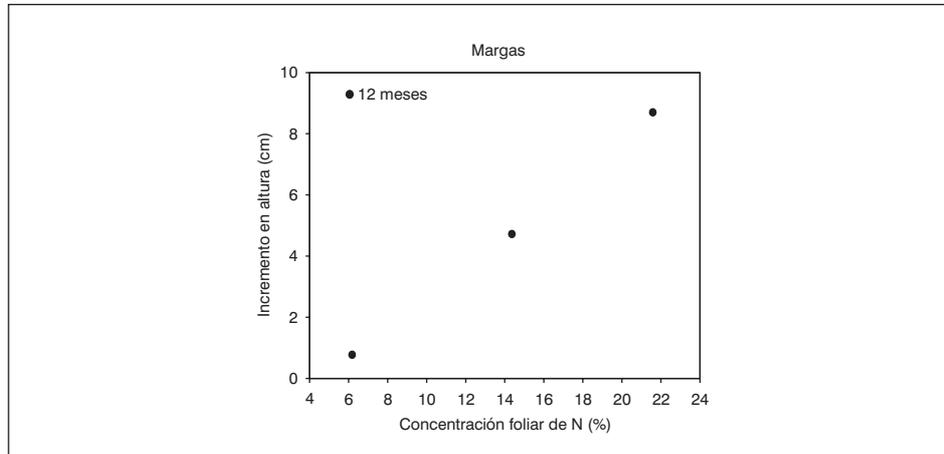


Figura 16. Relación entre la concentración foliar de N y el crecimiento en altura de brinzales de *Pinus halepensis* un año después de su plantación sobre substrato margoso (Valdecantos, datos no publicados).

B. CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS Y COMPORTAMIENTO EN CAMPO

Al igual que sucede para las reservas de nutrientes minerales, las reservas de carbohidratos acumuladas en vivero deberían representar un papel fundamental en el arraigo post-trasplante, removilizándose cuando la actividad fotosintética está interrumpida o ralentizada por la descompensación hídrica derivada de la no funcionalidad del sistema radical (Marshall, 1985). Así, por ejemplo, Puttonen (1986) encontró una correlación muy fuerte y positiva entre la concentración de hidratos de carbono no estructurales en acículas y la supervivencia al año de plantación en *Pinus sylvestris*. Sin embargo, muchas otras referencias no son concluyentes en lo que a la relación entre carbohidratos no estructurales y respuesta en crecimiento y supervivencia post-trasplante se refiere. Esto puede deberse, en parte, al hecho de que la función de las reservas de carbohidratos oscila mucho con las condiciones del medio y época de plantación, del estado con que llegue la planta al monte y, sobre todo, de la especie (Rook, 1991). En la mayoría de las coníferas de zonas templado-frías, la capacidad de formación y extensión de nuevas raíces utilizando sólo las reservas acumuladas en vivero es nula o bastante limitada (Marshall y Waring, 1985; van den Driessche, 1987; Burdett, 1990; Noland *et al.*, 1997), en cuyo caso la rápida reactivación de la actividad fotosintética es fundamental para el enraizamiento (Jiang *et al.*, 1994). En otras especies, con estrategias reproductivas y/o temperamentos diferentes (como muchas especies tolerantes caducifolias), el papel de las reservas en la extensión de nuevas raíces puede ser más determinante. En todo caso, las reservas de carbohidratos son fundamentales, si no para la creación de nuevas estructuras, al menos en la obtención de energía durante el establecimiento. Si las reservas se consumen antes de reiniciarse la actividad fotosintética, la planta muere (Duryea y



McClain, 1984a; Marshall y Waring, 1985). Asimismo los azúcares solubles, por su capacidad para generar potencial osmótico y estabilizar las membranas celulares, son acumulados en las células donde realizan funciones básicas en la tolerancia al frío (Tinus *et al.*, 2000) y al estrés hídrico (Green *et al.*, 1994), propiedades ambas fundamentales durante el establecimiento.

Parecería por tanto de máximo interés obtener planta mediterránea con niveles máximos de carbohidratos. La acumulación de reservas en vivero tiene lugar sobre todo en la última parte de la fase de crecimiento (Duryea y McClain, 1984b), y se ve favorecida por aquellos tratamientos que estimulen el balance producción-consumo. Por ello, se ha observado en frondosas mediterráneas un descenso de la acumulación de carbohidratos con un aumento de la fertilización, ya que ésta promueve el crecimiento y, por tanto, la demanda de asimilados a expensas del almacén de reservas (Sanz *et al.*, 2005). Sin embargo, hay que tener en cuenta que, a diferencia de lo que ocurre con los nutrientes, los carbohidratos acumulados antes de la plantación sólo son determinantes durante el período de estrés post-trasplante, ya que una vez restablecida la actividad fotosintética, la planta puede producirlos de nuevo. Los trabajos que demuestran la importancia de los carbohidratos en la supervivencia se centran sobre todo en plantaciones a raíz desnuda, donde el estrés post-trasplante puede durar varias semanas. En las plantaciones en contenedor durante el otoño-invierno, que es la práctica habitual en la zona mediterránea, la extensión de este estrés es mucho más limitada. Además, se ha demostrado que la extensión de las raíces en algunas de nuestras especies y condiciones de plantación depende fundamentalmente de la fijación de carbono posterior a la plantación y no de las reservas de carbohidratos acumulada previamente (Moreno *et al.*, 2005). Esto puede explicar el hecho de que, hasta el momento, ningún trabajo con especies mediterráneas haya recogido relaciones entre la concentración de carbohidratos y el comportamiento posterior en campo.

Un ejemplo de esta falta de relación lo encontramos en Planelles *et al.* (2001), que muestran un descenso significativo de la concentración de almidón (particularmente en la parte aérea) en *Ceratonia siliqua* al incrementar los aportes de nitrógeno, siendo este descenso mucho más acusado al pasar de dosis claramente deficientes de este nutriente a dosis mayores. Sin embargo, no se manifestó relación entre la respuesta post-trasplante y la concentración de almidón.

Otros ejemplos son los trabajos de Royo *et al.* (2001) que también indujeron la acumulación de almidón en raíces de pino carrasco por la acción del endurecimiento por riego, y de Villar-Salvador *et al.* (2004b) en *Quercus ilex*, en que la cantidad de almidón resultó mayor bajo la aplicación de un estrés hídrico severo. En ninguno de estos casos se observó una respuesta post-trasplante modelada por estas diferencias.



C. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

La nutrición mineral tiene un papel de gran importancia en la calidad de la planta para repoblación, afectando en muchos casos significativamente a la respuesta post-trasplante. Los niveles óptimos de los diferentes elementos dependen de la especie, del lugar de plantación y de las condiciones de cultivo. La estrategia sería maximizar el contenido total de cada nutriente (es decir, el producto biomasa \times concentración) a través de un aumento de la intensidad de fertilización durante todo el cultivo, produciendo plantas que, a pesar de un cierto desequilibrio morfológico entre la parte aérea y la raíz, gracias a su mayor capacidad de crecimiento en el periodo favorable manifiesten una mejor respuesta post-trasplante. Conviene advertir en este punto la existencia de variaciones específicas importantes a esta estrategia de producción, dado que las necesidades nutricionales y el papel de los factores que intervienen en la respuesta postrasplante son una función de la especie y del lugar de plantación.

Existen procedimientos para incrementar el contenido de nutrientes minerales sin alterar en exceso el equilibrio entre la fracción aérea y radical de la planta en contenedor. Este efecto puede conseguirse modificando el régimen de aporte de forma que se ajuste a la demanda de la planta durante el cultivo, por lo que el régimen de fertilización y sus consecuencias sobre la calidad de la planta constituyen un área de trabajo de interés aún muy amplia por la falta de información en este sentido para las especies mediterráneas.

Otra línea futura de investigación que permitiría mejorar el conocimiento sobre la nutrición mineral y la respuesta post-trasplante es el estudio de la importancia que macronutrientes, principalmente el fósforo y el potasio, tienen en dicha respuesta, tanto en relación, sobre todo, con el nitrógeno, pero también con el resto de los nutrientes minerales. En este sentido, conocer con mayor profundidad qué concentraciones optimizan la calidad de la planta, es decir, saber dónde se encuentra el punto que produce el balance más favorable entre los efectos positivos y negativos de este elemento, es un campo de interés sobre el que debe profundizarse.

En cualquier caso, y desde el punto de vista operativo, puede afirmarse que debe perderse el miedo a sobrefertilizar respecto de los cánones en uso ya que, por lo general, los niveles corrientes de fertilización en los viveros comerciales son muy inferiores a los indicados para mejorar la calidad de la planta.

En relación con el estado de las reservas de carbohidratos no estructurales en la planta de vivero, no existen resultados concluyentes de plantación para nuestras especies que permitan establecer relaciones claras de este atributo con el comportamiento en campo. Esta falta de relación parece indicar que dadas las características de las plantaciones en la región mediterránea, la concentración de carbohidratos tiene un papel poco relevante sobre todo en comparación con otras características como la concentración de nitrógeno.



REFERENCIAS

- AERTS, R. y CHAPIN, F. S. (2000). The mineral nutrition of wild plants revisited: A Re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research* 30: 1-67.
- BERGER, T. W. y GLATZEL, G. (2001). Response of *Quercus petraea* seedlings to nitrogen fertilization. *Forest Ecology and Management* 149: 1-14.
- BIGG, W. L. y SCHALAU, J. W. (1990). Mineral nutrition and the target seedling. En: Target seedling symposium. Gen. Tech. Rep. USDA Forest Service. pp. 139-158.
- BIRCHLER, T.; ROSE, R.; ROYO, A. y PARDOS, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto parámetros definitorios e implantación práctica. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 7: 109-121.
- BOYER, J. N. y SOUTH, D. B. (1985). Nutrient content of nursery grown Loblolly pine seedlings. *Southern Journal of Applied Forestry* 282.
- BURDETT, A. N. (1990). Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 415-427.
- CHERBUY, B.; JOFFRE, R.; GILLON, D. y RAMBAL, S. (2001). Internal remobilisation of carbohydrates, lipids, nitrogen and phosphorus in the Mediterranean evergreen oak *Quercus ilex*. *Tree Physiology* 21: 9-17.
- DEL CAMPO, A. D. (2002). Régimen de cultivo, desarrollo en vivero, calidad de planta y respuesta al establecimiento en cuatro especies de frondosas mediterráneas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 310 pp.
- DOMÍNGUEZ LERENA, S.; OLIET, J.; CARRASCO, I.; PEÑUELAS, J. L. y SERRADA, R. (2000). Influencia de la relación N-P-K en el desarrollo en vivero y en campo de planta de *Pinus pinea*. Actas del 1er Simposio del pino piñonero (*Pinus pinea* L.). Tomo I: 195-202.
- DUCHAFOUR, P. (1987). Manual de Edafología. Ed. Masson, París. 214 pp.
- DURYEA, M. L. y McCLAIN, K. M. (Eds.). (1984a). Seedling physiology and reforestation success. Nijhoff/Junk Publishers. Boston. 325 pp.
- DURYEA, M. L. y McCLAIN, K. M. (1984b). Altering seedling physiology to improve reforestation success. En: Duryea, M. L.; Brown, G. N. (Ed.): Seedling physiology and reforestation success. Nijhoff/Junk Pub. pp 77-114.
- FERNÁNDEZ, M.; ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Effects of temperature on growth and stress hardening development of phytotron-grown seedlings of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill). *Annals of Forest Science* 60: 277-284.
- FLØISTAD, I. S. y KOHMANN, K. (2004). Influence of nutrient supply on spring frost hardiness and time of bud break in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) seedlings. *New Forests* 27: 1-11.
- FOLK, R. S.; GROSSNICKLE, S. C.; ARNOTT, J. T.; MITCHELL, A. K. y PUTTONEN, P. (1996). Water relations, gas exchange and morphological development of fall and spring planted yellow cypress stecklings. *Forest Ecology and Management* 81(1-3): 197-213.
- GREEN, T. H. y MITCHELL, R. J. (1992). Effects of nitrogen on the response of loblolly pine to water stress. I. Photosynthesis and stomatal conductance. *New Phytologist* 122: 627-633.
- GREEN, T. H.; MITCHELL, R. J. y GJERSTAD, D. H. (1994). Effects of nitrogen on the response of loblolly pine to drought. II. Biomass allocation and C:N balance. *New Phytologist* 128: 145-152.



- GROSSNICKLE, S. C. (2000). Ecophysiology of Northern Spruce Species: The Performance of Planted Seedlings. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. 409 pp.
- HINESLEY, L. E. y WRIGHT, R. D. (1988). Budget and growth of Eastern White pine following application of 6-Benzylaminopurine to seedlings fertilized with different levels of nitrogen. *Journal of Environmental Horticulture* 6: 42-45.
- HORMILLA, S.; PEÑA, J. y DUÑABEITIA, M. K. (1997). Influencia de la ectomicorrización en la respuesta de plantas de *Quercus robur* L. a la deficiencia nutricional. *Actas II Congreso Forestal Español*. Mesa 3: 313-318.
- INGESTAD, T. y KAHR, M. (1985). Nutrition and growth of coniferous seedlings at varied relative addition rate. *Physiologia Plantarum* 65: 109-116.
- JIANG, Y.; ZWIAZEK, J. y McDONALD, S. E. (1994). Effects of prolonged cold storage on carbohydrate and protein content and field performance of white spruce bareroot seedlings. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 1369-1375.
- JOSE, S.; MERRITT, S. y RAMSEY, C. L. (2003). Growth, nutrition, photosynthesis and transpiration responses of longleaf pine seedlings to light, water and nitrogen. *Forest Ecology and Management* 180: 335-344.
- LANDIS, T. D. (1985). Mineral nutrition as an index of seedling quality. En: Duryea, M. (Ed.): *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests*. Forest Research Lab. Oregon State University. pp. 29-48.
- LANDIS, T. D. (1989). Mineral nutrients and fertilization. En: Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E.; Barnett, J. P. (Eds.): *The container Tree Nursery Manual, Vol 4. Agriculture Handbook 674*. Forest Service. U.S. Dep. of Agric. pp. 1-70.
- LANDIS, T. D. (1997). Monitoring seedling nutrition in bareroot and container nurseries. En: Haase, D. L.; Rose, R. (Eds.). *Forest seedling nutrition from the nursery to the field*. Symposium Proceedings. NTC. Oregon State University: 69-83.
- LARSEN, H. S.; SOUTH, D. B. y BOYER, J. N. (1988). Foliar nitrogen content at lifting correlates with early growth of Loblolly pine seedlings from twenty nurseries. *Southern Journal of Applied Forestry* 12: 181-185.
- MALIK, V. y TIMMER, V. R. 1998. Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixewood sites: a bioassay study. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 206-215.
- MARGOLIS, M. A. y BRAND, D. G. (1990). An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 375-390.
- MARSHALL, J. D. (1985). Carbohydrate status as an index of seedling quality. En: Duryea, M. (Ed.): *Evaluating seedling quality. Principles, procedures and predictive abilities of major test*. Forest Research Lab. Oregon State University. Corvallis. pp. 49-57.
- MARSHALL, J. y WARING, R. (1985). Predicting fine root production and turnover by monitoring root starch and soil temperature. *Canadian Journal of Forestry Research* 15: 791-800.
- MORENO, S.; VILLAR-SALVADOR, P. y PEÑUELAS, 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*. Mesa 2. Zaragoza, 26-30 septiembre de 2005.
- NAVARRO, R. M.; DEL CAMPO, A. D. y CEACERO, C. J. (2001a). Caracterización del cultivo y determinación de calidad de planta de *Quercus ilex* ssp. *ballota* y *Quercus suber* en varios



- viveros forestales. Actas del III Congreso Forestal Español. Mesa 3. Mejora genética, viveros y repoblación forestal. Granada, 25-28 septiembre de 2001. pp. 824-831.
- NAVARRO, R. M.; DEL CAMPO, A. D. y CEACERO, C. J. (2001b). Caracterización del cultivo y determinación de calidad de planta de *Ceratonia siliqua* y *Olea europaea* var. *sylvestris* en varios viveros forestales. Actas del III Congreso Forestal Español. Mesa 3. Mejora genética, viveros y repoblación forestal. Granada, 25-28 septiembre de 2001. pp. 861-865.
- NOLAND, T. L.; MOHAMMED, G. H. y SCOTT, M. (1997). The dependence of root growth potential on light levels, photosynthetic rate, and root starch content in jack pine seedlings. *New Forests* 13: 105-119.
- OLIET, J. (1995). Influencia de la fertilización en vivero sobre la calidad de la planta y la supervivencia en campo de varias especies forestales. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; LÓPEZ ARIAS, M. y ARTERO, F. (1997). Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. Cuadernos de la S.E.C.F. 4: 69-80.
- OLIET, J.; SEGURA, M. L.; MARTÍN, F.; BLANCO, E.; SERRADA, R.; LÓPEZ ARIAS, M. y ARTERO, F. (1999). Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 8: 207-228.
- OLIET, J.; ARTERO, F. y PLANELLES, R. (2001). Repoblación artificial con *Zizyphus lotus* (L.): Resultados de una experiencia de cultivo en vivero y plantación en campo. Simposio sobre "Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos". Asociación Española de Ecología Terrestre. Alcalá de Henares, Madrid, septiembre de 2001.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; VALVERDE, R. y ARTERO, F. (2005a). Resultados de 7 años de plantación de *Pinus halepensis* en medio semiárido en respuesta a la fertilización en vivero. Actas IV Congreso Forestal Español. Mesa 2.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; ARTERO, F. y JACOBS, D. (2005b). Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in mediterranean semi-arid conditions. *Forest Ecology and Management* 215: 339-351.
- PLANELLES, R.; OLIET, J.; ARTERO, F. y LÓPEZ ARIAS, M. (2001). Efecto de distintas dosis N-P-K sobre la calidad funcional de planta de *Ceratonia siliqua*. Respuesta en plantación. Actas III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 599-605.
- PLANELLES, R. (2004). Efectos de la fertilización N-P-K en vivero sobre la calidad funcional de planta de *Ceratonia siliqua* L. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 150 pp.
- PLASSARD, C.; BONAFOS, B. y TOURAINE, B. (2000). Differential effects of mineral and organic N sources, and of ectomycorrhizal infection by *Hebeloma cylindrosporum*, on growth and N utilization in *Pinus pinaster*. *Plant, Cell and Environment* 23: 1195-1205.
- PUÉRTOLAS, J.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry* 76: 159-168.
- PUÉRTOLAS, J.; ALONSO, J.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2004). Efecto del estado nutricional y el tamaño de la planta sobre el comportamiento en campo de *Pinus halepensis* en dos lugares de plantación. Cuadernos de la S.E.C.F. 17: 87-92.
- PUTTONEN, P. (1986). Carbohydrate reserves in *Pinus sylvestris* seedling needles as an attribute of seedling vigour. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 181-193.



- ROMANYÀ, J. y VALLEJO, V. R. (2004). Productivity of *Pinus radiata* plantations in Spain in response to climate and soil. *Forest Ecology and Management* 195: 177-189.
- ROOK, D. A. (1991). Seedling development and physiology in relation to mineral nutrition. En: van den Driessche, R. (Ed.): *Mineral nutrition in conifer seedlings*. CRC Press. pp. 86-112.
- ROYO, A.; FERNÁNDEZ, M.; GIL, L.; GONZÁLEZ, E.; PUELLES, A.; RUANO, R. y PARDOS, J. A. (1997). La calidad de la planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. destinada a repoblación forestal. Tres años de resultados en la Comunidad Valenciana. *Montes* 50: 29-39.
- ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2001). Effect of water stress conditioning on morphology, physiology and field performance of *Pinus halepensis* Mill. Seedlings. *New Forests*, 21: 127-140.
- RUIZ VIANA, P. y DOMÍNGUEZ, S. (1997). Estudio sobre factores influyentes en un ensayo de fertilización de planta de *Pinus pinea* L.: potencial de regeneración de raíces, concentración de nutrientes y tamaño de planta. E.U.I.T.F. Universidad Politécnica de Madrid. Inédito.
- SALIFU, K. F. y TIMMER, V. R. (2001). Nutrient retranslocation response of *Picea mariana* seedlings to nitrogen supply. *Soil Science Society of America Journal* 65: 905-913.
- SALIFU, K. F. y TIMMER, V. R. (2003a). Nitrogen retranslocation response of young to nitrogen-15 supply. *Soil Science Society of America Journal* 67: 309-317.
- SALIFU, K. F. y TIMMER, V. R. (2003b). Optimizing nitrogen loading of *Picea mariana* seedlings during nursery culture. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 1287-1294.
- SALISBURY, F. B. y ROSS, C. W. (1994). *Fisiología vegetal*. Editorial Iberoamérica. 759 pp.
- SANZ, V.; CASTRO, P. y VALLADARES, F. (2005). Efectos de la disponibilidad de agua y nutrientes en el patrón de acumulación de carbohidratos en plántulas de tres especies de *Quercus*. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 20: 129-134.
- SARDANS, J. y PEÑUELAS, J. (2005). Disponibilidad y uso del fósforo en los ecosistemas terrestres mediterráneos. La inspiración de Margalef. *Ecosistemas* 2005/1 (URL: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=85&Id_Categoria=2&tipo=portada)
- SARDANS, J.; RODÀ, F. y PEÑUELAS, J. (2004). Phosphorus limitation and competitive capacities of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* on different soils. *Plant Ecology* 174: 307-319.
- SWITZER, G. L. y NELSON, L. E. (1963). Effects of nursery fertility and density on seedling characteristics, yield, and field performance of loblolly pine (*Pinus taeda*). *Soil Science Society of America Proceedings* 27: 461-464.
- TAN, W. y HOGAN, G. D. (1997). Physiological and morphological responses to nitrogen limitation in jack pine seedlings: potential implications for drought tolerance. *New Forests* 14: 19-31.
- THOMAS, F. M. y HILKER, CH. (2000). Nitrate reduction in leaves and roots of young pedunculate oaks (*Quercus robur*) growing on different nitrate concentrations. *Forest Ecology and Management* 43: 19-32.
- TIMMER, V. R. y AIDELBAUM, A. S. (1996). *Manual for exponential nutrient loading of seedlings to improve outplanting performance on forest sites*. Natural Resources Canada. Canadian Forest Service. Sault Ste. Marie: 21.
- TIMMER, V. R. y ARMSTRONG, G. (1987). Diagnosing nutritional status of containerized tree seedlings: comparative plant analysis. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1082-1086.



- TINUS, R. W.; BURR, K. E.; ATZMON, N. y RIOV, J. (2000). Relationships between carbohydrate concentration and root growth potential in coniferous seedlings from three climates during cold hardening and dehardening. *Tree Physiology* 20: 1097-1104.
- TRUBAT, R.; CORTINA, J. y VILAGROSA, A. (2004). Estado nutricional y establecimiento de especies leñosas en ambiente semiárido. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 17: 245-251.
- VALDECANTOS, A.; CORTINA, J. y VALLEJO, V. R. (2006). Nutrient status and field performance of tree seedlings planted on Mediterranean degraded areas. *Annals of Forest Science* 63: 1-8.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. (1984). Relationship between spacing and nitrogen fertilization of seedlings in the nursery, seedling mineral nutrition, and outplanting performance. *Canadian Journal of Forest Research* 14: 431-436.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. (1988). Nursery growth of conifer seedlings using fertilizers of different solubilities and application time, and their forest growth. *Canadian Journal of Forestry Research* 18: 172-180.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. (1987). Importance of current photosynthate to new root growth in planted conifer seedlings. *Canadian Journal of Forestry Research* 17: 776-782.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. (1992). Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen and potassium treatments. *Can. Journal of Forestry Research* 22: 740-749.
- VILLAR-SALVADOR, P.; DOMÍNGUEZ-LERENA, S.; PEÑUELAS, J. L.; CARRASCO, I.; HERRERO, N.; NICOLÁS PERAGÓN, J. L. y OCAÑA, L. (2000a). Plantas grandes y mejor nutridas de *P. pinea* L. tienen mejor desarrollo en campo. 1er Simposio del Pino piñonero. Libro de Actas. Tomo I: 219-227.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PEÑUELAS, J. L. y CARRASCO, I. (2000b). Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de planta en *P. pinea*. 1er Simposio de Pino Piñonero. Libro de Actas. Tomo I: 211-218.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E. y PEÑUELAS, J. L. (2004a). Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecology and Management* 196: 257-266.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; OLIET, J.; PEÑUELAS-RUBIRA, J.; JACOBS, D. F. y GONZÁLEZ DE CHÁVEZ, M. (2004b). Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex* L.) after drought hardening in the nursery. *Tree Physiology* 24: 1147-1155.
- WILD, S. R. y JONES, K. C. (1992). Organic chemicals entering agricultural soils in sewage sludges: screening for their potential to transfer to crop plants and livestock. *Science of the Total Environment* 119, 85-119.
- XU, X. y TIMMER, V. R. (1999). Growth and nitrogen nutrition of Chinese fir seedlings exposed to nutrient loading and fertilization. *Plant and Soil* 216: 83-91.



BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- BOIVIN, J. R.; SALIFU, F. y TIMMER, V. R. (2004). Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings: intensive loading and outplanting response on greenhouse bioassays. *Ann. For. Sci.* 61: 737-745.
- DUMROESE, R. K.; PAGE-DUMROESE, D. S.; SALIFU, K. F. y JACOBS, D. F. (2005). Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. *Canadian Journal of Forest Research* 35: 2961-2967.
- LANDIS, T. D. (1994). Mineral nutrients and fertilization. En: Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E.; Barnett, J. P. (Eds.): *The container Tree Nursery Manual, Vol 4. Agriculture Handbook 674.* Forest Service. U.S. Dep. of Agric. pp. 1-70. <http://www.growthmodel.org/wfca/books/volume4.htm>
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; SEGURA, M. L.; ARTERO, F. y JACOBS, D. F. (2004). Mineral nutrition and growth of containerized *Pinus halepensis* seedlings under controlled-release fertilization. *Scientia Horticulturae* 103: 113-129.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E. y PEÑUELAS, J. L. (2004). Nursery cultivation regimes, plant functional attributes, and field performance relationships in the Mediterranean oak *Quercus ilex* L. *Forest Ecology and Management* 196: 257-266.



El endurecimiento en vivero de especies forestales mediterráneas

ALBERTO VILAGROSA, PEDRO VILLAR-SALVADOR y JAIME PUÉRTOLAS



RESUMEN

En este capítulo se analiza el significado del endurecimiento y su aplicación al cultivo de especies forestales mediterráneas. El endurecimiento en vivero es un proceso en el que se promueven los mecanismos de resistencia a un factor de estrés de una planta al someterla a dosis subletales de dicho estrés. Este proceso debe considerarse una etapa más del proceso de cultivo de la planta forestal. Los tres principales tipos de endurecimiento que se practican en especies mediterráneas son: endurecimiento por estrés hídrico, endurecimiento por reducción de la fertilización, especialmente del nitrógeno y endurecimiento por bajas temperaturas. La mayor parte de los estudios en especies mediterráneas se han centrado en el endurecimiento por estrés hídrico, siendo muy escasos los que han abordado los otros dos procedimientos de endurecimiento. El endurecimiento por estrés hídrico incrementa la resistencia de las plantas a la sequía pero los resultados de su efecto en la mejora de la supervivencia y crecimiento post-transplante no son claros.

ASPECTOS BIEN CONOCIDOS

Endurecimiento por estrés hídrico

- Incrementa la resistencia a la sequía de las plantas al salir del vivero, modificando tanto caracteres funcionales evitadores y tolerantes de resistencia al estrés.
- La estrategia funcional de cada especie frente a la sequía condicionan el efecto del endurecimiento.
- Afecta al desarrollo de la planta: mayor distribución de recursos al sistema radicular y menor a la parte aérea.
- Puede mejorar la supervivencia y moderar el crecimiento de la parte aérea en campo.

Endurecimiento por reducción de la fertilización

- Reduce el desarrollo de los plántones y su concentración de nutrientes.
- Acelera la resistencia al frío.

Endurecimiento por bajas temperaturas

- Proceso no controlado por el viverista.
- Incrementa la resistencia a heladas y a la sequía.



ASPECTOS POCO CONOCIDOS

Endurecimiento por estrés hídrico

- Niveles de estrés aplicado que pueden proporcionar mejor respuesta.
- Duración del periodo de endurecimiento óptimo.
- Patrones de respuesta en función de la especie.
- Test más adecuado para determinar el grado de endurecimiento.

Endurecimiento por reducción de la fertilización

- Interacción entre efecto de la fertilización y resistencia a condiciones de estrés.
- Interacciones entre balance de nutrientes y endurecimiento.

Endurecimiento por bajas temperaturas

- En general, falta información sobre un número mayor de especies y sus efectos.
- Efecto de diferentes regímenes climáticos sobre el tamaño de planta.

1. ¿QUÉ ES EL ENDURECIMIENTO?

Levitt (1980) señaló que es posible que una planta aumente su resistencia a un estrés determinado someténdola a dosis subletales de ese mismo estrés. En muchos casos, la resistencia adquirida a un factor de estrés también confiere mayor resistencia a otros factores de estrés. Según Landis *et al.* (1998), el endurecimiento en vivero tiene cuatro objetivos principales: 1) modificar la morfología de los brinzales e inducir *letargo*, 2) aclimatar los brinzales a las condiciones ambientales del campo, 3) promover los mecanismos de resistencia al estrés de las plantas y 4) como consecuencia de los anteriores, mejorar la supervivencia y el crecimiento tras el trasplante. El endurecimiento permite, además, optimizar el cultivo evitando riegos y fertilizaciones excesivas. Por lo tanto, el endurecimiento es la fase del cultivo en vivero en la que se potencian determinados mecanismos de la biología de las plantas relacionados con la resistencia a factores de estrés, especialmente al estrés hídrico, térmico, nutricional y mecánico. Al endurecimiento también se le denomina preacondicionamiento, acondicionamiento o aclimatación.

Habitualmente, el endurecimiento se practica durante las últimas semanas de cultivo, coincidiendo con el final del periodo de crecimiento vegetativo de las plantas, al final del verano o en otoño, y cuando las plantas ya han alcanzado el grado de desarrollo deseado. Hasta entonces, las plantas deben ser cultivadas con una disponibilidad de recursos óptimos y en condiciones adecuadas. Antes de la fase de endurecimiento, las plantas pueden disponer de una calidad morfológica y sanitaria óptima y un contenido en nutrientes adecuado, pero suelen ser vulnerables a factores de estrés porque se hallan en crecimiento activo. Es en este momento cuando la planta debe ser “endurecida” para que sus mecanismos



fisiológicos y morfológicos de resistencia a factores de estrés sean potenciados. Para garantizar un desarrollo óptimo de una plantación es esencial que todas las plantas que salgan al campo estén, de un modo u otro, suficientemente endurecidas (Figura 1).



Figura 1. Diferencias de endurecimiento en *Pinus pinaster*. El plantón de la izquierda está endurecido al sacarse del invernadero al exterior y someterse al frío y la radiación directa del sol. El de la derecha permaneció cultivado en un invernadero. Se puede observar que el plantón endurecido presenta estructuras más lignificadas (color marrón) en el tallo mientras que el control tiene un color más claro señal de menor lignificación y, por lo tanto, puede mostrar mayor sensibilidad a situaciones de estrés. (Foto: P. Villar-Salvador)

El endurecimiento de las plantas es un proceso que ocurre espontáneamente en la naturaleza. Gracias a él, las plantas se aclimatan para sobrevivir o crecer bajo situaciones de estrés. Un ejemplo de endurecimiento es el aumento de la resistencia a las heladas que experimentan muchas especies leñosas del mundo templado y boreal al acercarse la época fría del año. Estimuladas por el acortamiento de los días y la disminución de la temperatura nocturna al final del verano y el otoño, las plantas incrementan su resistencia a las heladas y a otros factores de estrés (Burr, 1990; van den Driessche, 1989). Ello ocurre en paralelo a la ralentización del crecimiento de los tallos que parece ser una condición esencial para que el endurecimiento se produzca. Cuando los días se vuelven a alargar al final del invierno y la temperatura asciende, las plantas vuelven a sus niveles de resistencia a las heladas que tenían antes del invierno (Figura 2). Otro ejemplo de endurecimiento que afecta a multitud de plantas perennes es el aumento de la tolerancia al estrés hídrico durante los periodos secos, tolerancia que vuelve a reducirse durante la estación húmeda. Este tipo de comportamiento es muy frecuente en especies leñosas mediterráneas (Kyriakopoulos y Richter, 1991; Nunes *et al.*, 1989; Noitsakis y Tsiouvaras, 1990).



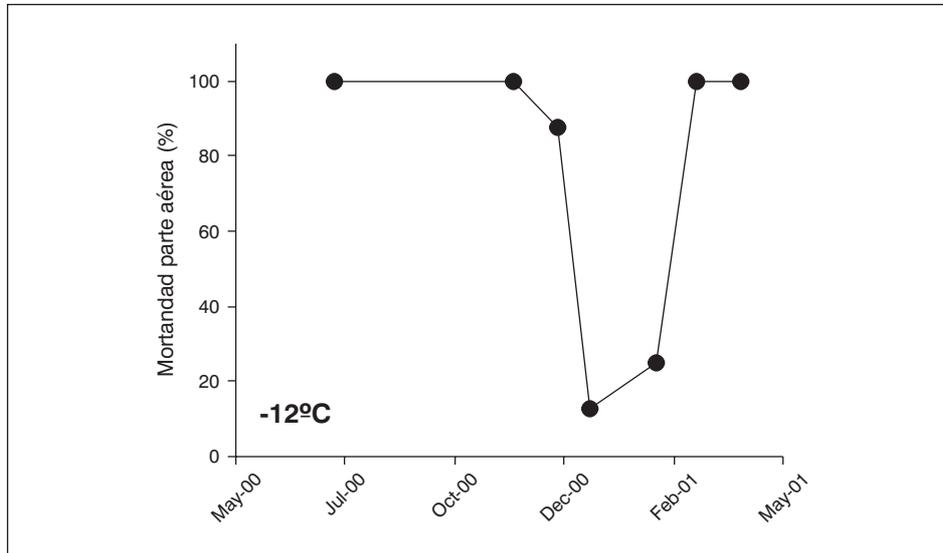


Figura 2. Evolución del endurecimiento al frío en plantones de *Quercus ilex* subsp. *ballota* a lo largo del otoño, invierno y primavera. La resistencia a la helada se midió en cada fecha por la mortandad de la parte aérea después de someter a las plantas a -12°C . Fuente: Villar-Salvador, Mollá, García-Fayos y Peñuelas, datos inéditos.

El proceso de endurecimiento no debe considerarse aisladamente del resto de etapas de cultivo sino como una parte complementaria, en la que la resistencia de una planta y su capacidad de medra en campo va a depender de una serie de actuaciones globales de cultivo. De nada sirve endurecer una planta que no presenta buenos niveles de nutrientes por no haber sido bien fertilizada, o se encuentra morfológicamente desequilibrada por no haberse empleado un contenedor o densidades de cultivo adecuadas.

Existen varios procedimientos para endurecer los plantones cultivados en vivero (Landis *et al.*, 1998). Sin embargo, dada la difícil coyuntura económica del sector viverístico español y las características climáticas del país, los métodos principales que se practican son: el endurecimiento por estrés hídrico, la reducción del aporte de fertilizante (endurecimiento nutricional) y el endurecimiento por bajas temperaturas.



2. ENDURECIMIENTO POR ESTRÉS HÍDRICO

Este tipo de endurecimiento tiene por objeto someter al cultivo a un determinado grado de sequía que detenga el crecimiento de las plantas y active sus mecanismos de resistencia a condiciones de déficit hídrico. La mayor parte de los trabajos sobre este tipo de endurecimiento se han realizado con especies de climas boreales o templado-húmedos. Sin embargo, durante los últimos años se han publicado diversos trabajos sobre el efecto del endurecimiento en la resistencia al estrés hídrico y el desarrollo post-transplante en especies mediterráneas (ver Tabla 1). De una forma genérica, estos trabajos muestran que casi todas las especies tienden a mostrar un incremento en su resistencia a la sequía. Sin embargo, no todas las especies muestran variaciones en los mismos caracteres ni la intensidad de variación es la misma (Vilagrosa *et al.*, 2003). Algunas especies, como *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *P. pinea* o *Pistacia lentiscus*, muestran una reducción de la capacidad de formar nuevas raíces al ser endurecidas por estrés hídrico, lo cual puede ser un inconveniente ya que la formación de las mismas es importante para el establecimiento de los plantones. En otras especies, en cambio, la tendencia parece ser la contraria (ver Tabla 1). El endurecimiento por déficit hídrico también puede mejorar la resistencia a las heladas, como en el caso de *Pinus pinea* (Villar-Salvador, datos no publicados). Sin embargo, este efecto no se observó en *P. halepensis* (Puértolas, 2003). En general, el endurecimiento por estrés hídrico no reduce la concentración de nutrientes minerales (Villar-Salvador *et al.*, 1997).





Tabla 1. Resumen de los resultados más relevantes de las respuestas de plantones de diversas especies Mediterráneas a endurecimiento hídrico

| Especie | Calamassi <i>et al.</i> , 2001 | Puértolas, 2003 | Royo <i>et al.</i> , 2001 | Tognetti <i>et al.</i> , 1997 | Villar-Salva <i>et al.</i> , 1999 y * | Guehl <i>et al.</i> , 1993 | Kaushal y Aussenac, 1989 | Fernández <i>et al.</i> , 1999 | Villar-Salvador <i>et al.</i> , 2000 y * | Fonseca, 1999 | Vilagrosa <i>et al.</i> , 2003 | Rubio <i>et al.</i> , 2001 y * | Kaushal y Aussenac, 1989 |
|---|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| | <i>Pinus halepensis</i> | <i>Pinus halepensis</i> | <i>Pinus halepensis</i> | <i>Pinus halepensis</i> | <i>Pinus halepensis</i> | <i>Pinus nigra</i> | <i>Pinus nigra</i> | <i>Pinus pinaster</i> | <i>Pinus pinea</i> | <i>Juniperus oxycedrus</i> | <i>Juniperus oxycedrus</i> | <i>Quercus ilex</i> | <i>Cedrus atlantica</i> |
| Transpiración por cutícula | | | | ↓ | ↓ | | | | ↓ | 0 | 0 | 0 | |
| Transpiración por estomas | 0 | | | ↓ | ↓ | | | | ↓ | 0 | 0 | 0 | |
| Ajuste osmótico | SI, según precedencias | NO | NO | SI, según precedencias | NO | | | SI, según precedencias | NO | NO | NO | 0 | |
| Estabilidad de fotosistemas | | | | | | | | | | 0 | 0 | 0 | |
| Estabilidad membranas celulares | | | | | 0 | | | | ↑ | | | | |
| Capacidad de formación de nuevas raíces | | | | | ↓ | | | | ↓ | ↓ | | ↑ | |
| Proporción raíz parte aérea | 0 | | ↓ | | | | | | ↓ | 0 | | | |
| Supervivencia en plantación | | | 0 | | 0 | ↓ | ↓ | | 0 | 0 | 0 | 0 | ↓ |
| Crecimiento en plantación | | | 0 (Inc altura) | | 0 | 0 | 0 | | ↓ o 0 Dependiendo de la fertilización | 0 | | ↓ | 0 |

Simbolos: ↑ aumento, ↓ disminución, 0 ningún efecto, * datos inéditos. Celdas vacías indica parámetro no estudiado.

Tabla 1. Resumen de los resultados más relevantes de las respuestas de plantones de diversas especies Mediterráneas a endurecimiento hídrico

| Especie | Villar-Salvador et al., 2004b | Fonseca, 1999 | Vilagrosa et al., 2003 | Chirino Miranda et al., 2003 y * | Vilagrosa et al. | Larcher et al., 1991 | Dichio et al., 2003 | Fonseca, 1999 | Rubio et al., 2001 y * | Vilagrosa et al., 2003 | Bañón et al., 2003 | Franco et al., 2002 y Franco et al., 2001 | Bañón et al., 2005 |
|---|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--|------------------------|
| | <i>Quercus ilex</i> | <i>Quercus coccifera</i> | <i>Quercus coccifera</i> | <i>Quercus suber</i> | <i>Quercus suber</i> | <i>Olea europaea</i> | <i>Olea europaea</i> | <i>Pistacia lentiscus</i> | <i>Pistacia lentiscus</i> | <i>Pistacia lentiscus</i> | <i>Rhamnus alaternus</i> | <i>Lotus creticus</i> <i>Cytisoides</i> | <i>Nerium oleander</i> |
| Transpiración cuticular | ↓ | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | 0 | | | |
| Transpiración por estomas | ↓ | 0 | 0 | ↓ | ↓ | | | | 0 | 0 | ↓ | | ↓ |
| Ajuste osmótico | SI | | NO | | | SI | SI | | SI (en campo) | NO | NO | | SI |
| Estabilidad de fotosistemas | | | 0 | 0 | 0 | | | | 0 | ↑ | | | |
| Estabilidad membranas celulares | ↑ | | | | | | | | | | | | |
| Capacidad de formación de nuevas raíces | ↓ | ↓ | ↑ (en campo) | 0 | 0 | | | ↓ | ↑ (en campo) | | | ↑ (en rizotrón) | |
| Proporción raíz parte aérea | 0 | 0 | ↑ | | | | | 0 | | | ↑ | | ↑ |
| Supervivencia en plantación | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | 0 | ↑ | | ↑ (en rizotrón) | | ↑ (en rizotrón) |
| Crecimiento aéreo en plantación | 0 | 0 | ↓ | ↓ | ↓ | | | 0 | ↓ | | | | ↑ |

Simbolos: ↑ aumento, ↓ disminución, 0 ningún efecto, * datos inéditos. Celdas vacías indica parámetro no estudiado. (cont.)



2.1. ¿Cómo se aplica el estrés hídrico en los cultivos?

Habitualmente se hace por ciclos de sequía: el cultivo se deja secar hasta alcanzar un nivel de desecación concreto, momento en el que se riega de nuevo hasta saturación. El control del nivel de desecación del cultivo se puede efectuar pesando una serie de bandejas escogidas aleatoriamente y determinando la pérdida de su peso con respecto a su máximo peso en saturación. Este método es relativamente práctico a escala de gestión ya que con la rehidratación a saturación se asegura que todo el cultivo vuelve a tener una alta disponibilidad hídrica antes del siguiente ciclo de sequía y el control del grado de desecación se puede realizar con una simple balanza. Otro método de control del grado de desecación del cultivo es mediante el empleo de sondas que miden directamente el contenido hídrico del sustrato, como las sondas TDR (Time Domain Reflectometry) o similares. La ventaja de estas sondas es que permiten un seguimiento mucho más exacto y continuo de la cantidad de agua disponible para las plantas. Los principales inconvenientes son su elevado coste, su gran tamaño que dificulta su empleo en los pequeños alvéolos de las bandejas forestales y para su funcionamiento óptimo es necesario previamente caracterizar las propiedades físicas de los sustratos.

A parte de los ciclos de sequía, otra forma de aplicar el estrés hídrico al cultivo es manteniendo los brinzales con una sequía sostenida en el tiempo. La idea básica es mantener los brinzales con un determinado grado de desecación o potencial hídrico durante un tiempo. Previamente se deja secar el cultivo hasta alcanzar un nivel determinado de disponibilidad de agua en el sustrato y este nivel se mantiene durante un tiempo compensando las pérdidas de agua con un riego moderado que las supla (riego subóptimo). El principal inconveniente de este método es que la rehumectación de los sustratos basados en turba no es homogénea. Como consecuencia, se pueden producir deformaciones radicales debido a la aparición de raíces remontantes y salinización del sustrato, y el riesgo de una cierta mortalidad o defoliación de los plantones es elevado. Debido a ello, este método de riego sólo se puede aplicar durante periodos de tiempo cortos. Resultados preliminares obtenidos al comparar los dos tipos de endurecimiento no justificarían la aplicación del tipo de sequía sostenida (Rubio, datos no pub.).

2.2. ¿Qué nivel de estrés hídrico es recomendable?

Diversos trabajos han observado que los niveles medios o moderados de estrés hídrico suelen inducir mayor nivel de endurecimiento que los muy intensos o los muy suaves (Villar-Salvador *et al.*, 1999, 2004b). Posiblemente, niveles fuertes de estrés hídrico pueden dañar la planta debido a que durante el proceso de desecación los plantones pueden rebasar ciertos límites de tolerancia.

A modo de ejemplo, si se emplea la pesada de las bandejas de cultivo como método de control del endurecimiento y el sustrato de cultivo es turba rubia y vermiculita (80:20 v/v), se recomienda que la pérdida de peso de las bandejas no sea superior al 35-40%, en el caso



de bandejas de plástico rígido y del 45-50% en el caso de bandejas forestales termoconformadas (Villar-Salvador *et al.*, 2004a). En términos de potencial hídrico medido al alba, los mejores niveles de endurecimiento sin dañar la planta se alcanzaron entre $-1,2$ y $-1,8$ MPa en *Pinus halepensis* entre $-1,0$ y $-1,4$ MPa en *P. pinea*. y a $-1,3$ MPa en *Q. ilex*.

Tan importante como el nivel de estrés hídrico, es la velocidad de desecación del cultivo. Una baja velocidad de desecación tiene un efecto muy positivo sobre el endurecimiento de las plantas, mientras que una alta velocidad lo inhibe. La consecución de una baja velocidad de desecación es relativamente sencilla en otoño e invierno en zonas frías del interior de España pero no en verano. En zonas de otoños e invierno suaves como ocurre en la costa mediterránea puede ser difícil reconseguir ciclos largos de sequía. En estos casos se pueden situar los plantones debajo de una malla de sombreo muy suave que facilite la consecución de ciclos de sequía más lentos. Por ejemplo, en Alicante, dependiendo de las condiciones climáticas los ciclos de sequía en otoño duran entre 8 y 13 días.

Las características funcionales de cada especie pueden condicionar el efecto del endurecimiento. Así, un mismo nivel de estrés puede afectar de forma diferente a dos especies. Por ejemplo, potenciales hídricos de -1 MPa produjeron un cierre estomático del 80% en *Pistacia lentiscus* frente a un 45% en *Quercus coccifera* (Vilagrosa, 2002). Por lo tanto, lo ideal sería que el nivel de estrés a aplicar fuese específico para cada especie.

2.3. ¿Se endurecen más las plantas cuanto más tiempo se apliquen los ciclos de sequía?

En experiencias realizadas por el CEAM se ha observado que, en general, periodos de tiempo largos suelen producir mejores resultados que periodos cortos. Por ejemplo, un periodo de endurecimiento de 3 meses produjo una mejor respuesta post-transplante en *Pistacia lentiscus*, en comparación con experiencias previas con periodos de endurecimiento de un mes y medio (Fonseca, 1999; Rubio *et al.*, 2001). Comparando distintos periodos de endurecimiento de una forma genérica, se ha observado que un periodo corto, de un mes y medio, no produjo grandes modificaciones al salir del vivero en *Quercus coccifera* (Fonseca, 1999; Vilagrosa *et al.*, 2003). Periodos un poco más largos, tres meses, produjeron en plantones endurecidos de *Q.ilex* un incremento del desarrollo radical pero un menor crecimiento aéreo al ser transplantados en campo (Rubio *et al.*, 2001). En otro estudio con *Q. ilex*, las plantas endurecidas durante 3.5 meses no mostraron diferencias de resistencia a la sequía con respecto a las endurecidas durante 2.5 meses (Villar-Salvador *et al.*, 2004). Finalmente periodos muy largos de endurecimiento en el vivero de seis meses produjeron significativas modificaciones en las características morfofuncionales de los plantones en vivero y en campo en *Q. suber* (Chirino *et al.*, 2003; Vilagrosa, datos inéditos). En *Acacia cyanophylla*, la tolerancia a la sequía sólo se incrementó cuando el periodo de endurecimiento fue superior a tres meses (Albouchi *et al.*, 1997).



2.4. ¿Es capaz de aumentar el endurecimiento por estrés hídrico la resistencia a la sequía?

Los vegetales muestran dos tipos principales de estrategias frente al estrés hídrico: tolerar el estrés y evitar el estrés (Levitt, 1980). La estrategia de **evitar el estrés** se basa en mecanismos que impiden que el contenido de agua en la planta se reduzca. La estrategia de **tolerancia** está relacionada con la habilidad de que los procesos fisiológicos esenciales permanezcan poco afectados cuando se produce una deshidratación de los tejidos. Una planta sometida a estrés debería incrementar su resistencia bien mediante mecanismos de tolerancia o bien mediante mecanismos para evitarlo, o una combinación de ambos.

En la Tabla 1 se muestra que, en general, el endurecimiento incrementa la resistencia al estrés hídrico. Sin embargo, el número de mecanismos afectados es más bien pequeño, alrededor de la mitad de las variables analizadas no mostraron cambios respecto a las plantas no endurecidas. Los trabajos realizados hasta el momento no permiten observar un patrón claro de diferenciación de las especies en relación con los mecanismos de respuesta más frecuentes, ya que en algunos estudios sólo se han analizado unas pocas variables. La respuesta de las especies al endurecimiento parece que depende de la estrategia que desarrollan frente al déficit hídrico (Vilagrosa *et al.*, 2003). Especies como *Pistacia lentiscus* que tienden a ajustarse muy bien a la disponibilidad hídrica son más plásticas en sus mecanismos de resistencia a la sequía que especies que toleran niveles de estrés mayores o bien que especies que basan su estrategia en mecanismos evitadores del déficit hídrico (Figura 3). En las especies de *Pinus*, la mayoría de las respuestas que se obtuvieron al endurecimiento fueron respuestas relacionadas con mecanismos evitadores del déficit hídrico (ver Tabla 1), mientras que los mecanismos de tolerancia al estrés hídrico, como el ajuste osmótico o el incremento de la estabilidad de las membranas celulares, fueron poco frecuentes y de escasa variación. Por el contrario, en especies como *Quercus ilex* u *Olea europaea* se observaron sobre todo respuestas que aumentan la tolerancia al déficit hídrico.

Los mecanismos evitadores del estrés hídrico que más respondieron al endurecimiento fueron la transpiración residual y la estomática, que en todos los casos fue una reducción, lo cual puede potencialmente ayudar a mantener la economía hídrica de los plántones en situaciones de sequía. Por el contrario, la capacidad de crecimiento radical medido en condiciones óptimas para la planta disminuyó en muchos casos con el endurecimiento. Estos resultados indicarían que el endurecimiento reduce el vigor de los plántones. Sin embargo, cuando se ha comparado el crecimiento de raíces en condiciones controladas con lo sucedido en campo, se han obtenido datos contradictorios. Fonseca (1999) observó una disminución de crecimiento potencial de raíces en plántones endurecidos mientras que esos mismos plántones mostraron un mayor desarrollo radical en condiciones de campo. Resultados similares han sido obtenidos en *Q. suber* (Chirino, datos no pub.). Esto sugiere que los resultados del test de capacidad de crecimiento de raíces en vivero pueden no representar lo que después ocurre en campo en determinadas condiciones (Simpson y Ritchie, 1997).



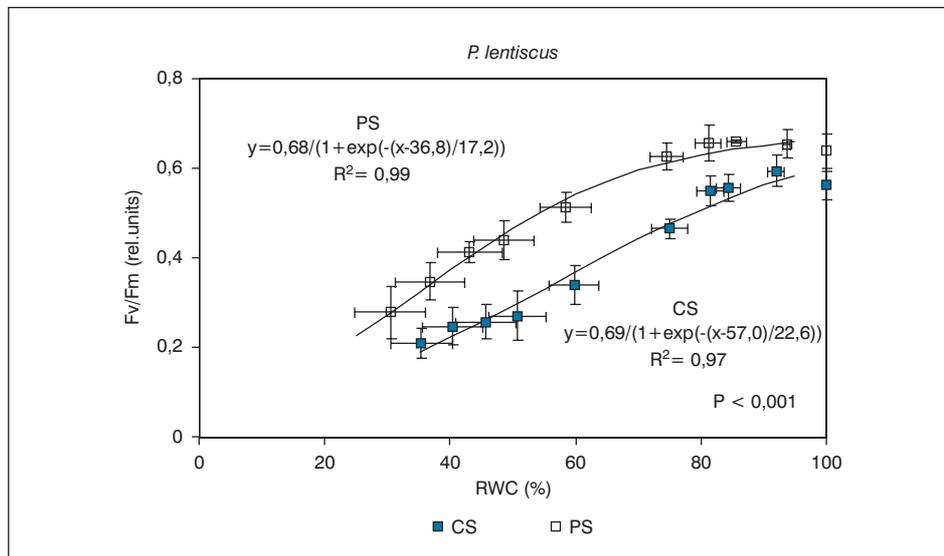


Figura 3. Cambios en la eficiencia máxima del fotosistema II (Fv/Fm) en función del contenido hídrico relativo foliar (RWC) para lentisco (*Pistacia lentiscus*) sometidos a endurecimiento (PS) y control (CS). Se observa que los plantones endurecidos fueron capaces de mantener valores más altos de Fv/Fm que los controles para contenidos hídricos relativos similares. (A partir de Vilagrosa *et al.*, 2003).

2.5. ¿Mejora el endurecimiento por estrés hídrico la supervivencia y crecimiento de los plantones después de ser plantados en campo?

La supervivencia y el crecimiento de los plantones son los factores más importantes para evaluar el éxito de una repoblación. En la Tabla 1 se recogen los resultados de los pocos trabajos publicados con especies Mediterráneas, junto con algún dato inédito sobre el efecto del endurecimiento en la supervivencia y crecimiento de las plantaciones. En los 15 trabajos en los que existen resultados de transplante, el 60% no encontraron ningún efecto del endurecimiento sobre la supervivencia, el efecto fue negativo en el 20% y en el otro 20% el efecto sobre la supervivencia fue positivo. En la literatura científica de especies no Mediterráneas, solamente conocemos dos trabajos sobre el efecto del endurecimiento por estrés hídrico en el desarrollo de plantaciones (Arnott *et al.*, 1993; van den Driessche, 1992). En el primero se obtuvieron resultados positivos de crecimiento sin ninguna influencia en la supervivencia, mientras que en el segundo se observó un incremento de la supervivencia en dos de las tres especies analizadas. En el marco del proyecto REDMED se analizó el efecto del endurecimiento en un amplio rango de especies mediterráneas (*Quercus suber*, *Q. coccifera*, *Q. ilex*, *Q. aegilops*, *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus*, y *Juniperus oxycedrus*) concluyéndose que en la mayoría de los estudios no había efectos significativos del endurecimiento aunque se observó una tendencia a mejorar la supervivencia y el crecimiento de los plantones (REDMED, 2001).



En general, el crecimiento no se ve favorecido por el endurecimiento (Figura 4). En el 100% de los trabajos analizados en la Tabla 1 no se observó ningún efecto o el efecto fue negativo. En algunos trabajos realizados con *P. lentiscus*, *Q. ilex* y *Q. suber*, junto con el desarrollo de la parte aérea se evaluó el desarrollo de la parte subterránea, observándose que un menor desarrollo de la parte aérea en los plántones endurecidos llevaba asociado un mayor desarrollo del sistema radical (Rubio *et al.*, 2001; Chirino, datos no publicados). Además, se observó que los plántones endurecidos en alguna de las especies anteriores soportaron mejor el periodo estival que los no endurecidos. Rubio *et al.* (2001) observaron que plántones de *P. lentiscus* no sometidos a endurecimiento en vivero sufrieron una elevada desecación de la parte aérea durante el primer verano que no experimentaron los plántones endurecidos, aunque posteriormente los plántones control fueron capaces de rebrotar con las lluvias otoñales. Chirino (datos no publicados) obtuvo unos resultados similares con *Q. suber*. En este último caso, el 40% de los plántones endurecidos no sufrieron ningún tipo de pérdida de biomasa aérea, mientras que este porcentaje se redujo a menos del 20% para plántones control (riego moderado). En este último caso tampoco se obtuvieron diferencias significativas en los porcentajes de mortalidad.



Figura 4. Plántones de alcornoque (*Quercus suber*) endurecidos (izquierda) y cultivados con riego moderado (derecha) antes del primer verano. Los plántones endurecidos tuvieron un crecimiento mucho menor que los de riego moderado. Sin embargo, después del verano se observó una reducción media de la altura de los plántones con riego moderado que convergió a valores similares a los endurecidos como consecuencia de que se había producido mortalidad de la parte aérea. En los plántones endurecidos no se observó una reducción de la altura de los plántones. (Foto: E. Chirino).



2.6. ¿Qué problemas se encuentran asociados al endurecimiento por estrés hídrico?

Uno de los problemas relacionados con el endurecimiento es la rehidratación del sustrato, si éste es turba. El descenso del potencial hídrico al alba de las plantas por debajo de -1.5 MPa, además de no mejorar el nivel de endurecimiento de las plantas conlleva una tremenda dificultad de rehidratación de los cepellones, con los consiguientes gastos de agua y peligro de merma de la calidad funcional de las plantas. Un segundo problema es la reversibilidad del endurecimiento. Muchas de las respuestas a la sequía inducida en el vivero de naturaleza fisiológica son reversibles cuando las condiciones de riego vuelven a ser óptimas. Ello hace que el período en el que potencialmente se puede aprovechar el incremento en la resistencia a la sequía de los plantones sea corto. No obstante, es interesante señalar que quizá esta reversibilidad no ocurra en los viveros que se localizan en zonas de inviernos fríos, debido a que el frío invernal ayuda a mantener activos los mecanismos de resistencia a la sequía (Villar-Salvador *et al.*, 1998). Esta idea, sin embargo, no está suficientemente contrastada.

3. ENDURECIMIENTO POR REDUCCIÓN DE LA FERTILIZACIÓN Y CAMBIOS EN LOS EQUILIBRIOS DE NUTRIENTES

La interacción entre nutrición y endurecimiento ha recibido cierta atención por parte de los investigadores en coníferas de climas más fríos en relación con la fertilización (nitrógeno y potasio, principalmente) y el proceso de autoendurecimiento por bajas temperaturas y reducción de fotoperiodo. Sin embargo, hasta el presente, la fertilización durante la fase de endurecimiento ha recibido muy poca atención en especies mediterráneas. Por ello, en este epígrafe se hace una breve revisión de las relaciones entre estado nutricional y endurecimiento encontradas en especies no mediterráneas, fundamentalmente en coníferas, para hacer luego mención de algunas de las experiencias realizadas en plantas mediterráneas.

Los resultados obtenidos al relacionar nutrición y endurecimiento han sido en muchas ocasiones contradictorios. En algunos trabajos se ha demostrado que altos niveles de N pueden retrasar y reducir el grado de endurecimiento al frío (Aronsson, 1980; Levitt, 1980; Hellergren, 1981), mientras que otros muestran que no tiene efecto o incluso mejora la resistencia al frío (Hawkins *et al.*, 1995; Rikala y Repo, 1997). En este último trabajo y en otros (Klein *et al.*, 1989; Bigras *et al.*, 1996) se ha observado que las deficiencias de N provocan un menor endurecimiento. Puede decirse que tanto concentraciones de N en acículas altas como muy bajas (por encima de 2% y por debajo de 1%, respectivamente, en coníferas) tienen una influencia negativa en el endurecimiento.

A la disparidad de resultados contribuyen, sin duda, las diferencias entre especies y, sobre todo, al gran efecto que tiene el momento de aplicación de los fertilizantes durante el cultivo. Así, Hawkins *et al.* (1995) encontraron para *Thuja applicata* y *Pseudotsuga menziensis* que diferentes tratamientos de fertilización de N y P que resultaron en idénti-



cos niveles de nutrientes en planta, provocaron, sin embargo, diferencias en el grado de resistencia al frío durante el otoño. Este estudio cuestionaba además la práctica habitual de reducir el aporte de nutrientes como mecanismo de fomento del endurecimiento.

Otro aspecto importante de la nutrición es su interacción con la resistencia a la sequía. El N está positivamente relacionado con la transpiración debido a que aumenta la superficie foliar, la relación parte aérea / parte radical, y muchas veces la conductancia estomática. Las plantas fertilizadas con elevadas cantidades de nitrógeno tendrían, por tanto, un mayor consumo de agua en términos absolutos, si bien la eficiencia de uso del agua (cantidad de carbono fijada por unidad de agua transpirada) tiende a ser mayor en plantas altamente fertilizadas. Se ha observado además en *Pinus banksiana* que una deficiencia en N acelera la expansión de las raíces laterales y aumenta la capacidad de mantener la turgencia celular en condiciones de sequía (Tan y Hogan, 1997). En *Juniperus thurifera*, la fertilización baja en N también aumenta la capacidad de mantener la turgencia celular en condiciones de sequía (Villar-Salvador *et al.*, 2005). Aunque en términos absolutos, además del consumo de agua, el aporte de nitrógeno puede incrementar el riesgo a la cavitación del xilema (Harvey y van den Driessche, 1999). Todo esto lleva a pensar que la reducción del aporte de N durante el otoño podría ser beneficiosa en plantas destinadas a ambientes mediterráneos.

Las experiencias realizadas sobre fertilización durante el periodo de endurecimiento en especies mediterráneas son muy escasas. En la mayor parte de los experimentos, realizados sobre todo con pinos (*Pinus pinea* y *Pinus halepensis*), los resultados mostraron que la reducción del aporte, especialmente de nitrógeno, conllevó menores crecimientos, y en casos de competencia herbácea, mayores mortalidades (Fernández *et al.*, 2000; Puértolas *et al.*, 2003). Esto lleva a pensar que el potencial incremento del endurecimiento inducido por el recorte de nutrientes durante la fase final del cultivo tiene mucha menor importancia que el efecto negativo sobre el crecimiento posterior de un peor estado nutricional y un menor tamaño de las plantas menos fertilizadas.

No obstante, en climas con fuertes limitaciones hídricas durante todo el año, como las que se dan en clima semiárido del levante, una reducción del aporte de nitrógeno al final del periodo de cultivo puede ser beneficioso ya que produce un menor desarrollo de la parte aérea de la planta (Trubat *et al.*, 2003), y por lo tanto produciría una reducción del consumo de agua. La conclusión que se puede sacar de esta aparente contradicción es que la reducción de la fertilización para endurecer la planta no es efectiva si las plantas tienen tiempo de crecer sensiblemente tras la plantación, mientras que si ésta es realizada en condiciones extremas (ambiente semiárido, plantaciones tardías), dicha reducción puede resultar favorable. Sin embargo, este aspecto debe ser objeto de estudios más profundos.

Otra práctica viverística usada para endurecer y que está relacionada con la fertilización es variar la proporción entre nitrógeno y potasio durante el periodo de endurecimiento. Se ha observado que el potasio aumenta el grado de endurecimiento en algunas especies agronómicas y ornamentales (Egilla *et al.*, 2001) y forestales (Christersson,



1976.). Esto ha llevado a proponer formulaciones bajas en nitrógeno y altas en potasio durante la fase de endurecimiento en viveros forestales. Sin embargo, no hay resultados claros al respecto con especies forestales (van den Driessche, 1992; Chirino *et al.*, 2003) y algunos autores también ponen en entredicho esta práctica, pues señalan que la interacción entre el balance de nutrientes y el endurecimiento puede diferir entre especies (Edwards, 1989).

También se ha realizado alguna experiencia sobre la respuesta de la planta a las heladas por reducción del aporte de N. En *Pinus pinea*, una alta fertilización nitrogenada incrementó el daño causado por una helada de -8°C a finales de noviembre. En *Juniperus thurifera* y *Quercus coccifera* no se ha observado ningún efecto de la fertilización sobre la resistencia al frío (Villar Salvador *et al.*, 2005). En *Pinus halepensis*, la adición de nitrógeno durante el otoño puede retrasar el endurecimiento al frío, pero es la temperatura la variable que tiene una mayor influencia. Así, cuando la temperatura es lo suficientemente baja, la planta queda endurecida independientemente de la fertilización aplicada (Puértolas, 2003).

Como conclusión, es necesario remarcar que se sabe poco del efecto de la fertilización de endurecimiento en especies mediterráneas y que existen numerosos interrogantes. También sería necesario conocer si las técnicas de sobrecarga de nutrientes (ver el capítulo de fertilización) al final del cultivo son útiles para especies mediterráneas y en qué medida esa práctica afecta a la resistencia al frío en un clima más suave que el canadiense, donde se desarrolló esta técnica. También sería conveniente definir las diferentes estrategias de aclimatación al frío de las especies mediterráneas, conocimiento fundamental para el manejo de la fertilización en esa fase. Existen evidencias de que no se comportan de la misma forma especies que forman yemas al final del primer año de la planta, como *Pinus nigra* o *Quercus ilex*, que otras que no las forman, como *P. halepensis* o *P. pinea* (Royo *et al.*, 1997; Figura 5).

4. ENDURECIMIENTO POR BAJAS TEMPERATURAS

Las bajas temperaturas son otra de las vías posibles mediante la cual los viveristas pueden endurecer sus cultivos. Es un proceso que no es controlado por el viverista y viene impuesto por una reducción de la temperatura durante el cambio de estación del verano al otoño e invierno (Figura 2). La reducción de la temperatura, unido al acortamiento de los días, acentúa la resistencia de los plántones a las heladas y a otros factores de estrés como la sequía (Burr, 1990; Bigras *et al.*, 2001; Pardos *et al.*, 2003). Cuanto más fría sea una estación mayor grado de endurecimiento alcanzan las plantas. En el caso de *Quercus ilex*, los viveros localizados en lugares de inviernos suaves tienden a tener plántones menos endurecidos que aquéllos emplazados en zonas de inviernos fríos (Mollá Morales *et al.*, 2003). En *Pinus halepensis*, los brinzales detienen su crecimiento aéreo cuando la temperatura mínima es de 9°C y alcanzan su máximo nivel de endurecimiento después de experimentar unas 330 horas a temperaturas mínimas de 8°C (Fernández *et*





Figura 5. Brinzales de *Pinus sylvestris* formando yemas al final del primer año en vivero. En muchas especies de montaña o en las boreales la formación de yemas es un requisito para que la planta se endurezca. Otras especies no forman yemas y ello no significa que no se endurecen (Foto: P. Villar-Salvador).

al., 2003). Por el contrario, en *Pinus canariensis*, las acículas fueron capaces de resistir temperaturas de -4°C sin sufrir daños y no se observaron diferencias en la resistencia entre acículas sometidas a endurecimiento por frío y controles (no endurecidos) (Luis *et al.*, en revisión).

5. ¿CÓMO PODEMOS SABER SI UNA PLANTA ESTÁ ENDURECIDA?

En la literatura se han descrito numerosos test orientados a establecer el grado de endurecimiento de los plantones. Generalmente, estos test se han desarrollado para especies de climas boreales o templado-húmedos. Royo *et al.* (2003) aplicaron algunos de estos test en *Pinus halepensis*, *P. pinaster* y *Quercus ilex* y revelaron que el test de liberación de electrolitos, en el que se mide el grado de liberación de solutos de los tejidos de las plantas después de someterla a una helada, era el más apropiado para detectar lotes de plantas insuficientemente endurecidos. Este test es relativamente rápido, en 48 horas se puede disponer de resultados y, además, se correlaciona con la resistencia de la planta a la sequía. Otro test que se ha empleado con resultados satisfactorios en algunos trabajos sobre endurecimiento en especies mediterráneas es la medición de la fluorescencia.



cia variable de la clorofila (Fernández *et al.*, 2003; Puértolas, 2003). Con esta técnica pueden obtenerse resultados de una forma rápida (menos de 24 horas) aunque tiene el inconveniente de requerir un equipo costoso y de evaluar únicamente la resistencia a la helada del aparato fotosintético. Existen otros indicadores como la relación entre peso seco y peso fresco en combinación con análisis de azúcares solubles, que se han relacionado muy estrechamente con la resistencia a la helada en especies boreales (Ögren, 1999). No obstante, estas técnicas no han sido evaluadas en especies mediterráneas ni aplicadas al control de calidad de planta.

Teniendo en cuenta la irregularidad de los resultados observados en la Tabla 1 es difícil proponer algún ensayo específico que permita determinar el grado de endurecimiento para una aplicación general. A partir de los resultados presentados parece ser que los ensayos basados en la economía hídrica (transpiración cuticular y cierre estomático) pueden ser buenos indicadores de respuesta al endurecimiento. Otras variables que también han mostrado cierta sensibilidad al endurecimiento son el ajuste osmótico y el crecimiento potencial de raíces. Sin embargo, estas variables pueden no ser adecuadas de forma práctica para el control del nivel de endurecimiento en viveros, ya que aunque pueden ser buenos indicadores, su medición lleva demasiado tiempo y/o equipos de elevado coste.

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se han repasado los principales logros en las distintas técnicas de endurecer los plantones de forma que adquieran mayor resistencia a las situaciones de estrés que se encontrarán una vez son plantados en condiciones naturales. Hasta el presente momento no se dispone de una amplia bibliografía sobre este tema en especies mediterráneas, sin embargo parece observarse una tendencia a que los tratamientos de endurecimiento mejoran la instalación de los plantones en condiciones de campo. Aunque los efectos sobre la supervivencia son prácticamente inexistentes, entre las respuestas encontradas se observan unas proporciones más adecuadas entre el sistema radical y la parte aérea de las plantas, mayor colonización del hoyo de plantación, así como diferentes mecanismos de resistencia a condiciones de estrés. Esto hace que los plantones estén potencialmente mejor adaptados a las condiciones de campo.

A nivel de producción de planta forestal sería recomendable que se incorporasen tratamientos de endurecimiento durante la fase final del cultivo de planta forestal. Con los datos y trabajos que actualmente se dispone no es posible dar una recomendación exacta de qué tipo de periodo, intensidad o duración del endurecimiento sería recomendable, pero en general la aplicación de algún tipo de ciclo de endurecimiento será beneficioso, o bien no tendrá efecto negativo, sobre la calidad de la planta forestal.

Entre las líneas futuras a desarrollar en la investigación en este campo, sería interesante puntualizar tres aspectos que nos parecen relevantes:



- Definición del efecto del tipo de endurecimiento, la duración y la intensidad sobre la respuesta de los plantones a nivel morfofuncional.
- Adaptación de las técnicas de endurecimiento en función de la especie y de su estrategia de resistencia a situaciones de estrés.
- Desarrollo de test o protocolos de evaluación específicos para especies mediterráneas para analizar y determinar cuándo una partida de plantas está endurecida y tiene mayor resistencia a condiciones de estrés post-transplante.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación recibida de la Generalitat Valenciana, a través de los convenios de investigación con la Fundación CEAM sobre la Restauración de la Cubierta Vegetal en la Comunidad Valenciana.

Del Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General para la Biodiversidad a través de los fondos anuales implicados para proyectos de investigación y experimentación forestal en el Centro Nacional de Mejora Forestal “El Serranillo”.

De los proyectos XYLREFOR (GRUPOS 03/155), APLITEC (GV 05/208), CREOAK (QLRT-2001-01594), TRESECO (CGL2004-06455-C02-02/BOS), VARQUS (CGL2004-04325/BOS), REAM (CGL2004-00355/BOS) y la red REMEDINAL (S-0505/AMB/0335).

Los autores agradecen a los Servicios Territoriales de Alicante (Conselleria de Territorio y Vivienda, Generalitat Valenciana) por facilitarnos el uso de sus instalaciones en el vivero de Santa Faz. La Fundación CEAM está financiada por la Generalitat Valenciana y Bancaja.

REFERENCIAS

- ALBOUCHI, A.; GHRIR, R. y EI AOUNI, M. H. (1997). Endurcissement à la sécheresse et accumulation de glucides solubles et d'acides aminés libres dans les phylloides d'*Acacia cyanophylla* Lindl. *Annales des Sciences Forestières* 54: 155-168.
- ARNOTT, J. T.; GROSSNICKLE, S. C.; PUTTONEN, P.; MITCHEL, A. K. y FOLK, R. S. (1993). Influence of nursery culture on growth, cold hardiness, and drought resistance of yellow cypress. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 2537-2547.
- ARONSSON, A. (1980). Frost hardiness in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) *Studia Forestalia Suecica* 155: 1-27.
- BAÑÓN, S.; OCHOA, J.; FRANCO, J. A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. y ALARCÓN, J. J. (2003). Influence of water deficit and low air humidity in the nursery on survival of *Rhamnus alaternus* seedlings following planting. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 78: 518-522.



- BAÑÓN, S.; OCHOA, J.; FRANCO, J. A.; ALARCÓN, J. J. y SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. (2005). Hardening of oleander seedlings by deficit irrigation and low air humidity. *Environmental and Experimental Botany* 56: 36-43.
- BIGRAS, F. J.; GONZÁLEZ, A.; D'AOUST, A. L. y HÉBERT, C. (1996). Frost hardiness, bud phenology, and growth of containerized *Picea mariana* seedlings grown at three nitrogen levels and three temperature regimes. *New Forests* 12: 243-259.
- BIGRAS, F. J.; RYYPPO, A.; LINDSTRÖM, A. y STATTIN, E. (2001). Cold acclimation and deacclimation of shoots and roots of conifer seedlings. En: *Conifer cold hardiness* (Eds.) F. J. Bigras and S. J. Colombo. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston: 57-88.
- BURR, K. (1990). The target seedling concepts: bud dormancy and cold-hardiness. En: Rose, R.; Campbell, S. and Landis, T. (Eds.). *Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations*. Oregon: 79-90.
- CALAMASSI, R.; ROCCA, G. D.; FALUSI, M.; PAOLETTI, E. y STRATI, S. (2001). Resistance to water stress in seedlings of eight European provenances of *Pinus halepensis* Mill. *Annals of Forest Science* 58: 663-672.
- CHIRINO MIRANDA, E.; VILAGROSA, A. y RUBIO ANIORTE, E. (2003). Efectos de la reducción del riego y la fertilización en las características morfológicas de *Quercus suber*: Reunión del Grupo de Repoblaciones Forestales de la S.E.C.F. Murcia (editado en CD).
- CHRISTERSSON, L. (1976). The effect of inorganic nutrients on water economy and hardiness of conifers. II. The effect of varying potassium and calcium contents on water status and drought hardiness of pot-grown *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. *Studia Forestalia Suecica* 136: 1-22.
- DICHIO, B.; XILOYANNIS, C.; ANGELOPOULOS, K.; NUZZO, V.; BUFO, S. A. y CELANO, G. (2003). Drought-induced variations of water relations parameters in *Olea europaea*. *Plant and Soil* 257: 381-389.
- EDWARDS, I. K. (1989). The effects of mineral nutrition on hardening-off of conifer seedlings. *Proceedings of the Intermountain Forest Nursery Association 14-18 August, Bismarck*. U.S. For. Serv. Rocky Mt. For. Range Exp. Stn. Gen. Tech. Rep. RM-184: 98-102.
- EGILLA, J. N.; DAVIES, F. T., Jr. y DREW, M. C. (2001). Effect of potassium on drought resistance of *Hibiscus rosa-sinensis* cv. Leprechaun: Plant growth, leaf macro and micronutrient content and root longevity. *Plant and Soil* 229: 213-224.
- FERNÁNDEZ, M.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (1999). Response of *Pinus pinaster* Ait. provenances at early age to water supply. I. Water relation parameters. *Annals of Forest Science* 56: 179-187.
- FERNÁNDEZ, M.; PUÉRTOLAS, J.; ALONSO, J.; RODRÍGUEZ, M.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2000). Efecto de la fertilización durante el periodo de endurecimiento sobre plantas de *Pinus pinea* L. producidas en contenedor. 1^{er} Simposio de Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.). I. (Ed.). Junta de Castilla y León, Valladolid: 183-190.
- FERNÁNDEZ, M.; ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Effects of temperature on growth and stress hardening development of phytotron-grown seedlings of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) *Annals of Forest Science* 60: 277-284.
- FONSECA, D. (1999). Manipulación de las características morfo-estructurales de plantones de especies forestales mediterráneas producidas en vivero. Tesis de Maestría CIHEAM-IAMZ, Zaragoza, España.



- FRANCO, J. A.; BAÑÓN, S.; FERNÁNDEZ, J. A. y LESKOVAR, D. I. (2001). Effect of nursery regimes and establishment irrigation on root development of *Lotus creticus* seedlings following transplanting. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 76: 174-179.
- FRANCO, J. A.; CROS, V.; BAÑÓN, S.; GONZÁLEZ, A. y ABRISQUETA, J. M. (2002). Effects of nursery irrigation on post-planting root dynamics of *Lotus creticus* in semiarid field conditions. *HortScience* 37: 525-528.
- GUEHL, J. M.; CLEMENT, A.; KAUSHAL, P. y AUSSÉNAC, G. (1993). Planting stress, water status and non-structural carbohydrate concentrations in Corsican pine seedlings. *Tree Physiology* 12: 173-183.
- HARVEY, H.P. y VAN DEN DRIESSCHE, R. (1999). Nitrogen and potassium effects on xylem cavitation and water-use efficiency in poplars. *Tree Physiology* 19: 943-950.
- HAWKINS, B. J.; DAVRADOU, M.; PIER, D. y SHORTT, R. (1995). Frost hardiness and winter photosynthesis of *Thuja plicata* and *Pseudotsuga menziesii* seedlings grown at three rates of nitrogen and phosphorus supply. *Canadian Journal of Forest Research* 25: 18-28.
- HELLERGREN, J. (1981). Frost hardiness development in *Pinus sylvestris* seedlings in response to fertilization. *Physiologia Plantarum* 52: 297-301.
- KAUSHAL, P. y AUSSÉNAC, G. (1989). Transplanting shock in Corsican pine and cedar of Atlas seedlings: Internal water deficits, growth and root regeneration. *Forest Ecology and Management* 27: 29-40.
- KLEIN, R. M.; PERKINS, T. D. y MEYERS, H. L. (1989). Nutrient status and winter hardiness of red spruce foliage. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 754-758.
- KYRIAKOPOULOS, E. y RICHTER, H. (1991). Desiccation tolerance and osmotic parameters in detached leaves of *Quercus ilex* L. *Acta Oecologica* 12: 357-367.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W. y BARNETT, J. P. (1998). The container Tree Nursery Manual. Volume 6, Seedling propagation. *Agricultural Handbook*. 674. USDA Forest Service, Washington, DC.
- LARCHER, W.; DE MORAES, J. y BAUER, H. (1981). Adaptive response of leaf water potential, CO₂-gas exchange and water use efficiency of *Olea europaea* during drying and rewatering. Components of Productivity of Mediterranean-Climate Regions. Basic and applied aspects. In: Margaris, N. S., Mooney, H. A. (eds.) pp. 77-84. Dr. W. Junk Publishers, La Haya.
- LEVITT, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses. I. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic Press, New York. 497 pp.
- LUIS, V. C.; TASCHLER, D.; HACKER, J.; JIMÉNEZ, M. S.; WIESER, G. y NEUNER, G. Ice nucleation and frost resistance of *Pinus canariensis* bearing needles in three different developmental states. *Trees* (submitted for revision).
- MOLLÁ MORALES, S.; VILLAR-SALVADOR, P.; GARCÍA-FAYOS, P. y PEÑUELAS, J. L. (2003). Influencia de la localización del vivero sobre la resistencia a la helada y el desarrollo en campo de *Quercus ilex*. *Montes* 74: 23-30.
- NOÏTSAKIS, B. y TSIIOUVARAS, C. (1990). Seasonal changes in components of leaf water potential and leaf area growth rate in kermes oak. *Acta Oecologica* 11: 419-427.
- NUNES, M. A.; CATARINO, F. y PINTO, E. (1989). Strategies for acclimation to seasonal drought in *Ceratonia siliqua* leaves. *Physiologia Plantarum* 77: 150-156.
- ÖGREN, E. (1999). Fall frost resistance in willows used for biomass production. II. Predictive relationships with sugar concentration and dry matter content. *Tree Physiology* 19: 755-760.



- PARDOS, M.; ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Effect of nursery location and out-planting date on field performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* seedlings. *Forestry* 76: 67-81.
- PUÉRTOLAS, J. (2003). Efecto del riego y la fertilización nitrogenada sobre la calidad de planta de *Pinus halepensis* Mill. y su comportamiento en campo. Tesis doctoral inédita. Universidad Politécnica de Madrid.
- PUÉRTOLAS, J.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Effects of nutritional status and seedling size on field performance of *Pinus halepensis* planted on former arable land in the Mediterranean basin. *Forestry* 76: 159-168.
- REDMED. (2001). Final Report. CEAM, Valencia.
- RIKALA, R. y REPO, T. (1997). The effect of late summer fertilization on the frost hardening of second-year Scots pine seedlings. *New Forests* 14: 33-44.
- ROYO, A.; FERNÁNDEZ, M.; GIL, L.; GONZÁLEZ, E.; PUELLES, A.; RUANO, R. y PARDOS, J. A. (1997). La calidad de la planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. destinada a repoblación forestal. Tres años de resultados en la Comunidad Valenciana. *Montes* 50: 29-39.
- ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2001). Effect of water stress conditioning on morphology, physiology and field performance of *Pinus halepensis* Mill. seedlings, *New Forests* 21: 127-140.
- ROYO, A.; FERNÁNDEZ, M.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Assessing the hardiness of aleppo pine, maritime pine, and holm oak seedlings by electrolyte leakage and water potential methods. *Tree Planter's Notes* 50: 38-43.
- RUBIO, E.; VILAGROSA, A.; CORTINA, J. y BELLOT, J. (2001). Modificaciones morfofisiológicas en plantones de *Pistacia lentiscus* y *Quercus rotundifolia* como consecuencia del endurecimiento hídrico en vivero. Efectos sobre supervivencia y crecimiento en campo. *Actas del III Congreso Forestal Español*. Volumen 3, pp. 527-532. Granada.
- SIMPSON, D. G. y RITCHIE, G. A. (1997). Does RGP predict field performance? A debate. *New Forest* 13: 253-277.
- TAN, W. y HOGAN, G. D. (1997). Physiological and morphological responses to nitrogen limitation in jack pine seedlings: potential implications for drought tolerance. *New Forests* 14: 19-31.
- TOGNETTI, R.; MICHELOZZI, M. y GIOVANNELLI, A. (1997). Geographical variation in water relations, hydraulic architecture and terpene composition of Aleppo pine seedlings from Italian provenances, *Tree Physiology* 17: 241-250.
- TRUBAT, R.; CORTINA, J. y VILAGROSA, A. (2003). Estado nutricional y establecimiento de especies leñosas en ambiente semiárido. Reunión del Grupo de Repoblaciones Forestales de la S.E.C.F. Murcia (editado en CD).
- VAN DEN DRIESSCHE, R. (1989). Changes in osmotic potential of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) seedlings in relation to temperature and photoperiod, *Canadian Journal Forest Research* 19: 413-421.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. (1992). Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen, and potassium treatments. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 740-749.



- VILAGROSA, A. (2002). Estrategias de resistencia al déficit hídrico en *Pistacia lentiscus* L. y *Quercus coccifera* L. Implicaciones en la reforestación forestal. Tesis doctoral inédita. Universitat d'Alacant.
- VILAGROSA, A.; CORTINA, J.; GIL-PELEGRÍN, E. y BELLOT, J. (2003). Suitability of drought-preconditioning techniques in Mediterranean climate. *Restoration Ecology* 11: 208-216.
- VILLAR-SALVADOR, P.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J. L.; CARRASCO, I. y DOMÍNGUEZ, S. (1997). Efecto de diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico en el contenido de nutrientes y la resistencia a la desecación en *Pinus halepensis* Mill., *Actas del I Congreso Forestal Hispano-Luso*. Vol. 3: 673-678.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; OLIET, J. y 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*. In *Proceedings of the 4th Symposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas*, Sociedad Española de Fisiología Vegetal, pp. 65-68, Murcia.
- VILLAR-SALVADOR, P.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J. L. y 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, J. L. y CARRASCO, I. (2000). Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de planta en *P. pinea*. 1^{er} Simposio de Pino Piñonero (*Pinus pinea* L.). I. (Ed.). Junta de Castilla y León, Valladolid. pp. 211-218.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PEÑUELAS RUBIRA, J. y VALLAS CUESTA, J. (2004a). Patrones de desecación de brinzales de *Pinus halepensis* cultivados en diferentes tipos de contenedores: implicaciones para el aviveramiento y el riego. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 17: 93-99.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PLANELLES, R.; OLIET, J.; PEÑUELAS-RUBIRA, J. L.; JACOBS, D. F. y GONZÁLEZ, M. (2004b). Drought tolerance and transplanting performance of holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings after drought hardening in the nursery. *Tree Physiology* 24: 1147-1155.
- VILLAR-SALVADOR, P.; PUÉRTOLAS, J.; PEÑUELAS, J. L. y PLANELLES, R. (2005). Effect of nitrogen fertilization in the nursery on the drought and frost resistance of Mediterranean forest species. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 14: 408-418.



Nuevas tecnologías de producción de plantas en vivero

CARME BIEL, ROBERT SAVÉ, DOLORS VERDAGUER y JUAN LUIS PEÑUELAS



RESUMEN

El material vegetal utilizado en restauración actualmente requiere una especificidad junto con unas características cualitativas y cuantitativas que inciden especialmente en los métodos de producción.

Así la tecnología de la producción hortícola está basada en un perfecto conocimiento de las respuestas ecofisiológicas de las especies respecto a los factores ambientales (abióticos y bióticos) y cómo modularlos mediante su adecuada aplicación y programación. En dicha tecnología intervienen de manera muy especial, los sustratos, los contenedores, la densidad de plantación, la fertirrigación, los tratamientos hormonales, la poda y conducción, la modificación de la atmósfera, los ajustes de radiación, la longitud del día, etc.

Según el destino de la planta y la demanda de grado de calidad de la planta por el cliente, el viverista tiene que elegir qué herramientas y qué tecnología utilizar dentro del amplio abanico de que dispone.

En este documento trataremos de realizar una descripción de los factores de producción que intervienen en un vivero y cómo podemos modificarlos. Destacamos los siguientes factores culturales y ambientales:

1. FACTORES CULTURALES

1.1. Sustratos

En horticultura, sustrato es un material natural o artificial con matriz sólida que se utiliza para el cultivo de plantas que, introducido en un contenedor sólo o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical soportando la planta (INRA, 1987). Además almacena y suministra agua y nutrientes y permite la aireación de las raíces. Las plantas cultivadas en contenedor disponen de un volumen limitado donde desarrollar su sistema radical lo que obliga a efectuar riegos frecuentes,



fertilizar y realizar una programación adecuada. Por ello es necesario utilizar sustratos porosos con capacidad de retención de agua a tensiones muy bajas. Las características óptimas de estos sustratos son: porosidad alrededor del 80%, agua fácilmente asimilable entre 20 y 30% y capacidad de aireación entre el 20-30% (Ansorena, 1994). Los sustratos con estas características hidráulicas tienen densidades aparentes bajas que hay que tener en cuenta en el diseño y selección de los contenedores ya que puede haber problemas de estabilidad de los mismos.

Asimismo es necesario conocer las características químicas de los sustratos como son el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la fertilidad que determinará la eficiencia de la absorción por las plantas de los fertilizantes. En los viveros que se realice un fertirrigación controlada interesa utilizar sustratos inertes con CIC baja ya que facilitará la gestión de los nutrientes. En cambio en los viveros donde no se realice fertirrigación se pueden utilizar sustratos químicamente activos (Lemaire y Rivière, 1993) con elevado contenido en materia orgánica que favorecen el almacenamiento de nutrientes (Rivière, 1998). Esta última característica también es interesante en el cultivo de plantas forestales ya que el plantón no volverá a recibir ningún tipo de fertilización una vez se haya expedido del vivero.

Los sustratos utilizados normalmente en los viveros están formados por mezclas de sustratos orgánicos e inorgánicos con características complementarias para incrementar la retención de agua y la porosidad.

Los componentes de los sustratos se seleccionan sobre la base de su disponibilidad, coste, facilidad de almacenamiento y de manejo, estabilidad dimensional, facilidad para rehumectarse y para formar cepellón firme, ausencia de malas hierbas y patógenos (Bures 1999 a, b; Cáceres, 2003). El principal tipo de sustrato utilizado en los viveros es la turba mezclada en diferentes proporciones con vermiculita, perlita o arena. Pero debido a su escasez en los últimos años se está investigando el uso de materiales alternativos a la turba que provienen de la agricultura como son los residuos ganaderos o residuos de la industria agroalimentaria; de la industria forestal, como por ejemplo la corteza de pino, aserrín, fibra de coco; o residuos orgánicos que se producen en una ciudad, como pueden ser los fangos de depuradora, la fracción orgánica de los restos urbanos y los restos de poda, etc. (Marfà *et al.*, 2002). Algunos de ellos se pueden utilizar directamente y otros es necesario someterlos a un proceso de compostaje (Soliva, 1999; Cáceres, 2003). También se están estudiando otros tipos de subproductos como espumas procedentes de colchones u otros tipos de materiales.

Los sustratos orgánicos, normalmente utilizados, se descomponen y por tanto modifican sus propiedades físico-químicas iniciales a medida que avanza el cultivo siendo especialmente peligrosa la pérdida de la porosidad y por tanto de la capacidad de aireación de las raíces en el interior del cepellón. La falta de aireación empuja a las raíces nuevas a situarse en las zonas más aireadas como es el espacio sustrato-pared del contenedor, lo que a su vez genera o magnifica el efecto jaula del sistema radical, produce una lignificación mayor y hace a la planta más propensa a posibles desecaciones del suelo en



asiento definitivo. Un sistema radical periférico es además más propenso a daños abióticos en vivero por frío y calor.

Los sustratos deben tener suficiente consistencia como para producir un cepellón firme con las raíces que facilitará los trabajos de plantación y ayudará a la supervivencia en el campo.

En el momento de la plantación en la localización definitiva se produce una competencia por el agua entre el cepellón y el suelo de alrededor, por ello últimamente se está estudiando qué tipo de sustrato utilizado en vivero pueda minimizar este efecto. Uno de los factores que se estudian es que la granulometría no sea muy diferente a la del material del hoyo de plantación (Whitcomb, 1987; Pastor, 2002) ya que si en el sustrato predominan los elementos finos (inferiores a 1 mm) se produce un importante flujo de agua desde el sustrato al suelo. Si por el contrario predominan los elementos gruesos (entre 1 y 4 mm), el flujo de agua generado en el momento del trasplante es más lento (Pastor, 2002). Otro factor es la utilización de hidroretenedores mezclados con el sustrato (Savé *et al.*, 1995; Vilagrosa *et al.*, 2003). Los resultados de su utilización son positivos a corto plazo pero existen dudas de que una vez en el campo sean capaces de rehumectarse y liberar agua otra vez (Savé *et al.*, 1995).

Los materiales utilizados como de recubrimiento de la semilla en el alvéolo (arenas, perlitas, vermiculitas, etc.) terminan por integrarse en el medio de cultivo. La protección adicional que este recubrimiento produce en el inicio del cultivo a la invasión de malas hierbas se pierde, por lo que es corriente que en cultivos de más de una savia, cuya parte aérea no se haya desarrollado lo suficiente como para cerrar el paso eficazmente a este tipo de competencia, exista un verdadero problema de malas hierbas o musgos de muy difícil solución.

1.2. Contenedores

La utilización de contenedores en viveros forestales ha aumentado los últimos años en nuestro país por la necesidad de producir para producir un mayor número de plantas, que éstas tengan un sistema radical sano y equilibrado con la parte aérea y así evitar los problemas post-plantación que aparecían en el cultivo en suelo. La evolución del tipo de contenedor ha sido desde las bolsas de plástico hasta bandejas con múltiples alvéolos o contenedores individuales.

Se entiende por contenedor cualquier recipiente que tenga una altura limitada y su base se halle a presión atmosférica (con drenaje libre).

La selección del tipo de contenedor vendrá determinada por la especie a cultivar, la densidad de plantación, la duración prevista del cultivo, el tamaño de planta inicial y final, el sistema de distribución del riego, la disponibilidad de espacio en el vivero y el coste (Landis, 1990). Las características que hay que tener en cuenta son: el volumen, la altura, la dimensión de la boca superior y la del agujero inferior para facilitar el drenaje y



el auto repicado de las raíces, forma del contenedor cónica o cilíndrica, color, material con el que está fabricado, resistencia del material a varios usos, sistema para aislarlo de la banqueta y para facilitar el transporte.

El tipo de contenedor determinará el diseño de las banquetas, la maquinaria necesaria para rellenar los contenedores de sustrato, la maquinaria para trasplantar, la cantidad de sustrato, la fertilización y el riego. Así como la cantidad de planta que podremos transportar en el momento de la plantación.

El volumen de sustrato disponible tiene un efecto positivo en todas las especies, a más volumen más crecimiento, pero en la producción viverística se tiene que llegar a un compromiso, que la planta sea de calidad y que los costes sean los más bajos posibles tanto en el vivero como en el momento del transporte, almacenaje y plantación.

Las hojas de las especies planifolias (o frondosas) interceptan más agua que las coníferas y además tienen tasas transpiratorias más altas. Por ello las primeras requieren volúmenes de contenedor más grandes.

El volumen y la profundidad del contenedor son las variables que se correlacionan con el tamaño de la planta y su supervivencia en campo (Landis, 1990; Domínguez-Lerena, 2000; Domínguez-Lerena *et al.*, 1997). Para las especies del género *Pinus* el volumen está muy correlacionado con el tamaño final de la planta. Los volúmenes recomendados son entre 300 y 400 cm³ (Peñuelas, 2001). La altura del contenedor tiene mucha influencia en el desarrollo del sistema radical en las especies con raíz pivotante como es el caso del género *Quercus*, siendo los contenedores más profundos los que producen planta con mayor tamaño del sistema radical lo que asegura una mayor supervivencia de las plantas. Para especies de crecimiento más lento o para especies de latitudes o altitudes elevadas, pueden ser válidos volúmenes del orden de 200 a 250 cm³ para especies de alta montaña o para especies que colonizan climas de clara influencia atlántica.

Asimismo, el tipo de crecimiento del sistema radical y la duración del cultivo afectarán a la elección del tamaño del contenedor, ya que una mayor colonización del sustrato por las raíces facilitará la formación de un cepellón consistente en un corto periodo de tiempo. Pero a su vez esto podría ser un factor limitante para el desarrollo del sistema radical si se cultivase la planta más tiempo.

Las características del movimiento del agua en el sustrato vendrán influidas por la profundidad, así en los contenedores bajos el agua queda retenida en mayor cantidad que los más altos, ello influirá el tipo de sustrato a utilizar y la programación del riego (Whitcomb, 1984; Landis, 1989).

La mayoría de contenedores están fabricados en plástico pero también existen envases fabricados con productos biodegradables que no se retiran en el momento de la plantación. Su composición puede ser turba, virutas de madera prensada, papel o paredes de rejilla que son desgarradas por las raíces, o tejidos biodegradables. Estos materiales pueden presentar problemas de manejo en el vivero, de reviramiento de las raíces, de inva-



sión de las raíces de los contenedores vecinos y de mantenimiento del cepellón a lo largo del ciclo de cultivo.

Otra característica a tener en cuenta del diseño del contenedor es la presencia de ranuras anti-reviramientos en el interior orientadas verticalmente. Existe cierta problemática en ciertas especies que producen raíces muy finas que pueden crecer en las ranuras y que pueden romperse cuando se separa el cepellón del contenedor produciendo heridas. En cultivos de más de una savia es muy difícil evitar reviramientos lo que puede ir en detrimento del crecimiento posterior en campo.

1.3. Densidad de plantas en el vivero

El espaciamiento entre plantas está determinado por el tipo de contenedor que seleccionemos ya que la mayoría de contenedores utilizados en viveros forestales son compactos y unidos entre sí. Una mayor distancia entre plantas facilita el riego y la fertilización, así como favorece la entrada de radiación y la ventilación, lo que ayuda a reducir la incidencia de patologías fúngicas (Mendgen, 1996). El cultivo con una baja densidad produce plantas con mayores crecimientos de hojas y raíces, diámetro, uniformidad de tamaños dentro del lote y supervivencia en el campo (Duryea, 1984). La densidad óptima recomendable para el tipo de especies cultivadas en condiciones mediterráneas es de 250 plantas.m⁻² (Domínguez *et al.*, 1997). Así el vivero puede producir plantas ajustadas a las medidas estándares en menos tiempo de permanencia de la planta en el vivero.

Si el viverista decide alargar el período de cultivo sería necesario aumentar la distancia entre las plantas para evitar plantas ahiladas al disminuir la entrada de radiación lo que repercute en la sanidad del cultivo.

1.4. Riego

Como hemos dicho anteriormente las plantas se cultivan en contenedores con un volumen pequeño, con sustratos muy porosos que al secarse demasiado es difícil volver a rehumectarlos, por ello es muy importante controlar el agua aportada. En la programación del riego se tiene que decidir el momento, la frecuencia y la cantidad de agua. El momento de riego se puede determinar mediante los datos climáticos que se pueden consultar por Internet, o conociendo la humedad del sustrato o el estado hídrico de las plantas o por la experiencia del viverista. La frecuencia dependerá del equilibrio entre el déficit de vapor del aire (DPV), la planta (edad, forma, crecimiento) y las características químicas del agua y el sustrato. Si se utilizan los datos climáticos de una estación cercana se puede obtener la evapotranspiración (ET_o) pero además se necesita conocer una serie de coeficientes de cultivo para corregirla, dichos coeficientes dependen de la especie, tipo de riego, etc. Por ello, si se necesita más precisión se puede conocer el contenido de agua del sustrato que se puede determinar por gravimetría y referirlo al contenido a capacidad de container. Otro



parámetro que se puede determinar es la tensión con la que está retenida el agua en el sustrato mediante tensiómetros. Los trabajos recientes de Lamhamedi *et al.* (2001, 2003) muestran que utilizando la técnica TDR (Time Domain Reflectometry, cantidad de agua) se puede ahorrar agua si se mantiene el sustrato entre el 30 y el 45% (v/v) obteniendo plantas de similar crecimiento. La decisión del método utilizado para la toma de decisión dependerá del coste del instrumental y del beneficio en ahorro de mano de obra.

En los viveros actualmente existe una preocupación por optimizar el uso del agua y de los nutrientes con el fin de disminuir la contaminación de los ríos y freáticos, por ello se está investigando en la reutilización de los lixiviados para el riego en la misma explotación (Bilderback, 2002; Marfà, 2000).

En los viveros forestales y de planta para restauración la técnica utilizada mayoritariamente para controlar el crecimiento de las plantas es disminuir la cantidad de agua aportada por el riego. Existen numerosos trabajos donde se ha estudiado cómo influye dicha reducción en la calidad y posterior supervivencia (Villar *et al.* 1999, 2000; Vilagrosa *et al.*, 2003; Biel *et al.* 2004; García-Navarro *et al.*, 2004). Este aspecto es comentado en el Capítulo 6.

1.5. Fertilización

Actualmente la investigación en este tema está centrada en cómo optimizar la fertilización sobre la base de las necesidades de las plantas y evitar al máximo la lixiviación de nutrientes (Bilderback, T. E., 2002; Cadahia, 1997; Carrasco *et al.*, 2001; Lamhamedi, *et al.*, 2001; Sánchez *et al.*, 2000; Marfà, 2000). Aparte de la necesidad de optimizar recursos, el interés por estudiar el último tema viene determinado por la Directiva europea 91/976/CE de 12 de diciembre, sobre protección de aguas contra la contaminación producida por los nitratos utilizados en agricultura. En el Decreto 261/1996 de 16 de febrero, se transpuso dicha directiva y establece que sean las diferentes Comunidades Autónomas las que designen las zonas vulnerables y establezcan programas con el objetivo de prevenir y reducir la contaminación. La mayoría de Comunidades Autónomas han realizado el catálogo de zonas vulnerables y han redactado los códigos de buenas prácticas agronómicas. En dicha directiva la cantidad máxima aceptada de nitrógeno total que puede ser aportada mediante el abono en una zona vulnerable es de 210 Kg por hectárea y año. Así pues, si el vivero está situado en una zona vulnerable, el lixiviado del riego debe recogerse y tratarse como un residuo, y requerirá unos permisos especiales para eliminarlo o depurarlo.

La cantidad de nitrógeno y fósforo aportado en la fertirrigación que no es absorbida por las plantas y que se puede recoger en los lixiviados puede encontrarse entre un 20% y 60% respectivamente (Juntunen *et al.*, 2002). Con el fin de optimizar la aplicación de fertilizantes, las estrategias que se utilizan son la aplicación de soluciones nutritivas ajustadas a las necesidades de las especies (Cadahia *et al.*, 1997; Sánchez *et al.*, 2000), la fertilización exponencial aportando más abono de acuerdo al crecimiento de las plantas



(Carrasco *et al.*, 2001), o recoger el lixiviado y reutilizarlo para fertirrigar mezclado en proporción variable con agua limpia (Marfà *et al.*, 2000, 2002).

En horticultura y fruticultura intensivas se están instalando equipos de riego y fertilización automatizados donde es posible reformular la solución nutritiva diariamente según las exigencias del cultivo. Esta técnica no está muy extendida en los viveros forestales de nuestro país debido al elevado coste de la instalación, y a que los viveristas suelen fertirrigar con abonos complejos estándares (observación personal en viveristas de Girona).

Por otro lado, y con objetivos diferentes, existe la estrategia de la sobrecarga de nutrientes con la que se pretende aportar más fertilizantes de los necesarios con el fin de producir plantas mejor nutridas y con cierto endurecimiento frente al estrés post-plantación.

1.6. Abonado carbónico

El enriquecimiento del aire del invernadero con dióxido de carbono se utiliza en la producción hortícola intensiva desde hace bastantes años. Su aplicación en viveros forestales ha tenido respuestas dispares ya que ésta depende de la especie, la edad de la planta y la combinación con otros factores culturales como el agua y los nutrientes aportados. Así, se han determinado efectos positivos del enriquecimiento con CO₂ en pinos, olivo, madroño, durillo, laurel (Biel *et al.*, 2003, 2004; Cortes *et al.*, 2004; Pardo *et al.*, 2003a, b; Savé *et al.*, 1998). Pero en cambio no ha habido respuesta positiva en diferentes especies del género *Quercus*. Su aplicación en viveros forestales podría ser rentable en aquellas especies de crecimiento lento donde un incremento de la tasa de crecimiento posibilitaría disminuir el tiempo de permanencia en vivero. También tendría aplicación en momentos de gran demanda de plantas al acelerar el crecimiento, en la producción de plantas que acumulan osmolitos que pueden actuar frente al estrés hídrico y en la producción de metabolitos secundarios (Savé *et al.*, 1998; Biel *et al.*, 2003). El uso de esta técnica en su aplicación hortícola queda justificado por el precio final del producto (Muñoz *et al.*, 2003). En cambio en la producción viverística forestal queda justificada su aplicación en explotaciones de gran superficie con instalaciones tecnificadas/sofisticadas debido a que el precio del gas no es elevado, incidiendo los costes en la instalación para controlar y distribuir el gas.

2. FACTORES AMBIENTALES

2.1. Fotoperiodo

Es muy importante conocer el ciclo de cultivo óptimo para cada especie. El tiempo de cultivo está directamente relacionado con el hábitat de origen de la especie y sus necesidades climáticas y éste está relacionado con la latitud y/o altitud donde esté situado el vivero. Cuanto más al sur se encuentre el vivero, la planta dispondrá de un termoperiodo



más largo y no necesitará estructuras que protejan las plantas. En cambio los viveros situados en el norte sí que necesitarán usar infraestructuras tipo túneles o invernaderos más o menos climatizados. Asimismo el aumento del fotoperiodo estará indicado cuando se cultiven especies sensibles a este factor y se pretenda acortar el ciclo de cultivo.

La duración del cultivo de una planta dependerá de si se inicia a partir de semillas más o menos recalcitrantes o bien se inicia a partir de estacas. Así como de la edad de la planta con la que se expedirá una savia o más.

La alteración del fotoperiodo puede realizarse alargando o acortando el día. Al acortar el día para detener el crecimiento de la parte aérea, inducir la formación de yemas terminales o apicales, la lignificación del tallo o tronco y la dormición, asimismo, se logra endurecer la planta (Colombo *et al.*, 2003). El efecto de acortar el día es similar a los tratamientos hormonales pero con un menor coste. Contrariamente, en condiciones de baja radiación o cuando se pretende inducir la floración o la generación de ramas laterales puede incrementarse la radiación suministrada al cultivo natural o artificialmente (Hanan, 1998). El momento de inicio del tratamiento varía según la especie, la latitud del vivero y el destino final de la planta.

2.2. Temperatura

La temperatura en combinación con otros parámetros permite modular el crecimiento, ya que afecta directamente al metabolismo. Así, bajas temperaturas, superiores a la congelación y cercanas a la temperatura de “chilling” reducen la movilidad de asimilados y la respiración, disminuyendo en menor cuantía la tasa fotosintética (Mooney and Winner, 1991). Mientras que las temperaturas elevadas incrementan el metabolismo, la transpiración y la fotosíntesis.

Sometiendo a las plantas a bajas temperaturas nocturnas 1 o 2 semanas antes de plantar se induce el desarrollo de las yemas (*bud set*) para especies donde es mejor realizar la plantación con la planta en reposo vegetativo (Fernández *et al.*, 2003).

Por otro lado, sometiendo a las plantas a temperaturas altas sub-letales se incrementa la tolerancia a las altas temperaturas. Los mecanismos que se desencadenan son la síntesis de proteínas “heat-shock” y la producción de isoprenos y antioxidantes para proteger el aparato fotosintético y el metabolismo celular. Proteínas “heat-shock” pertenecen a un gran grupo de moléculas denominadas “chaperonas”, cuyo papel es estabilizar otras proteínas. Se producen en respuesta a diversos estreses como el osmótico, salino, bajas y altas temperaturas, etc. (Mathers, 2003).

En los viveros situados en el clima mediterráneo existen épocas donde las plantas cultivadas al exterior pueden sufrir estrés por temperatura. Mediante la construcción de estructuras más o menos fijas, mecanismos de calefacción o refrigeración se pueden proteger las plantas. Para evitar las baja temperaturas se pueden utilizar estructuras con cubiertas de plástico como pueden ser invernaderos, con climatización más o menos sofis-



ticada (Matallana y Montero, 1995). Cuando se utilizan estas estructuras tendremos problemas en verano debido a las altas temperaturas. Éstas se pueden evitar limitando la llegada de la radiación a las plantas (mallas de sombreo), facilitando la ventilación diseñando y construyendo ventanas laterales y cenitales adecuadas, utilizando humidificadores tipo *fog system*, *cooling system*, etc.

En cultivos al aire libre, a parte de utilizar umbráculos, una posible forma para proteger el sistema radical de las altas temperaturas (temperaturas >37°C) podría ser situar los contenedores en otro contenedor enterrado en el suelo ("Pot-in-pot"). Se evitan los daños por elevadas temperaturas y asimismo las raíces quedan protegidas de las bajas temperaturas invernales y de la caída de las plantas por el viento. Consume mano de obra y espacio y sólo queda justificado para plantas destinadas a la restauración del paisaje y a ejemplares singulares.

3. REGULACIÓN DEL CRECIMIENTO

3.1. *Crecimiento radical*

En el cultivo de especies forestales en contenedor es necesario romper la dominancia de la raíz principal realizando una poda del sistema radical mediante el uso de contenedores que quedan aislados del suelo o la banqueta para favorecer la formación de raíces secundarias, resultando una raíz fibrosa y compacta. Asimismo la presencia de estrías o acanaladuras en el interior del contenedor evita el reviramiento de las raíces que puede causar problemas de estrangulamiento de la planta en campo al cabo de los años.

También es posible utilizar productos químicos para realizar una poda química de las raíces para evitar el crecimiento lateral con carbonato de cobre (CuCO_3) a una dosis de 60-200 g.L⁻¹. Las raíces dejan de crecer cuando entran en contacto con el producto. Se consiguen así sistemas radicales fibrosos y con más raíces en la zona media y superior del contenedor lo que promueve una mejor estabilidad de la planta un vez plantada.

3.2. *Crecimiento aéreo*

Como se ha visto en los apartados anteriores, se puede modificar el crecimiento en altura mediante la densidad de plantación y el aporte de agua y nutrientes. Pero en ocasiones el crecimiento de las plantas no se puede controlar, sobrepasan las medidas estándares y es necesario podar o realizar tratamientos químicos. Otras veces se realizan podas para alterar la relación parte aérea/parte subterránea antes de la plantación y disminuir así la cantidad de superficie transpiratoria. En determinadas especies planifolias y en alguna especie de pino se puede realizar una poda aérea hasta la altura determinada sin detrimento del crecimiento posterior. Normalmente se realiza durante el crecimiento estival para que la planta tenga tiempo de cicatrizar la herida y posibilite la



formación de la yema terminal (Kozłowski y Pallardy, 1997). En *Quercus rotundifolia* y *Ephedra fragilis* se realizó una poda aérea, lo que incrementó la relación parte aérea/parte subterránea que en campo se tradujo en un incremento de la supervivencia pero sin afectar al crecimiento (Bellot *et al.*, 2004).

Otra opción es utilizar tratamientos químicos que regulen el crecimiento, como las hormonas o productos con efecto hormonal que pueden utilizarse en los momentos que sea necesario acelerar el crecimiento, retenerlo cuando se ha llegado a la medida que demanda el cliente o modificar la forma de la planta (Kozłowski y Pallardy, 1997). Estos tratamientos, como en el párrafo anterior, sólo quedan justificados por el valor final de la planta.

Las hormonas utilizadas para estimular el crecimiento son las giberelinas. Para obtener el efecto contrario se utilizan inhibidores de la síntesis de giberelinas. Así, para detener el crecimiento se utilizan productos que inhiben la división y expansión celular de los nudos e internudos del tallo (por ejemplo la daminozida y el paclobutrazol). Para retardar el crecimiento se pueden aplicar productos que inhiben la síntesis de giberelinas (por ejemplo el cycocel, CCC, clormequat, ancymidol, etc.). Y finalmente para inhibir el crecimiento se pueden utilizar productos que afectan negativamente el crecimiento de los meristemos apicales o eliminan las yemas apicales, lo que disminuye la dominancia apical y estimulan el crecimiento de las yemas laterales

El tipo de producto, la dosis a aplicar y la época de aplicación depende de la especie, por ello es necesario realizar pruebas con anterioridad.

Otra posibilidad es regular el crecimiento mediante la potenciación de los mecanismos de síntesis hormonales (Jeffre, 1985). Uno de los empleados en viverismo es el estrés mecánico por movimiento (*sysmic stress*) o roce (movimientos thigmonásticos) los cuales reducen el crecimiento longitudinal, incrementando el radial (Mitchell, 1996; Latimer, 1998; Savé *et al.*, 1994). En estos procesos se ven involucradas mayoritariamente las auxinas y el etileno, y en menor grado el ácido abscísico y las citoquininas (Bradford y Hsiao, 1982).

Existe otra posibilidad para reducir el crecimiento que es la utilización de un mecanismo que toque las plantas, las cepille o las mueva con el fin de producir un estrés mecánico; el efecto que se obtiene es que se detiene el crecimiento en altura y el tallo es más robusto.

4. MICORRIZACIÓN

La inoculación en vivero de especies mediterráneas utilizadas para repoblación con hongos ecto y endomicorrícicos ha sido ampliamente estudiada (Díaz y Honrubia, 1993; Estaún *et al.*, 1997; Parlade *et al.*, 2004; Pera *et al.*, 1998, 1999; Rincón *et al.*, 2001; Torres y Honrubia, 1994; entre otros). La tecnología para su aplicación ya está desarrollada pero existen algunos factores que retrasan su aplicación en viveros comerciales. Uno de



ellos es que es necesario tener un inóculo específico según el destino de la planta (según el clima, suelo, especie). Para facilitar la colonización de la raíz por el hongo en el vivero se tiene que controlar el tipo de sustrato, sus características químicas, la cantidad de riego y nutrientes, la aplicación de fungicidas.

La inoculación afecta al crecimiento de las plantas pero existen resultados contradictorios sobre la mejora del estado hídrico de las plantas inoculadas (Biel *et al.*, 2002; Muhsin y Zwiazek, 2002) o su posible papel en la superación del estrés post-trasplante (Biel, 2002).

El coste adicional de la inoculación en el precio final de la planta en algunos casos no queda justificado.

5. TÉCNICAS BASADAS EN LA PROPAGACIÓN VEGETATIVA

Las células vegetales son totipotentes, tienen capacidad para diferenciarse y formar un individuo genéticamente idéntico al predecesor. Esta propiedad es la base de las técnicas de propagación vegetativa convencionales, como el enraizamiento de estaquillas y también de la micropopagación (cultivo *in vitro*). Estos métodos son usados a menudo en relación a programas de mejora genética, pues permiten obtener individuos idénticos a los genitores “sobresalientes”. Por ejemplo, su uso es cada vez mayor en especies del género *Quercus* que presentan una acusada vecería y que, en consecuencia, tienen una fuerte heterocigosis lo que conlleva una pérdida de caracteres que se pretenden fijar (Elena-Rosselló y Cabrera, 1996). Por otro lado, la propagación vegetativa también se utiliza en especies que tienen una baja producción de semillas, o que son de difícil conservación, o que tienen problemas de establecimiento. Por ejemplo, está muy extendida la propagación vegetativa en especies de los géneros *Salix*, *Populus* y *Cryptomeria* (Toribio y Celestino, 1989).

La elección del método a utilizar se hará teniendo en cuenta las características de la especie y también la infraestructura disponible, puesto que la mayoría son técnicas costosas y requieren de personal especializado (Landis, 1999).

5.1. Técnicas de propagación vegetativa convencionales

Como técnicas convencionales se describen el estaquillado a partir de tallo o raíz, el acodo y la división, siendo la más empleada el enraizamiento de estaquillas de tallo (Toribio y Celestino, 1989). Las estaquillas de tallo pueden recolectarse a partir de tejido leñoso en dormición del último período de crecimiento, o de plantas en actividad (semileñoso) o en crecimiento. Las primeras se pueden almacenar y su enraizamiento no requiere de complicadas técnicas culturales ni de infraestructura especial, mientras que las menos leñosas sólo se pueden almacenar durante unos pocos días y su enraizamiento



requiere de condiciones controladas de humedad (Landis, 1999). En algunas especies la formación de raíces ocurre de forma espontánea, como en *Salix* sp., sin embargo, en otras es más difícil su desarrollo, utilizándose en estos casos hormonas de enraizamiento del tipo auxina. El ácido indol 3-butírico y el ácido naftalén acético, auxinas sintéticas, son de uso habitual, estas se emplean a baja concentración. El someter las estaquillas a 18 a 21°C también estimula la formación de primordios radiculares, asimismo, en algunas especies las incisiones en la zona basal de las estaquillas o el seccionar el ápex del tallo o eliminar las hojas basales también favorece su desarrollo. Previo almacenaje y realización de los tratamientos hormonales se recomienda esterilizar los cortes, utilizando para ello alcohol, hipoclorito sódico o peróxido de hidrógeno.

En el cultivo de las estaquillas la humedad, riego, temperatura, luz y fertilizantes son factores a controlar, sobre todo en las semileñosas y no lignificadas que al ser más sensibles a las condiciones ambientales se desecan y mueren con mayor facilidad que las leñosas (Landis, 1999).

El acodo es una técnica cara que se utiliza sólo ocasionalmente al requerir de cuidados especiales y obtenerse un número bajo de individuos a partir de un parental, aunque al permanecer conectados con el progenitor se desarrollen con rapidez. En especies de interés forestal se suele utilizar el acodo de tallo. Los tallos se curvan hasta situarlos a nivel del suelo, se cubren de tierra o substrato y se mantienen de esta manera hasta que enraízan. Es de suma importancia mantener la humedad de la zona para estimular el enraizamiento. En algún caso también se aplican auxinas para acelerar la formación de raíces (Landis, 1999).

5.2. *Micropropagación*

Las técnicas de cultivo *in vitro* proporcionan una serie de ventajas a las técnicas convencionales, por ejemplo, la propagación masiva de clones y la economía de espacio (Toribio y Celestino, 1989). De hecho, son de uso común en horticultura y en producción de planta ornamental siendo el sector forestal donde han evolucionado menos, posiblemente porque las especies leñosas son las más difíciles de propagar. Los tipos de micropropagación más habituales son la organogénesis y la embriogénesis somática. Se considera que la embriogénesis somática será uno de los métodos de propagación más frecuentes en el futuro, pues incluye aspectos favorables del uso de semillas y la posibilidad de obtener planta idéntica al progenitor (Bueno y Manzanera, 1992).

Los sistemas de micropropagación organogénicos se basan en su mayoría en la inducción de tallos a partir de yemas apicales o axilares en los que posteriormente se induce la formación de raíces para obtener plantas enteras. La regeneración de yemas y raíces se obtiene, en general, previa inducción de una masa amorfa de tejido, el callo, formada por células en proliferación continua, acelerada y desorganizada (Puigderrajols, 2001). El explanto inicial se cultiva de forma aséptica en condiciones controladas, de humedad, luz y temperatura y en solución nutritiva en la que se incluyen diferentes factores de cre-



cimiento y reguladores. Así una relación elevada citoquininas/auxinas determinará la formación de tallos y al revés, de raíces. Las plántulas que se obtienen en cultivo *in vitro* se transplantan en contenedores de cultivo y se someten a un programa de aclimatación hasta que son capaces de desarrollarse en condiciones normales. Las condiciones de cultivo, los factores de crecimiento y reguladores y programa de aclimatación a seguir dependerán de la especie y del tipo de explanto (yema, hoja, segmentos nodales, etc.) que se emplee. En muchas angiospermas como el abedul, el olmo o el chopo se pueden obtener yemas adventicias con facilidad a partir de cultivos de callos y suspensiones celulares. La mayoría de coníferas desarrollan yemas sobre cotiledón y eje embrionario, evolucionando fácilmente en plántulas en cultivo (Boxus, 1988).

Los sistemas de propagación embriogénicos se basan en la generación de embriones *in vitro* a partir de tejido somático los cuales siguen un proceso similar a los embriones zigóticos (Merkle *et al.*, 1995). La formación de embriones sobre cotiledones, callos u otros explantos ha sido posible en numerosas especies, como el castaño, el cerezo, *Eucalyptus* sp, *Quercus* sp. y también en numerosas coníferas (*Picea abies*, *Larix* sp., *Pinus* sp.). La embriogénesis somática puede tener lugar a través de la formación de un callo (embriogénesis indirecta) o directamente sin la formación de éste (embriogénesis directa), además puede ser de origen unicelular o multicelular. Se aconseja la formación de embriones somáticos a partir de una sola célula, al disminuir así la posibilidad de obtener estructuras quiméricas, variables genéticamente (Puigderrajols *et al.*, 2000). En algunas especies de *Pinus* sp. los embriones somáticos encapsulados en una gota de alginato que ya se han utilizado como “semillas artificiales” dando buenos resultados.

5.3. Desarrollo de órganos de reproducción clonal en fase juvenil

Muchas especies tanto de interés forestal, agrícola como ornamental, presentan la capacidad de reproducirse clonalmente a través de la formación de rizomas o estolones. El promover su desarrollo en fase juvenil es una técnica en estudio que tiene una doble finalidad, por un lado aumentar la colonización del suelo por parte del individuo y por tanto, incrementar el potencial de la especie de instaurarse en suelos heterogéneos y ambientes diversos, y por otro, incrementar la capacidad de sobrevivir ante la eliminación de la biomasa aérea. En este sentido, la formación de órganos de reproducción clonal es un carácter funcional de especial interés en especies de ecosistemas mediterráneos sujetas a períodos estresantes o a frecuentes perturbaciones.

Actualmente se llevan a cabo experiencias en *Medicago sativa*, *Sorghum* sp., *Oryza* sp o *Cyanodon dactylon* para fomentar el desarrollo de rizomas a partir de su cruzamiento con especies salvajes en que el desarrollo de estos está ontogenéticamente programado (Yim y Bayer, 1997; Hu *et al.*, 2003). En *Trifolium* sp. se ha descrito un marcador molecular ligado al locus que controlaría el desarrollo de los rizomas, lo que abre la posibilidad de incorporar esta característica en especies relacionadas genéticamente, como el *Trifolium repens* (Abberton *et al.*, 2003).



En especies leñosas de interés forestal, pese a que en la madurez un porcentaje elevado se propagan de forma clonal (Tabla 1), la capacidad de formar rizomas o estolones en fase de vivero es prácticamente desconocida.

Tabla 1. Listado de algunas de las especies presentes en la Cuenca del Mediterráneo cultivadas en vivero que presentan capacidad para rebrotar.

Arbutus unedo (madroño)
Acer opalus (arce de Granada)
Acer monspessulanum (arce de Montpellier)
Anthyllis cytisoides (albaida)
Dorycnium pentaphyllum (bocha blanca)
Erica multiflora (brezo)
Genista scorpius (aulaga)
Juniperus oxycedrus (enebro)
Lonicera etrusca (madreselva)
Myrtus communis (mirto)
Olea europaea (acebuche)
Phillyrea latifolia (labiérnago)
Phillyrea angustifolia (agracejo)
Pistacia terebinthus (cornicabra)
Pistacia lentiscus (lentisco)
Quercus coccifera (coscoja)
Quercus ilex (encina)
Quercus suber (alcornoque)
Rhamnus lycioides (espino negro)
Rhamnus alaternus (aladierno)
Viburnum tinus (durillo)

No obstante, estudios recientes revelan que las técnicas de cultivo pueden contribuir a la formación de estos órganos. En *Vaccinium angustifolium* Ait., el recubrimiento del suelo hizo incrementar entre un 40 y un 120% la formación de rizomas (Hicklenton *et al.*, 2000). En *Q. coccifera*, especie que se propaga básicamente por rizomas en estado adulto aunque menos del 0,5% los desarrollan en vivero, se ha observado que el endurecimiento por estrés hídrico en el vivero hace triplicar el número de yemas activas del cuello de la raíz, mostrando algunas una orientación perpendicular al eje principal de la planta (Vilagran, 2004). Asimismo, el tratamiento con reguladores del crecimiento (gibberalinas más auxinas y paclobutrazol) modifica la arquitectura de la planta y hace aumentar el número de yemas totales, activas y latentes, del cuello de la raíz y por tanto, el potencial de la planta de formar rizomas (Verdaguer y Pascual, 2004). Estos resultados abren una nueva vía de trabajo en relación a potenciar los órganos de reproducción clonal en fase de vivero con el fin de favorecer el posterior establecimiento de la planta.



5.4. Posibilidades de aplicación en el sector forestal

Todas las técnicas descritas están adaptadas de la producción hortícola intensiva y son útiles pero el precio de la planta que se utiliza en repoblación y restauración en la mayoría de los casos no justifica su utilización.

REFERENCIAS

- ABBERTON, M.; MICHAELSON-YEATES, T.; BOWEN, C.; MARSHALL, A.; PREWER, W. y CARLILE, E. (2004). Bulked segregant AFLP analysis to identify markers for the introduction of the rhizomatous habit from *Trifolium ambiguum* into *T. repens* (white clover) *Euphytica*, 134: 217-222.
- ANSORENA, J. (1994). Sustratos. Propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- BIEL, C. (2002). Efectes de diferents tractaments agronòmics i de la micorizació en la bioproduktivitat de *Rosmarinus officinalis* L. en la fase de viver i en restauracions paisatgístiques en condicions de clima mediterrani. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- BIEL, C.; DE HERRALDE, F.; EVANS, R. Y.; PERA, J.; PARLADÉ, X. y SAVÉ, R. (2002). Caracterización hídrica e hidráulica de *Cistus albidus* y *Quercus coccifera* micorrizados en vivero. VI Simposium Hispano-Portugués de Relaciones Hídricas en las Plantas, Pamplona.
- BIEL, C.; DE HERRALDE, F.; SAVÉ, R.; PARDO, A.; ESPELTA, J. M. y MEGHELLI, N. (2003). Estudio del efecto del enriquecimiento del aire con dióxido de carbono en el crecimiento de especies leñosas. VII Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre. Barcelona.
- BIEL, C.; SAVÉ, R.; HABROUK, A.; ESPELTA, J. M. y RETANA, J. (2004). Effects of restricted watering and CO₂ enrichment in the morphology and performance after transplanting of nursery grown *Pinus nigra* seedlings. *HortScience* 39: 1-6.
- BILDERBACK, T. E. (2002). Water management is key in reducing nutrient runoff from container nurseries. *HortTechnology* 12: 541-544.
- BOXUS, P. (1988). Noves tècniques de multiplicació i la seva aplicació forestal. En: Repoblació forestal. Sessions tècniques. Fundació Caixa de Pensions. Barcelona: 47-50.
- BRADFORD, K. J. y HSIAO, T. C. (1982). Physiological response to moderate water stress. En: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B. y Ziegler, H. (Eds.). *Encyclopedia of Plant Physiology New Series Vol. 12B*. Springer-Verlag. Berlín: 263-324.
- BUENO, M. A. y MANZANERA, J. A. (1992). Primeros ensayos de inducción de embriones somáticos de *Quercus suber* L. *Scientia Gerundensis* 18: 29-37.
- BURÉS, S. (1999a). Introducción a los sustratos. Aspectos generales. En: Pastor, J. N. (Ed.). *Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal*. Universitat de Lleida: 19-36.
- BURÉS, S. (1999b). Preparación y selección de sustratos. En: Pastor, J. N. (Ed.). *Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal*. Universitat de Lleida: 37-50.



- CÁCERES, R. (2003). Compostatge de fems de boví i aprofitament del compost en la formulació de substrats per al cultiu en contenidor d'espècies arbustives. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida.
- CADAHIA, C. (Ed.) (1997). Fertirrigación, cultivos hortícolas y ornamentales. Mundi Prensa. Madrid.
- CARRASCO, I.; PEÑUELAS, J. L.; BENITO, L. y VILLAR, P. (2001). Fertilización convencional y exponencial con diferentes dosis en plantas de *Pinus halepensis* y *Pinus nigra* cultivadas en contenedor. Actas del III Congreso Forestal Español. Granada.
- COLOMBO, S. J.; GLERUM, C. y WEBB, D. P. (2003). Daylength, temperature and fertilization effects on desiccation resistance, cold hardiness and root growth potential of *Picea mariana* seedlings. *Annals of Forest Science* 60: 307-317.
- CORTES, P.; ESPELTA, J. M.; SAVÉ, R. y BIEL, C. (2004). Effects of nursery CO₂ enriched atmosphere in the germination and seedling morphology of two Mediterranean oaks with contrasting leaf habit. *New Forests* 28: 79-88.
- DÍAZ, G. y HONRUBIA, M. (1993). Arbuscular mycorrhizae on *Tetraclinis articulata* (Cupressaceae): development of mycorrhizal colonization and effect of fertilization and inoculation. *Agronomie* 13: 267-274.
- DOMÍNGUEZ-LERENA, S. (2000). Influencia de distintos tipos de contenedor en el desarrollo en campo de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*. Reunión de Coordinación I + D Fundación CEAM.
- DOMÍNGUEZ-LERENA, S.; HERRERO, N.; CARRASCO, I.; OCAÑA, L. y PEÑUELAS, J. L. (1997). Ensayo de diferentes contenedores para *Quercus ilex*, *Pinus halepensis* *Pinus pinaster* y *Pinus pinea*: resultados en vivero. Actas del II Congreso Forestal Español. Pamplona.
- DURYEA, M. L. (1984). Nursery cultural practices: impacts on seedling quality. En: Duryea, M. L. y Landis, T. D. (Eds.). *Forest Nursery Manual: production of bareroot seedlings*. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers.
- ELENA-ROSELLÓ, J. y CABRERA, E. (1996). Isozyme variation in natural populations of cork oak (*Quercus suber* L.). Population structure, diversity, differentiation and gene flow. *Silvae Genetica* 45: 229-235.
- ESTAÚN, V.; SAVÉ, R. y BIEL, C. (1997). Arbuscular mycorrhizal inoculation as a biological tool to improve plant revegetation under semi-arid conditions. *Plant and Soil Ecology* 6: 223-229.
- FERNÁNDEZ, M.; ROYO, A.; GIL, L. y PARDOS, J. A. (2003). Effects of temperature on growth and stress hardening development of phytotron-grown seedlings of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.). *Annals of Forest Science* 60: 277-284.
- GARCÍA VELDECANTOS, J. L. (1992). Las técnicas de selección y propagación en la mejora genética del alcornoque. *Scientia Gerundensis* 18: 11-15.
- GARCÍA-NAVARRO, M. C.; EVANS, R. Y. y SAVÉ, R. (2004). Estimation of relative water use among ornamental landscape species. *Scientia Horticulturae*, 99: 163-174.
- HANAN, J. J. (1998). Radiation. En: *Greenhouses. Advanced Technology for protected horticulture*. Chapter 3. CRC Press Boca Raton.
- HICKLENTON, P. R.; REEKIE, J. Y. y GORDON, R. J. (2000). Physiological and morphological traits of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) plants in relation to post-transplant conditions and water availability. *Canadian Journal of Plant Science* 89: 861-867.



- HU, F. Y.; TAO, D. Y.; SACKS, E.; FU, B. Y.; LI, J.; YANG, Y.; MCNALLY, G. S.; KHUSH, G. S.; PATERSON, A. H. y LI, Z.-K. (2003). Convergent evolution of perenniality in rice and sorghum. *PNAS* 100 7: 4050-4054.
- INRA (1987). *Les cultures hors sol*. París.
- JEFFRE, M. J. (1985). Wind and other mechanical effects in the development and behavior of plants, with special emphasis on the role of hormones. En: Pharis, R. P. y Reid, D. M. (Eds.). *Encyclopedia of Plant Physiology New Series* Vol. 11. Springer-Verlag. Berlín: 449-484.
- JUNTUNEN, M. L.; HAMMAR, T. y RIKALA, R. (2002). Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers. *Journal of Environmental Quality* 31: 1868-1874.
- KOZLOWSKI, T. T. y PALLARDY, S. G. (1997). Cultural practices and vegetative growth. En: *Growth control in woody plants*. Academic Press.
- LAMHAMEDI, M.; LAMBANY, G.; MARGOLIS, H.; RENAUD, M.; VEILLEUX, L. y BERNIER, P. Y. (2001). Growth, physiology, and leachate losses in *Picea glauca* seedlings (1+0) grown in air-slit containers under different irrigation regimes. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1968-1980.
- LAMHAMEDI, M.; MARGOLIS, H.; RENAUD, M.; VEILLEUX, L. y AUGER, I. (2003). Effets de différentes régies d'irrigation sur la croissance, la nutrition minérale et le lessivage des éléments nutritifs des semis d'épinette noire (1+0) produits en récipients à parois ajourées en pépinière forestière. *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 279-291.
- LANDIS, T. D. (1989). Irrigation and water management. En: Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E. y Barnett, J. P. (Eds.). *The container Manual*. Vol. 4. Agric. Handbook 674. Washington DC, US Department of Agriculture, Forest Service: 69-118.
- LANDIS, T. D. (1990). Containers: Types and function. En: Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E. y Barnett, J. P. (Eds.). *The container Manual*. Vol. 2. Agric. Handbook 674. Washington DC, US Department of Agriculture, Forest Service: 1-39.
- LANDIS, T. D. (1999). Seedling propagation. En: Landis, T. D.; Tinus, R. W.; McDonald, S. E. y Barnett, J. P. (Eds.). *The Container Tree Nursery Manual*. Vol. 6. Agric. Handbook 674. Washington DC, US Department of Agriculture, Forest Service: 91-122.
- LATIMER, J. G. (1998). Mechanical conditioning to control height. *HortTechnology* 8: 529-533.
- LEMAIRE, F. y RIVIÈRE, L. M. (1993). Technologie actuelle et future d'utilisation des substrats en horticulture. *CR Acad. Agric. Fr.* 3: 97-106.
- MARFÀ, O. (Ed.) (2000). *Recirculación en cultivos sin suelo*. Compendios de Horticultura. Ediciones de Horticultura.
- MARFÀ, O.; LEMAIRES, F.; CÁCERES, R.; GIUFFRIDA, F. y GUERIN, U. (2002). Relationships between growing media fertility percolate composition and fertirrigation strategy in peat-substitute substrates used for growing ornamental shrubs. *Scientia Horticulturae* 94: 309-321.
- MATALLANA, A. y MONTERO, J. I. (1995). *Invernaderos: diseño, construcción y climatización*. 2.ª edición. Mundi-Prensa, Madrid.
- MATHERS, H. M. (2003). Summary of temperature stress issues in nursery containers and current methods of protection. *HortTechnology* 13: 617-624.
- MENDGEN, K. (1996). Fungal attachment and penetration. En: Kerstien, G. (Ed.). *Plant cuticles: an integrated functional approach*. Chapter 8. Bios Scientific Publishers.



- MERKLE, S. A.; PARROT, W. A. y FLINN, B. S. (1995). Morphogenic aspects of somatic embryogenesis. En: Thorpe, T. A. (Ed.). *In vitro* embryogenesis in plants. Kluwer Academic, Dordrecht: 155-203.
- MITCHELL, C. A. (1996). Recent advances in plant response to mechanical stress: theory and application. *HortScience*, 31: 31-35.
- MOONEY, H. A. y WINNER, W. E. (1991). Partitioning response of plants to stress. En: Mooney, H. A. y Winner and Pell, W. E. (Eds.). *Response of Plants to Multiple Stress*. Chapter 6. Academic Press. San Diego.
- MUHSIN, T. y ZWIAZEK, J. J. (2002). Ectomycorrhizas increase apoplastic water transport and root hydraulic conductivity in *Ulmus americana* seedlings. *New Phytologist* 153: 153-158.
- MUÑOZ, P.; BRUNET, G.; CÁCERES, R.; GURI, S. y MARFÀ, O. (2003). Efecte de la fertilització carbònica en un conreu sota hivernacle de roser per a flor tallada en condicions de clima mediterrani. *Catalunya Rural i Agrària* 105: 33-36.
- PARDO, A.; SAVÉ, R.; AZCÓN-BIETO, J. y BIEL, C. (2003). Algunas respuestas ecofisiológicas de *Arbutus unedo* L. en condiciones de elevado CO₂ atmosférico. Congreso Nacional de la Asociación Española de Ecología Terrestre. Barcelona.
- PARDO, A.; SAVÉ, R.; AZCÓN-BIETO, J.; CASADESÚS, J. y BIEL, C. (2003). Intercambio de gases a nivel de individuo y producción de biomasa bajo CO₂ elevado en especies de crecimiento lento. XV Reunión Nacional de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal y VIII Congreso Hispano-Luso de Fisiología Vegetal. Palma de Mallorca.
- PARLADÉ, J.; PERA, J. y LUQUE, J. (2004). Evaluation of mycelial inocula of edible *Lactarius* species for the production of *Pinus pinaster* and *P. sylvestris* mycorrhizal seedlings under greenhouse conditions. *Mycorrhiza*, 14: 171-176.
- PASTOR, N. (2002). Adaptación al transplante de arbustos ornamentales cultivados en contenedor. Evaluación de la eficiencia hídrica. Universitat de Lleida.
- PEÑUELAS, J. L. (2001). El Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo": diez años buscando la calidad de la planta forestal para las actuaciones en ámbito mediterráneo. III Congreso Forestal Español. Granada.
- PERA, J.; ÁLVAREZ, I. F. y PARLADÉ, J. (1998). Eficacia del inóculo micelial de 17 especies de hongos ectomicorrícicos para la micorrización controlada de: *Pinus pinaster*, *Pinus radiata* y *Pseudotsuga menziesii*, en contenedor. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 7: 139-153.
- PUIGDERRAJOLS, P. (2001). Embriogènesis somàtica secundària en surera (*Quercus suber* L.). Caracterització i aplicació a l'estudi de proteïnes d'estrès. Tesis doctoral. Universitat de Girona.
- PUIGDERRAJOLS, P.; MIR, G. y MOLINAS, M. (2000). Ultrastructure of secondary embryogenesis by multicellular and unicellular pathways in cork oak (*Quercus suber* L.). *Annals of Botany* 87: 179-189.
- RINCÓN, A.; ÁLVAREZ, I. F. y PERA, J. (2001). Inoculation of containerized *Pinus pinea* L. seedlings with seven ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 11: 265-271.
- RIVIÈRE, L. M. (1998). La estabilidad de los sustratos. Actas de horticultura n.º 23. IV Jornadas de sustratos. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Sevilla: 113-125.
- SÁNCHEZ, A.; CADAHÍA, C.; EYMAR, E. y MASAGUER, A. (2000). Study of conifer nitrogen nutrition using hydroponic cultures: application to fertigation systems. *Journal of Plant Nutrition*, 23: 1007-1024.



- SAVÉ, R.; DE HERRALDE, F.; RETANA, J.; ESPELTA, J. M. y BIEL, C. (1998). Effect of elevated CO₂ on plant productivity and hardening under Mediterranean condition. En: The earth's changing land. GCTE-LUCC open science conference on global Changes. Barcelona.
- SAVÉ, R.; PERY, M.; MARFÀ, O. y SERRANO, L. (1995). The effect of hydrophilic polymer on plant water status and survival of transplanted pine seedlings. *HortTechnology*, 5: 141-143.
- SAVÉ, R.; PONS, J.; MASSONS, J. y BIEL, C. (1994). Citrus growth and leaf gas-exchange responses to seismic and wind stress. *Biologia Plantarum* 36 (suppl.): S 294.
- SOLIVA, M. (1999). Aplicación del compostaje a la obtención de productos alternativos a los sustratos tradicionales. En: Pastor, J. N. (Ed.). Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística ornamental, hortícola y forestal. Universitat de Lleida: 51-93.
- TORIBIO, M. y CELESTINO, C. (1989). Cultivo *in vitro* del alcornoque. *Scientia Gerundensis* 15: 11-21.
- TORRES, P. y HONRUBIA, M. (1994). Inoculation of containerized *Pinus halepensis* (Miller) seedlings with basidiospores of *Pisolithus arhizus* (Pers.) Rauschert, *Rhizopogon roseolus* (Corda) Th. M. Fr. and *Suillus collinitus* (Fr.) O. Kuntze. *Annales des Sciences Forestieres*, 51: 521-528.
- VERDAGUER, D. y PASCUAL, G., 2005. Efecto de la aplicación de hormonas en el desarrollo de los plantones de *Quercus coccifera*. Resúmenes del IV Congreso Forestal Español. Zaragoza, setiembre, 2005.
- VILAGRAN, J. (2004). Estudi per a millorar la qualitat de les plàntules de garric (*Q. coccifera* L.) en viver per a les restauracions forestals. Treball de investigació per a l'obtenció del DEA. Programa de Doctorat de Medi Ambient, IMA-UdG.
- VILAGROSA, A.; CORTINA, J.; GIL-PELEGRÍN, E. y BELLOT, J. (2003). Suitability of drought-preconditioning techniques in Mediterranean climate. *Restoration Ecology*, 11: 208-216.
- VILLAR, P.; OCAÑA, L.; PEÑUELAS, J. L. y 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 seedlings. *Annals of Forest Science*, 56: 459-465.
- VILLAR, P.; PEÑUELAS, J. L. y CARRASCO, I. (2000). Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta en *Pinus pinea*. 1er Simposio sobre el pino piñonero (*Pinus pinea*). Valladolid, pp. 211-218.
- WHITCOMB, C. E. (1984). Plant production in containers. Lacebark Publications. Inc. Stillwater, Oklahoma.
- WHITCOMB, C. E. (1987). Production of landscape plants. Lacebark Publications. Inc. Stillwater, Oklahoma.
- YIM, K. O. y BAYER, D. E. (1997). Rhizome expression in a selected cross in the *Sorghum* genus. *Euphytica* 94: 253-256.



Sistema integrado de control de calidad de planta mediante la caracterización del cultivo en viveros forestales y contraste en campo de lotes comerciales

RAFAEL M. NAVARRO y ANTONIO DEL CAMPO

RESUMEN

Los programas de cultivo determinan la calidad de planta y en definitiva la calidad y viabilidad económica de un vivero comercial. En esta sección se discuten las prácticas culturales más relevantes en la calidad final de la planta forestal en contenedor, incluyendo un resumen de los programas de cultivo más habituales en viveros comerciales para algunas especies forestales mediterráneas y se sugiere un sistema integrado de caracterización del cultivo y de control de calidad de planta en viveros forestales.

ASPECTOS BIEN CONOCIDOS

- *En los últimos años se ha logrado una progresiva estandarización de los programas de cultivo para las especies forestales más frecuentes en repoblaciones.*
- *Un buen programa de cultivo determina en gran medida la calidad final de la planta y las posibilidades de un cultivo homogéneo dentro de una campaña y en campañas consecutivas.*
- *La tecnificación de los viveros (control de variables ambientales, equipos de fertirrigación, etc.) han mejorado notablemente la calidad del cultivo en numerosos viveros comerciales.*
- *Los programas de control integrado del cultivo que incluyen la producción en vivero y el contraste en campo son la mejor herramienta para mejorar las técnicas viverísticas de especies forestales.*



ASPECTOS POCO CONOCIDOS

- *Es necesario mejorar el intercambio de experiencias entre investigadores y viveristas para incorporar de manera sencilla los avances logrados por los primeros, y para que la investigación busque soluciones realistas a los problemas planteados por los segundos.*
- *El cultivo de planta forestal, en particular de algunas especies como la encina, el alcornoque y muchas especies de restauración, está cambiando rápidamente hacia nuevas calidades y tipos, planteando nuevas cuestiones que deben ser estudiadas (envases de gran tamaño, estabilidad de los sustratos en cultivos de larga duración, etc.).*
- *La complejidad de la respuesta en repoblación requiere que se estandaricen algunas variables para el establecimiento de parcelas de control que permitan la comparación de resultados y el establecimiento de relaciones claras causa-efecto.*
- *Es necesario generalizar, al menos en los viveros públicos, programas sencillos de control integrado del cultivo que sirvan de fuente de información y de intercambio de experiencias con el sector de los viveros privados.*

1. INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se ha revisado la relación que existe entre la calidad de la planta y la respuesta durante el establecimiento. Sin embargo, la aplicación práctica de estos conceptos está limitada en muchos casos, sobre todo cuando se analizan desde el punto de vista del viverista que tiene que aplicar este conocimiento durante el cultivo, y también desde la perspectiva del repoblador, que tiene que seleccionar lotes comerciales de planta y evaluar su respuesta con carácter predictivo en el caso particular de una repoblación. El concepto de calidad, por tanto, ha sido ampliamente discutido (ver para el caso de especies mediterráneas las Actas de los Congresos Forestales Españoles de 2001 y 2005, y el trabajo de revisión de Villar-Salvador, 2003, Capítulos 4, 5 y 6). Sin embargo, el volumen de información disponible es bastante menor si se atiende a la globalidad del proceso de cultivo, considerando a éste como el aspecto integrador de todas las variables involucradas (Navarro *et al.*, 1998c).

Así, si la calidad de planta es un requisito necesario para el éxito de una repoblación, especialmente en medios difíciles como el mediterráneo, esta calidad es consecuencia directa del régimen de cultivo practicado sobre ella (Wenny y Dumroese, 1993; Jenkinson *et al.*, 1993; Navarro *et al.*, 1998b, 1998c), por lo que la importancia de este régimen de cultivo sobre el éxito final de la plantación es fundamental. Pese a ello, todavía no existe suficiente consenso sobre las prácticas de cultivo de las especies más comunes para las repoblaciones mediterráneas.

La producción de planta para repoblación en la década de los noventa estuvo marcada por la aparición de un gran número de nuevos viveros que en la mayoría de los casos



desarrollaron sistemas de cultivo basados en su propia experiencia en las técnicas viverísticas. Este origen dispar y relativamente reciente de los sistemas de producción, ha dado lugar a que coexistan, para una misma especie, distintos regímenes de cultivo, a veces muy diferentes entre sí, y sin que a priori se pueda discernir los que resultan más o menos apropiados (Navarro *et al.*, 1998a; del Campo, 2002). La ausencia de sistemas de control de los principales elementos del cultivo (sustratos, envases de cultivo) así como de los programas de fertilización y de riego ha dado lugar a una enorme improvisación en las técnicas de cultivo. Lo anterior explica que viveros con un régimen establecido y más o menos constante, obtengan un material que puede variar considerablemente de unos años a otros (Royo *et al.*, 1997; del Campo y Navarro, 2004a, 2004b). Por tanto, a nuestro entender es un paso necesario y fundamental para cualquier proceso de mejora de la calidad de planta forestal, una mayor atención al régimen de cultivo en cada vivero, como factor clave en la obtención de una calidad de planta ajustada y constante de una campaña de cultivo a otra (Landis *et al.*, 1998; Navarro *et al.*, 1998c). Lo mencionado justifica la necesidad de establecer sistemas de caracterización o descripción del cultivo para cada especie o lote en cada vivero en particular. Los protocolos de cultivo permiten, por un lado, conocer de forma precisa todas y cada una de las prácticas culturales aplicadas en el cultivo de una especie y, por otro, establecer los puntos críticos donde pueden comprometerse o mejorarse las prácticas culturales actuales para esa especie en particular. El primer aspecto es muy importante para el viverista, ya que es la única manera que tiene de conocer de una manera objetiva *cómo está cultivando* una especie. El segundo aspecto es el punto de unión entre el viverista y el investigador, ya que es el procedimiento que permite a ambos *mejorar las técnicas de cultivo* y, en su caso, la calidad final de la planta a partir de los resultados de la investigación básica.

Las prácticas culturales descritas para definir el cultivo de planta forestal en contenedor no coinciden exactamente entre los distintos autores (Landis *et al.*, 1994, 1998; Peñuelas y Ocaña, 1997; Navarro y Pemán, 1997) aunque en líneas generales todos ellos consideran como más importantes las siguientes: la selección del material forestal de reproducción, el calendario o programa de cultivo, las condiciones ambientales, los contenedores, los sustratos, el programa de fertilización, el programa de riego y el control de plagas/enfermedades. Los protocolos de cultivo dan una descripción detallada de cada una de las variables que intervienen, así como de la evolución del brinjal a lo largo del cultivo (Wenny y Dumroese, 1993; Landis *et al.*, 1998). Sin embargo, pese a su indudable utilidad para el viverista, estos protocolos detallados no son totalmente extrapolables de un vivero a otro, debido básicamente a las singularidades de cada vivero por lo que su validez es limitada y deben utilizarse, más bien, como una guía general para que cada vivero desarrolle y/o adapte ese protocolo a sus condiciones particulares de cultivo (Navarro *et al.*, 1998a).

En esta sección se discuten brevemente las variables de cultivo más relevantes en la calidad final de la planta forestal en contenedor, se revisan las prácticas más habituales para algunas especies mediterráneas y se sugiere un sistema integrado de caracterización del cultivo y de control de calidad de planta en viveros forestales.



2. EFECTO DEL PROCESO DE CULTIVO EN LA CALIDAD FINAL DE LA PLANTA DE VIVERO

El establecimiento de regímenes de cultivo específicos para las especies mediterráneas producidas en viveros forestales es muy escaso, limitándose por el momento a la descripción de las características básicas de su cultivo en vivero (Peñuelas y Ocaña, 1997; Navarro *et al.*, 1998a). La mayor parte de la información disponible sobre el cultivo de estas especies se encuentra particularizada para condiciones experimentales sin que se haya estudiado su integración en el régimen general de cultivo en viveros comerciales, considerando su aplicación práctica y la interacción con respecto al conjunto del cultivo. En la Tabla 1 se revisan algunas referencias bibliográficas que describen las diferentes prácticas de cultivo y se indica su importancia sobre los atributos morfológicos y fisiológicos de la planta.

3. REVISIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE CULTIVO PARA LAS PRINCIPALES ESPECIES CULTIVADAS EN VIVEROS FORESTALES

En la Tabla 2 se describen los regímenes de cultivo a partir de la información bibliográfica disponible para las principales especies forestales cultivadas en contenedor en la actualidad. Para la selección de los regímenes de cultivo se han tenido en cuenta básicamente los siguientes criterios:

1. Que cubran distintas zonas biogeográficas, lo que garantiza diferentes condiciones ambientales entre unos viveros y otros.
2. Que describan en lo posible las variables y técnicas de cultivo empleadas para las especies consideradas.
3. Que dispongan de un contraste en campo de la planta producida.

Las características generales de cultivo expuestas deben considerarse con prudencia, aunque son representativas del cultivo realizado en numerosos viveros comerciales.



Tabla 1. Variables de cultivo más importantes para la producción de planta forestal en contenedor y atributos más relacionados.

| Variable de cultivo | Referencias generales | Referencias para especies mediterráneas | Morfológicos | Atributos relacionados |
|-------------------------|---|--|--------------------------------|--|
| | | | | Fisiológicos |
| Calendario de cultivo | Wenny y Dumroese, 1993; Landis <i>et al.</i> , 1998 | Navarro <i>et al.</i> , 1998a, 1998b; del Campo, 2002 | Todos | |
| Condiciones ambientales | Landis <i>et al.</i> , 1992 | Zazo <i>et al.</i> , 2001; Villar <i>et al.</i> , 2001a; Martínez <i>et al.</i> , 2001 | Parte aérea | |
| Contenedores | Landis <i>et al.</i> , 1990 | Dominguez Lerena <i>et al.</i> , 1997, 2000; Cifuentes <i>et al.</i> , 2001; Villar <i>et al.</i> , 2001b | Parte aérea Parte radical | |
| Riego | Duryea, 1984; Landis <i>et al.</i> , 1989; Karam y Niemiera, 1994; Bailey <i>et al.</i> , 1999; Lambony <i>et al.</i> , 1997; Landis <i>et al.</i> , 1998 | Pardos <i>et al.</i> , 1997 | Todos | Estado hídrico Nutrientes minerales |
| Sustrato | Landis <i>et al.</i> , 1990; Heiskanen, 1993, 1995; Heiskanen y Rikala, 2000; Bernier y González, 1995; Riviere y Caron, 2001 | Ansorena, 1994; Burés, 1997; Aguado <i>et al.</i> , 1997; Rigueiro <i>et al.</i> , 2001; Ruano <i>et al.</i> , 2001; Sanchis <i>et al.</i> , 2001 | Parte radical (Parte aérea) | Nutrientes minerales (Estado hídrico) |
| Fertilización | Duryea, 1984; Landis <i>et al.</i> , 1989; Timmer y Miller, 1991 | Ocaña <i>et al.</i> , 1997; Ojiet <i>et al.</i> , 1997, 1999; Villar <i>et al.</i> , 2001a; Zazo <i>et al.</i> , 2001; Martínez <i>et al.</i> , 2001; Planelles <i>et al.</i> , 2001 | Parte aérea (parte radical) | Nutrientes minerales Carbohidratos |





Tabla 2. Descripción de las principales prácticas de cultivo de especies forestales mediterráneas en varios viveros y ensayos experimentales. Lotes de planta estudiados según especies, campaña y vivero, con indicación de las principales variables de cultivo en vivero. (GE: germinación/establecimiento; C: crecimiento; E: endurecimiento).

a: Del Campo *et al.*, 2004; b: Arroyo, 1999; c: Del Campo, 2002; d: Del Campo y Navarro, 2004a; e: Del Campo y Navarro, 2004b; f: Planelles *et al.*, 2001

| LOTE (Código) | Ubicación GE/C/E (1) | ENVASE Vol.(cm ³)/H (cm)/Dens. (div/m ²) | SUSTRATO Composición (%) (2) | TIPO (3) | FERTILIZACIÓN | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--|---------------------------------|----------|---------------|-----|--------|--------------------------|-----|--------|------------------|-------|-----|----------------------|---------|--|
| | | | | | Riego (3) | | | N (mg/l ó mg/planta) (4) | | | P (mg/l ó mg/pl) | | | K (mg/l ó mg/planta) | | |
| | | | | | Riego | GE | C | E | GE | C | E | Riego | GE | C | E | |
| <i>Pinus halepensis</i> ^b | E/E/E | 200/15/390 | TR(25)-FC(40)-V(5)-V(10)-OP(20) | FLC | 6 | 100 | 100 | 24 | 24 | 43 | 313 | 1 | 121 | 143 | 87 | |
| <i>P. halepensis</i> ^b | U/E/E | 200/14/346 | TR (100) | FT | 11 | 50 | 150 | 50 | 153 | 43 | 313 | 4,3 | 4,3 | 143 | 428 | |
| <i>P. pinaster</i> ^a | E/E/E | 250/16/ 340 | TR(25)-FC(40)-V(5)-V(10)-OP(20) | FLC | 6 | 100 | 100 | 24 | 24 | 43 | 313 | 1 | 121 | 143 | 87 | |
| <i>P. pinaster</i> ^b | U/E/E | 200/14/346 | TR (100) | FT | 11 | 50 | 150 | 50 | 153 | 43 | 313 | 4,3 | 4,3 | 143 | 428 | |
| <i>P. pinaster</i> ^c | E/E/E | 300/19/341 | TR F(85)-A(15) | COB | 59 | 31 | 31 | 13 | 13 | 21 | 21 | 2 | 2 | 25 | — | |
| <i>P. pinaster</i> ^d | U/E/E | 250/16/283 | TR (100) | FT | 11 | 50 | 150 | 50 | 153 | 43 | 313 | 4,3 | 4,3 | 143 | 428 | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | U/U/U | 300/19/283 | TR (100) | — | 11 | — | — | 5 | — | — | — | — | — | — | — | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | U/U/U | 308/17,4/378 | TR/N F(85)-V(8)-P(7) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | U/U/U | 250/ 14/ 378 | TR/N F(50)-FC(50) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | U/U/U | 300/19/341 | TR F (100) | FT | 2 | — | 65-100 | 150-225 | — | 87-130 | 20-33 | 5 | — | 54-81 | 250-375 | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | U/E/E | 300/19/341 | TR F(85)-A(15) | COB | 59 | — | 31 | — | — | 13 | — | 2 | — | F25 | — | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | E/E/E | 300/19/387 | TR/N(85)-V(15) | FLC | 14 | 51 | — | — | — | — | 27 | 11 | 24 | — | — | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | U/U/U | 300/19/283 | TR (100) | — | 11 | — | — | — | — | — | — | 5 | — | — | — | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | U/U/U | 308/17,4/378 | TR/N(85)-V(8)-P(7) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | E/E/E | 300/19/387 | TR/N(85)-V(15) | FLC | 14 | 51 | — | — | — | — | 27 | 11 | 24 | — | — | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | U/U/U | 300/18/283 | TR(25)-FC(40)-V(5)-V(10)-OP(20) | FLC | 6 | 84 | 84 | 21 | 21 | 21 | 21 | 1 | 1 | 75 | 75 | |
| <i>Quercus ilex</i> ^{ad} | E/E/E | 300/19/341 | TR(25)-FC(40)-V(5)-V(10)-OP(20) | FLC | 6 | 84 | 84 | 21 | 21 | 21 | 21 | 1 | 1 | 75 | 75 | |

(1) U: Umbráculo; E: Exterior; I: Invernadero.

(2) TR/N: Turba Rubia/Negra; P: Perfitia; V: Vermiculita; L: Litolita; OP: Compost orujo vid / corteza pino; A: Arena; SV: Tierra vegetal; FC: Fibra de coco; F: Fertilizada (en turbas); C: CO₂Ca.

(3) FT: Fertilización; FLC: Fertilizante de liberación lenta controlada; COB: Abono sólido en cobertura.

(4) En viveros con fertirrigación la unidad es mg/L, mientras que en aplicaciones de producto sólido (FLC, COB) es mg/planta. En riego, * significa agua acidificada para el riego.

Tabla 2. Descripción de las principales prácticas de cultivo de especies forestales mediterráneas en varios viveros y ensayos experimentales. Lotes de planta estudiados según especies, campaña y vivero, con indicación de las principales variables de cultivo en vivero. a: Del Campo *et al.*, 2004; b: Arroyo, 1999; c: Del Campo, 2002; d: Del Campo y Navarro, 2004a; e: Del Campo y Navarro, 2004b; f: Planelles *et al.*, 2001 (GE: germinación/establecimiento; C: crecimiento; E: endurecimiento).

| LOTE (Código) | Ubicación GE/C/E (I) | ENVASE Vol.(cm ³)/H (cm)/Dens. (alt/m ²) | SUSTRATO Composición (%) (2) | TIPO (3) | FERTILIZACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|--|------------------------------|----------|--------------------------|------|--------|------------------|----|--------|----------------------|--------|----|-------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | N (mg/l ó mg/planta) (4) | | | P (mg/l ó mg/pl) | | | K (mg/l ó mg/planta) | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Riego | GE | C | E | GE | C | E | Riego | GE | C | E | | | | | | | | |
| <i>Q. suber</i> ^s | U/U/U | 300/19/283 | TR (100) | - | 11 | - | - | - | - | - | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Q. suber</i> ^s | E/E/E | 250/14/378 | TR/N(85)-V(8)-P(7) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Q. suber</i> ^s | U/E/E | 400/19/294 | TR F(85)-A(15) | COB | 59 | - | 31 | - | 13 | 7 | - | 2 | - | 25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Q. suber</i> ^s | E/E/E | 300/19/387 | TR/N(85)-V(15) | FLC | 14 | - | 31 | - | 7 | - | - | 11 | - | 12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Q. suber</i> ^s | U/U/U | 300/19/283 | TR (100) | - | 11 | - | - | - | - | - | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Q. suber</i> ^s | E/E/E | 308/17,4/378 | TR/N(85)-V(8)-P(7) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Q. suber</i> ^s | E/E/E | 300/19/387 | TR/N(85)-V(15) | FLC | 14 | - | 31 | - | 7 | - | - | 11 | - | 12 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Ceratonia siliqua</i> ^s (5) | U/U/U | 230/13,5/247 | TR/N(77)-V(10)-P(10)-SV(3) | FT | 12 | 32,5 | 94-120 | 79 | 42 | 20-41 | 26 | 1 | 27 | 44-50 | 165 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>C. siliqua</i> ^s | I/E/E | 150/10/378 | TR/N F(85)-V(8)-P(7) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>C. siliqua</i> ^s | U/U/U | 300/19/341 | TR F(85)-P(15) | FT | 2 | - | 65-100 | 150-225 | - | 87-130 | 20-33 | 5 | - | 54-81 | 250-375 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>C. siliqua</i> ^s | U/E/E | 300/19/341 | TR F(85)-A(15) | COB | 59 | - | 31 | - | 13 | 7 | - | 2 | - | 25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>C. siliqua</i> ^s | U/U/U | 300/19/387 | TR/N(74)-V(15)-C(1)-SV(10) | FLC | 14 | - | 51 | - | 27 | - | - | 11 | - | 24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>C. siliqua</i> ^s | U/U/U | 230/ 13,5/ 247 | TR/N(87)-L(4)-SV(9) | FT | 12 | 100 | 100 | 100 | 20 | 20 | 20 | 1 | 44 | 44 | 44 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>C. siliqua</i> ^s | I/E/E | 250/14/378 | TR/N(85)-V(8)-P(7) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>C. siliqua</i> ^s | U/U/U | 230/16,5/262 | TR(75)-V(25) | FT | 150 | - | 150 | - | 70 | - | - | 30-150 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>C. siliqua</i> ^s | U/U/U | 300/19/387 | TR/N(78)-V(15)-C(1)-SV(6) | FLC | 14 | - | 51 | - | 27 | - | - | 11 | - | 24 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Olea europaea</i> ^{ss} | U/U/E | 230/13,5/247 | TR/N(77)-V(10)-P(10)-SV(3) | FT | 12 | 32,5 | 94-120 | 79 | 42 | 20-41 | 26 | 1 | 27 | 44-50 | 165 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Olea europaea</i> ^{ss} | U/U/U | 150/10/378 | TR/N(85)-V(8)-P(7) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Olea europaea</i> ^{ss} | U/U/U | 300/19/341 | TR F (100) | FT | 2 | - | 65-100 | 150-225 | - | 87-130 | 20-33 | 5 | - | 54-81 | 250-375 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Olea europaea</i> ^{ss} | U/U/U | 300/19/341 | TR F(85)-L(15) | FT | 2 | - | 65-100 | 150-225 | - | 87-130 | 20-33 | 5 | - | 54-81 | 250-375 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Olea europaea</i> ^{ss} | U/U/U | 300/19/387 | TR/N(83)-V(15)-C(2) | FLC | 14 | - | 41 | - | 10 | - | - | 11 | - | 16 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Olea europaea</i> ^{ss} | U/U/U | 230/13,5/247 | TR/N(87)-L(4)-SV(9) | FT | 12 | 100 | 100 | 100 | 20 | 20 | 20 | 1 | 44 | 44 | 44 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Olea europaea</i> ^{ss} | U/U/U | 150/10/378 | TR/N(85)-V(8)-P(7) | FT | 42* | 10 | 80 | 34 | 26 | 12 | 93 | 3 | 21 | 63 | 246 | - | - | - | - | - | - | - | - |

(1) U: Umbráculo; E: Exterior; I: Invernadero.
 (2) TR/N: Turba Rubia/Negra; P: Perlit; V: Vermiculita; L: Litonita; OP: Compost orujo vid / corteza pino; A: Arena; SV: Tierra vegetal; FC: fibra de coco; F: Fertilizada (en turbas); C: CO₂-Ca.
 (3) FT: Fertilización de liberación lenta controlada; COB: abono sólido en cobertura.
 (4) En viveros con fertilización la unidad es mg/l, mientras que en aplicaciones de producto sólido (FLC, COB) es mg/planta. En riego, * significa agua acidificada para el riego.
 (5) Lotes producidos a dos savias.



4. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO EN VIVEROS FORESTALES Y CONTRASTE EN CAMPO DE LOTES COMERCIALES

Las premisas que deben considerarse para definir un programa de mejora de calidad de planta pueden resumirse en (Jenkinson *et al.*, 1993):

1. Localizar, para cada vivero, cuál va a ser el **área geográfica** en la que desarrollará su actividad comercial y a la que destinará la planta que produzca. Esto determinará un conjunto de zonas fisiográficas caracterizadas por unas condiciones ambientales diversas que llevarán asociadas unas adaptaciones particulares dentro de una misma especie para una latitud y altitud determinadas. Estos gradientes deberían determinar unas zonas homogéneas como fuente de semilla de planta con un genotipo diferenciado (según sus procedencias) (ver Capítulo 3) que posteriormente será plantada en unas condiciones ambientales iguales o similares.
2. Determinar qué **especies** van a ser producidas y en qué **cantidad**, adecuándose para cada una de ellas las posibles plantas tipo (Tabla 2) que pueden producirse en función de las áreas de destino de la planta.
3. Conocer de manera práctica las **características ambientales** de la zona donde se encuentra ubicado el **vivero** y que afectarán el proceso de cultivo. En la mayoría de los viveros las plantas se cultivan en el exterior o en umbráculos cuyo fin principal es la regulación de la luz. Esto significa que la temperatura, la precipitación, la humedad y la luminosidad no son factores controlados y, por tanto, no podrán modificarse en la mayoría de los casos. En los viveros provistos de umbráculos se tiene un cierto grado de control sobre estas variables.
4. Establecer un programa de **prácticas culturales** cuyos efectos sobre la planta sean satisfactorios. Las variables de cultivo que más frecuentemente se manejan en nuestros viveros son el substrato, el tipo de contenedor, la fertilización, el riego y el número de savias (duración del cultivo).
 - 4.1. Determinar los **posibles errores o desviaciones** con respecto al cultivo de la especie, identificando los puntos críticos que pueden comprometer la calidad final de la planta.
 - 4.2. Proponer alternativas para **la solución de los problemas de cultivo planteados**, así como un seguimiento de las mejoras introducidas a través de los cambios sugeridos.
5. Establecer programas que permitan ir contrastando la **respuesta en plantación** de cada tipo de planta producida bajo un determinado rango de prácticas de cultivo. La respuesta de la planta en términos de supervivencia y crecimiento deberá confirmar lo acertado o no del régimen tradicional de cultivo empleado en el vivero, definir los posibles beneficios de las nuevas prácticas empleadas y desarrollar y mejorar nuevas prácticas de cultivo.



Cuando el viverista tiene que diseñar un plan de control de calidad debe partir de la premisa de que ninguno de los sistemas propuestos, ni individualmente ni combinados, puede considerarse definitivo; por lo que lo más recomendable es elaborar un programa específico de control de calidad para su vivero, adecuado a sus objetivos de producción, y viable en términos de sus necesidades particulares y prácticas de cultivo (Jenkinson *et al.*, 1993; Dunsworth, 1997; Navarro *et al.*, 1998c). Esto se corrobora con el hecho de que cada vivero tiene una combinación única de factores ambientales que determinarán de una forma u otra el régimen de cultivo. El programa de mejora de calidad de planta tendrá que estudiarse específicamente para cada vivero, esto es, cada vivero tendrá que elaborar sus propios protocolos de cultivo orientados hacia la obtención de unos *estándares de calidad* (atributos morfológicos y fisiológicos) de la planta cultivada en ese vivero y que le permitan ofrecer un producto competitivo y de calidad adecuada para los intereses de sus potenciales clientes. Burdett (1983) (Fig. 1) propuso un sistema de mejora de la calidad en un vivero. Así, este autor recomienda adoptar un *estándar de calidad preliminar* basado en las especificaciones del material que se esté produciendo y plantando actualmente (*evaluación del régimen tradicional del cultivo*). Este estándar preliminar será contrastado en el terreno, de modo que si la respuesta es inadecuada deberán investigarse las causas. Entonces, el estándar de calidad podrá ser modificado mediante la mejora del régimen tradicional de cultivo, de modo que se alcancen unas *nuevas especificaciones* para el tipo de planta, para que sea capaz de responder mejor bajo determinadas circunstancias. Necesariamente, deberán hacerse sucesivos ajustes adicionales en el estándar de calidad para el material producido, constituyendo un proceso de mejora por el cual el estándar de calidad se ajusta continuamente de modo que tienda a mejorar el potencial de respuesta del material cultivado.

En nuestro entorno los programas de caracterización de cultivo en viveros comerciales ya se han utilizado en varios viveros de Andalucía (Navarro *et al.*, 1998a, 1998b, 1998c; Navarro *et al.*, 2001a, 2001b; del Campo, 2002; del Campo y Navarro, 2004 a, 2004b; Navarro *et al.*, 2006) (Fig. 2; Tabla 3), Castilla-La Mancha (Arroyo, 1999), Castilla-León y de la Comunidad Valenciana (del Campo *et al.*, 2004c), lo que ha permitido identificar las principales limitaciones del cultivo de varias especies, el control de diferentes lotes, y la propuesta de mejoras en el proceso de cultivo.



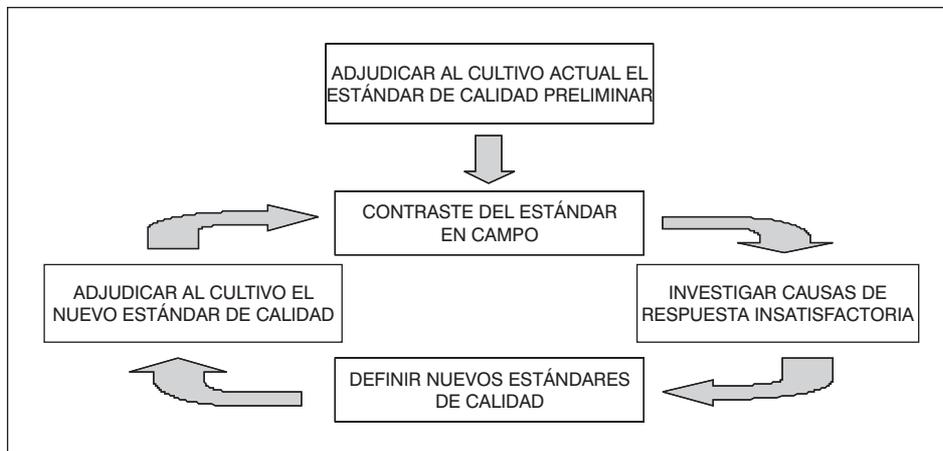


Figura 1. Proceso de mejora de los estándares de calidad de planta forestal: modelo general (Burdett, 1983).

4.1. Aplicación de un programa de control de calidad

Aceptando este planteamiento como el más conveniente para trabajar con viveros comerciales, donde los intereses económicos y las limitaciones técnicas juegan un papel fundamental, el primer objetivo que debe alcanzarse es **determinar el estándar de calidad preliminar**, mediante la evaluación del régimen tradicional de cultivo de las distintas especies consideradas. La práctica actual de cultivo en un vivero suele recoger la experiencia adquirida por el viverista durante varias campañas de cultivo y, en cierta medida, suponen un proceso de adecuación de la calidad de planta a las condiciones particulares de cultivo de ese vivero y a los potenciales clientes y destinos repobladores. Es importante destacar el gran valor que tiene esa información (casi siempre autodidacta), que en muchos casos representa el conocimiento más valioso del cultivo de muchas especies forestales.

4.1.1. Calendario de cultivo

En general, el calendario de cultivo es una parte importante de todo el proceso de planificación del ciclo de cultivo del vivero, siendo esencial para su control. Por ello, los calendarios tienen un carácter muy particular para cada vivero y especie cultivada, ya que dependerán de las condiciones particulares del lugar (condiciones ambientales, mano de obra estacional, fechas de alzado, etc.) y de la propia experiencia del viverista en la producción de una planta tipo concreta. En este sentido, el viverista deberá buscar una solución de compromiso entre la situación ideal de contar con un calendario de culti-



Tabla 3. Caracterización del cultivo. Principales variables de cultivo en vivero.

| Variable de cultivo | Criterio básico de control Referencia | Resultados esperados | Ejemplo | | Gestión en el vivero | |
|-------------------------|---|---|------------------------|---------|----------------------|-------------------|
| | | | Referencia a figura | Costo | Periodicidad | |
| Calendario de cultivo | Landis <i>et al.</i> , 1998; Navarro <i>et al.</i> , 1998c | Adecuación de la morfología | Figura 1 | - | - | Anual |
| Condiciones ambientales | Jenkinson <i>et al.</i> , 1993; Navarro <i>et al.</i> , 1998c | Adecuación del riego (reducción del riesgo de daños) | Figura 2 | 1.000 € | - | Diario |
| Envases | Domínguez Lerena <i>et al.</i> , 1997 | Adecuación de la morfología | Tabla 2 | - | - | Anual |
| Riego | Landis <i>et al.</i> , 1989; 1998; Lambany <i>et al.</i> , 1997 Del Campo, 2002 | Adecuación de la morfología Mejora de los sistemas de fertilización (eficacia y/o aplicación) | Figura 3 | 600 € | - | Diario |
| Sustrato | Ansorena, 1994; Burés, 1997; Navarro <i>et al.</i> , 1998c | Adecuación de la morfología Mejora de los sistemas de fertilización (eficacia y/o aplicación) | Tabla 4, Figura 4 | 300 € | - | Trimestral |
| Fertilización | Landis <i>et al.</i> , 1989 | Adecuación de la fisiología | Tabla 2 | 100 € | - | Mensual-Bimensual |



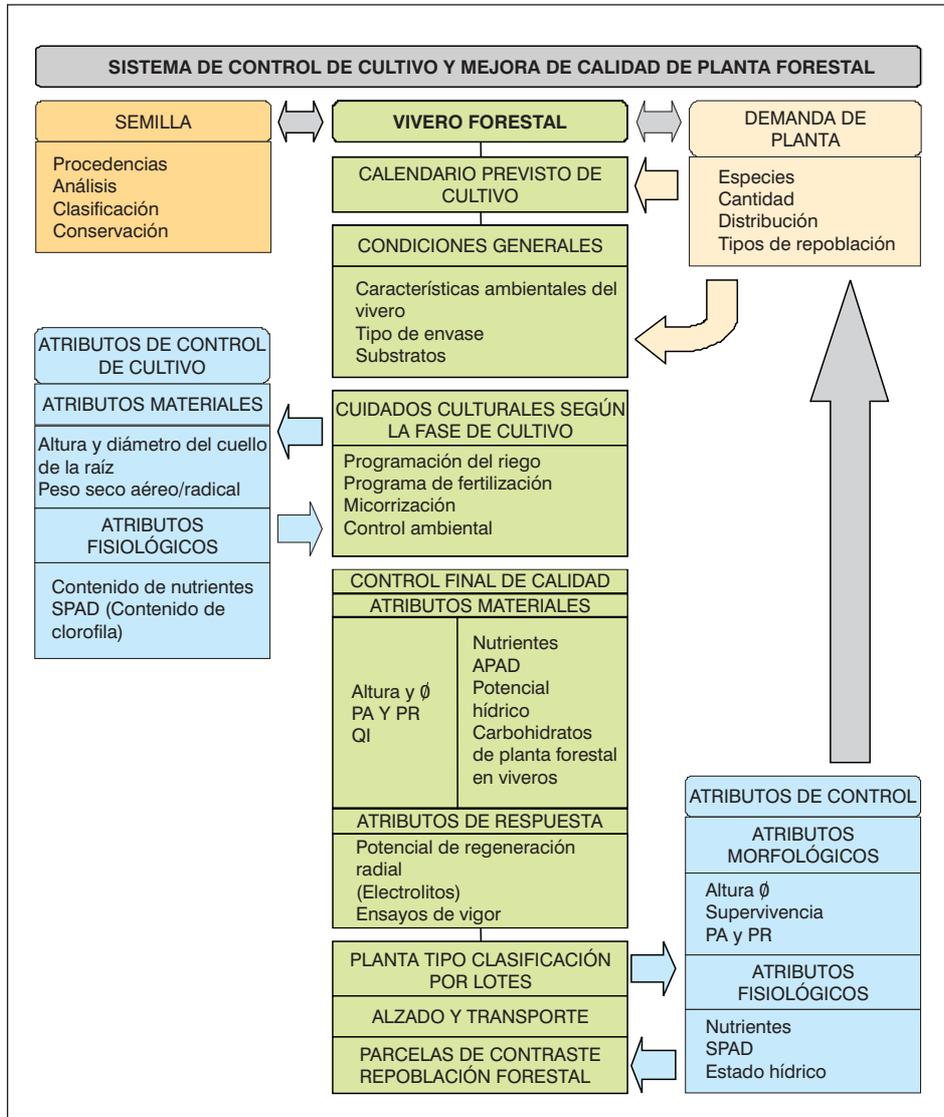


Figura 2. Sistema de caracterización del cultivo y control de calidad de planta forestal en viveros comerciales (Navarro *et al.*, 1998c).

vo apropiado para cada especie y tipo de planta a producir, y la solución que mejor pueda adaptarse a las condiciones reales de su vivero. Los calendarios podrán tener diferentes niveles de sofisticación (Landis, 1998; Navarro *et al.*, 1998b, 1998c), pero es deseable



que incluyan información sobre los atributos de control en cada fase de cultivo para la *planta tipo* que se está produciendo, el momento en que estas condiciones deben ser alcanzadas, y la descripción detallada de cada práctica de cultivo aplicada. En cualquier caso, el calendario tendrá que hacerse en función de la experiencia previa, así como de la estimación de la demanda de planta para ese año y una vez determinadas las especies y cantidades a producir (Fig. 3).

Para llevar a cabo el mencionado programa de cultivo es necesario el conocimiento y/o previsión de las condiciones ambientales de la zona donde se ubica el vivero. En los viveros al exterior, serán estas condiciones y su variabilidad o irregularidad las que determinen las prácticas de cultivo y la flexibilidad de las mismas (fundamentalmente el riego). Desde un punto de vista meramente práctico, lo más aconsejable es hacer las programaciones del cultivo en base a un año meteorológico medio para después ir modificando éstas en función de la variabilidad del clima durante la campaña. Según esto, es necesario realizar un *encuadre climático* del vivero, determinando y dimensionando las variables ambientales que tienen un efecto directo sobre el crecimiento de la planta. Esto se puede hacer a partir de las clasificaciones agroclimáticas regionales y/o locales, completando con los registros históricos de alguna estación meteorológica próxima, a ser posible ubicada en el propio vivero. Los datos registrados permitirán establecer un *año climatológico tipo* para el vivero, a partir del cual confeccionar el calendario de cultivo acorde a las necesidades de las distintas especies y lotes producidos. Cuando la planta se produce en un ambiente controlado (invernaderos), las variables ambientales pueden ser modificadas, adaptándolas a las condiciones ideales para la planta, en este caso pierde relevancia la caracterización climática de la ubicación del vivero, así como el seguimiento de los parámetros en el exterior. Sin embargo, el caso más frecuente es que la planta se produzca en infraestructuras al exterior, donde estas variables apenas pueden ser modificadas.

Dado que el *año climatológico real* diferirá del *tipo*, dependiendo de la irregularidad climática de la zona, será el registro de las variables climáticas durante el periodo de cultivo el que determine las correcciones a aplicar al calendario original. En base a esto, deberá tenerse presente que:

- 1.º El calendario de cultivo tendrá que ser lo más flexible posible para poder ir adaptándose a los cambios climáticos que vayan sucediéndose.
- 2.º La observación y registro de los datos meteorológicos debe hacerse, al menos, semanalmente, para poder determinar la desviación de la situación prevista y por tanto la corrección a aplicar en los parámetros del cultivo, tales como riego, fertilización, endurecimiento, etc.



CALIDAD DE PLANTA FORESTAL PARA LA RESTAURACIÓN EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS

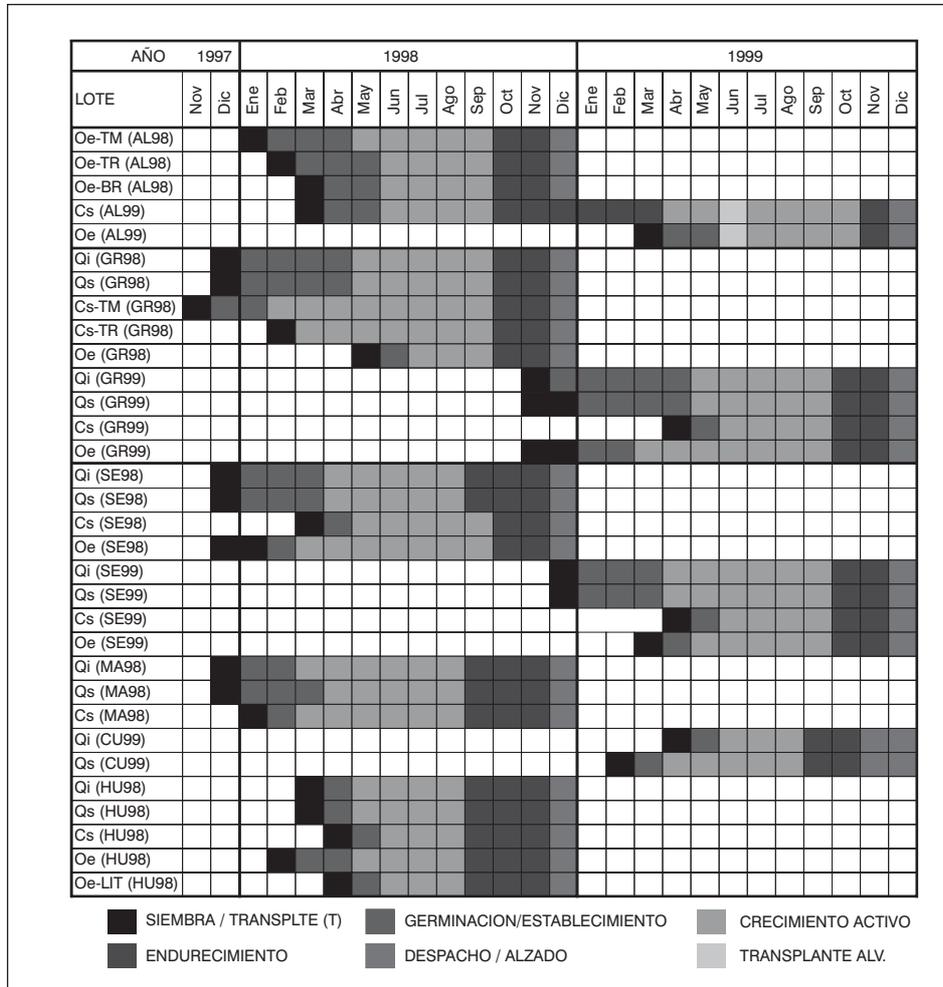


Figura 3. Representación gráfica del calendario de cultivo en dos campañas consecutivas de distintos lotes de encina (Qi-), alcornoque (Qs-), algarrobo (Cs-) y acebuche (Oe-) en varios viveros forestales en Almería, Cuenca, Granada, Huelva, Málaga y Sevilla. (T: se trasplanta la plántula al alveolo desde un semillero; Despacho/alzado hace referencia al periodo de tiempo durante el cual la planta sale del vivero con destino al monte; Transplante alv., hace referencia al transplante de planta de alveolo hortícola a forestal) (del Campo, 2002).



4.1.2. Control de las variables de cultivo

Tipos de envase

La importancia del contenedor elegido es decisiva para el cultivo de planta forestal, puesto que una vez seleccionado no podrá cambiarse durante el ciclo productivo. Son numerosos los estudios que relacionan la calidad final de la planta y el tipo de contenedor empleado (ver Capítulo 6). En general, todos los contenedores presentan ventajas e inconvenientes, y no puede hablarse de un envase ideal, ya que son varios los factores que determinan el tipo más adecuado para cada especie. Lo mencionado anteriormente hace recomendable, a la hora de definir un envase, considerar aquellas características que crean las condiciones adecuadas para el crecimiento de una planta de calidad de la especie considerada. Un ejemplo de la diversidad de envases utilizados en la actualidad para una misma especie puede verse en las Tablas 2 y 4. No obstante, en los últimos años se han establecido criterios más claros en relación al tipo de envase más apropiado para cada especie, por lo que al menos en cuanto a las especies cultivadas más frecuentes se refiere, puede considerarse un tema resuelto.

Tabla 4. Características de los envases empleados en el cultivo de cuatro especies forestales en viveros privados de Andalucía (Navarro *et al.*, 1998b). Qi=encina; Qs=alcornoque; Cs=algarrobo; Oe=acebuche

| Envase (Notación) | VOL. cm ³ | Ø Superior cm. | Altura cm. | N.º Alv/m ² | Tipo | Especies producidas |
|--------------------------|----------------------|----------------|------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| Forespot-300 (FP30) | 300 | 4,6 × 4,8 | 19 | 387 | Bandeja | Q.i., Q.s., C.s., O.e. |
| Forespot-400 (FP40) | 400 | 4,8 × 6 | 19 | 294 | Bandeja | Q.i., Q.s. |
| Arnabat 48A (AB25) | 250 | 4,8 × 4,8 | 14 | 378 | Bandeja | Q.i., Q.s., C.s., O.e. |
| Arnabat 48B (AB15) | 150 | 4,8 × 4,8 | 10 | 378 | Bandeja | C.s., O.e. |
| Arnabat 48C (AB31) | 308 | 4,8 × 4,8 | 17,4 | 378 | Bandeja | Q.i., Q.s. |
| Arnabat 40A (AB23) | 230 | 5,3 × 6,0 | 13,5 | 247 | Bandeja | Q.i., Q.s., C.s., O.e. |
| Bardi M-30 (BR30) | 305 | 5,6 | 17,5 | 262 | Alv. intercamb. | C.s., O.e. |
| Cetap 15B (CE31) | 310 | 6,9 × 6,9 | 9 | 204 | Bandeja | Q.i., Q.s., C.s., O.e. |
| Cetap 15.ª (CE50) | 500 | 6,9 × 6,9 | 15 | 204 | Bandeja | Q.i., Q.s. |

Sustratos de cultivo

La importancia del sustrato de cultivo radica sobre todo en que determina la aplicación práctica de procesos tan relevantes como el riego y la fertilización. De ahí la necesidad de conocer y comprender sus propiedades físico-químicas. En los últimos años se ha generalizado el uso de sustratos artificiales por presentar una formulación sencilla, características estables y homogéneas, facilidad de uso y por permitir una programación del cultivo. Todavía falta un mayor conocimiento sobre la formulación y respuesta de este tipo de sustratos según especies y condiciones de establecimiento (ver Capítulo 6). Los viveros forestales preparan las mezclas utilizando como



componente principal algún tipo de turba, a la que añaden normalmente uno o dos componentes adicionales. Estos componentes son seleccionados de acuerdo a ciertas características físicas, químicas o biológicas: turba, perlita, vermiculita, fibra de coco, etc. También es frecuente la incorporación en los sustratos de agregados de distinta naturaleza como, por ejemplo, fertilizantes de liberación lenta, abonos, enmiendas u otros productos especiales.

Sin embargo, las mezclas realizadas por el viverista pueden ser muy diversas, presentando unas propiedades físicas y químicas altamente variables entre sí y respecto de los componentes que las integran (Ansorena, 1994). Aunque se conocen los valores de determinadas propiedades consideradas importantes para algunas mezclas de uso común (Landis *et al.*, 1990; Ansorena, 1994), lo cierto es que lo más aconsejable sería realizar un análisis completo de la mezcla que se va a utilizar para cultivar, con el objetivo de poder disponer de un conocimiento exacto del comportamiento del sustrato, lo que ayudará a detectar los problemas y dificultades que tengan su origen en el medio de cultivo. Igualmente puede ser recomendable una analítica del sustrato durante cada fase del cultivo, ya que las propiedades de éste pueden variar significativamente debido a la evolución que experimenta a lo largo del proceso de cultivo (Riviere y Caron, 2001) (Tabla 5, Fig. 4).

Tabla 5. Análisis de las propiedades fisico-químicas de dos sustratos al comienzo y al final del cultivo (modificada de del Campo, 2002).

| Sustrato | S-AL | | S1 | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Inicio | Final | Inicio | Final |
| pH (1:1,5 vol) | 7,7 | 7,5 | 7,2 | 7,1 |
| C.E. mS/cm (1:1,5 vol) | 0,275 | 0,187 | 0,359 | 0,868 |
| CIC (meq/100gMS) | 69,36 | 45,36 | 143,84 | 145,57 |
| Humedad (%) | 35,77 | 47,98 | 71,32 | 67,5 |
| Relación C/N | 57,1 | 19 | 46 | 50 |
| M.O. (% sms) | 35,4 | 24,1 | 80,2 | 81,7 |
| N total (% s.m.s.) | 0,361 | 0,758 | 1,01 | 0,942 |
| N-NH4 (mg/l) | 0,99 | 0,06 | 0,04 | 0,08 |
| N-NO3 (mg/l) | 12,4 | 0,12 | 0,02 | 20,9 |
| P (mg/l) | 0,95 | 3,36 | 0,42 | 8,31 |
| K (mg/l) | 20,1 | 8,6 | 13,8 | 40,5 |
| Mg (mg/l) | 11,8 | 9,74 | 41,1 | 79,6 |
| Ca (mg/l) | 52,6 | 44,4 | 49,8 | 117 |
| SO4 (mg/l) | 68,6 | 34,8 | 149 | 528 |
| da (g/ml) | 0,4134 | 0,7116 | 0,3519 | 0,3221 |
| Porosidad (%) | 86,7 | 77,1 | 91,4 | 90,9 |



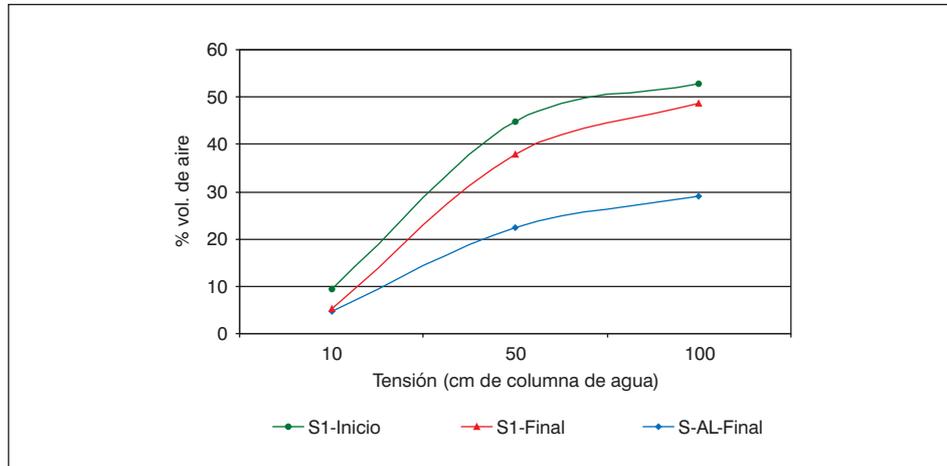


Figura 4. Análisis hidro-físico para dos tipos de sustratos al comienzo y final (sólo el tipo S1) del cultivo. Obsérvese la pérdida de aireación sufrida en el sustrato S1 en los 9 meses de duración del cultivo.

Programación de riegos

Las necesidades de riego para cada estado de desarrollo de la planta son diferentes (Landis *et al.*, 1989; Landis, 1998) y esto requiere especificar el contenido de agua en el sustrato de forma que se optimice su aplicación para conseguir los efectos buscados en cada fase. Existen varias formas de calcular la cantidad de agua que se debe aportar:

- 1. Determinación de la demanda del clima sobre la planta (Evapotranspiración).** Los modelos desarrollados para el cálculo de las necesidades hídricas de las plantas provienen del campo de la agricultura y están basados principalmente en el cálculo de la evapotranspiración. Mediante estaciones meteorológicas automáticas se pueden registrar y procesar los parámetros meteorológicos necesarios para calcular la evapotranspiración y las tasas de riego a aplicar, que pueden transmitirse a un programador de riego.
- 2. Métodos indirectos.** Son métodos que se basan en la determinación de algún parámetro directamente relacionado con la presencia de agua en el medio de cultivo o en la planta. Los más comunes son los que tienen como finalidad determinar el contenido de agua volumétrico, o los que se basan en la determinación del potencial hídrico, bien en el sustrato, o bien en la planta. El empleo del TDR es una técnica reciente que permite mediciones rápidas y precisas del contenido volumétrico de agua del sustrato, indicando cuál es el momento óptimo para regar (Lambany *et al.*, 1997; Landis, 1998).

Lo más recomendable, para resolver las necesidades reales de agua a aportar en cada riego, dadas las condiciones actuales de los viveros comerciales, es utilizar una estación



meteorológica automática que aporte datos diarios de ETP y establecer el momento de riego a partir de una ETP acumulada (que está relacionada con la cantidad de agua del sustrato) (Figura 5). A esta cantidad habrá que sumar las necesidades de lixiviado en cada riego, que vendrán determinadas en función de la salinidad del sustrato (Peñuelas y Ocaña, 1997).

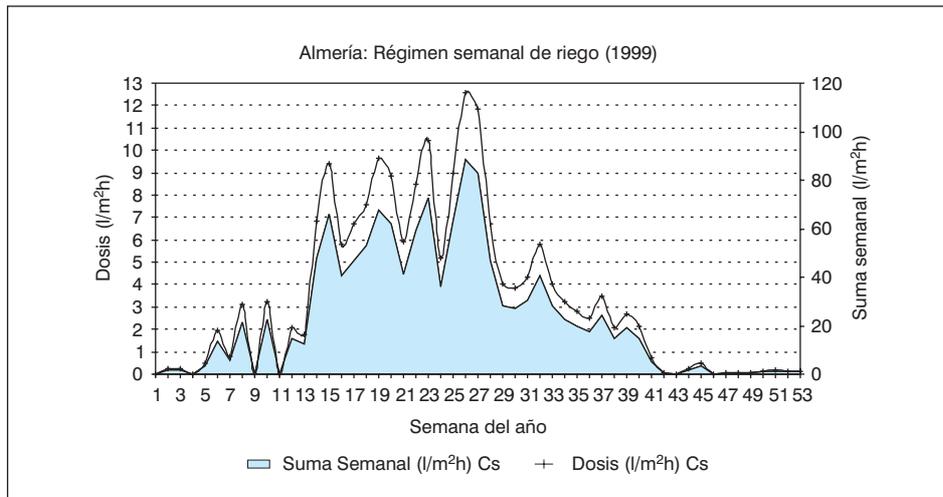


Figura 5. Aportaciones semanales de riego (dosis y suma total) a lo largo del cultivo según vivero y campaña de estudio (modificada de del Campo, 2002).

Programación de la fertilización

El objetivo de los programas de fertilización en contenedor es mantener unas concentraciones específicas de diferentes nutrientes minerales en el sustrato, y permitir un adecuado intercambio catiónico durante el ciclo de crecimiento. Igualmente al manejo de otras variables, la fertilización tendrá que planificarse para cada fase del cultivo, de forma que se especifiquen las formulaciones y las dosis a utilizar en cada caso (Landis *et al.*, 1989; ver Capítulo 5). La concentración de cada elemento mineral en el medio de crecimiento es el factor más importante y difícil de definir en un programa de fertilización. Normalmente esto se hace estableciendo un nivel base de N, y fijando el resto de los nutrientes en función de éste (Landis, 1989a). Este planteamiento, que en términos generales es sencillo, debe fijarse idealmente para cada especie. Hay numerosas propuestas en función de las prácticas de cultivo o de formulaciones establecidas (Landis *et al.*, 1989; Navarro y Pemán, 1997), pero existe una falta de información sobre las necesidades nutricionales de la mayor parte de las especies mediterráneas (ver Capítulo 5). Afor-



tunadamente, el rango de concentración de nutrientes que permite un buen crecimiento de las plantas es bastante amplio, y cada grupo de especies (coníferas/frondosas) presentan requerimientos similares, lo que permite hacer programas de fertilización estándar para grupos de especies, sin tener que particularizar para cada una de ellas.

En general, en los viveros comerciales se tiende a homogeneizar la fertilización con unas dosis estándar para todas las especies, lo cual no es lo más correcto, sin embargo es práctico a la hora de organizar la producción. La fertilización se lleva a cabo mediante el uso de fertilizantes de liberación lenta o turbas fertilizadas que se incorporan al sustrato, o mediante fertirrigación donde se definen las dosis y frecuencias de las aplicaciones de fertilizantes (cada vez más frecuente). El primer paso para programar la fertilización será fijar la concentración específica de los diferentes nutrientes minerales que llevará la solución fertilizante. Esta solución nutritiva deberá tener distinta composición según la fase del cultivo en la que se encuentre la planta, ya que las necesidades son diferentes en cada caso. Mientras no se disponga de valores contrastados para las especies producidas comúnmente en nuestros viveros pueden utilizarse los aportados por otros autores (Landis *et al.*, 1989). El principal inconveniente de estos valores es que son para fertirrigación constante, lo cual no es una práctica habitual en la mayoría de los viveros, los cuales utilizan fertilización periódica (por ej. una vez por semana o alternándola entre riegos), para la que es necesario aplicar unas soluciones más concentradas.

El siguiente paso para definir las aplicaciones es tener en cuenta el análisis químico del agua de riego, que tendrá algunos nutrientes los cuales tendrán que ser tenidos en cuenta para obtener los valores objetivos de aportación. Por último, hay que considerar que algunos componentes de los sustratos pueden incluir aditivos fertilizantes, que aportan a lo largo del cultivo una cantidad de nutrientes concreta. Una vez determinadas las concentraciones de los elementos a conseguir en la solución nutritiva, se adquieren los productos apropiados y se calculan sus dosis. El programa informático MACRONUT® (Harrington y Glass, 1998) permite hacer combinaciones específicas de nutrientes para la solución a aplicar por fertirrigación ofreciendo de esta manera las dosis de distintos productos fertilizantes de uso común (Tabla 6).

Otro programa de utilidad en programación de fertilizaciones es el CONIFER® (Harrington y Glass, 1996), que sirve principalmente para determinar la dosis de fertilizante para obtener un determinado valor objetivo de N. Para una determinada formulación del fertilizante (N-P₂O₅-K₂O) y un valor objetivo de N (ppm) en la solución a aplicar, el programa ofrece la dosis (g l⁻¹) de producto a emplear y las consecuentes concentraciones de P y K (ppm) en dicha solución (Tabla 7).

Existen otras técnicas útiles en el estudio de deficiencias en nutrientes que pueden perfeccionarse para obtener diagnósticos fidedignos del estado nutricional de la planta (Landis *et al.*, 1989) (Tabla 8). El análisis foliar es la mejor forma de evaluar el resultado de la fertilización sobre la calidad nutricional de la planta, de forma que si estos nutrientes se encuentran en el rango adecuado, la fertilización está siendo efectiva.



CALIDAD DE PLANTA FORESTAL PARA LA RESTAURACIÓN EN AMBIENTES MEDITERRÁNEOS

Tabla 6. Cálculo de un programa de fertilización con MACRONUT para un vivero de Almería. Cociente de inyección aplicado es 1:200.

| Concentración de nutrientes (ppm) en la solución fertilizante. Fase de crecimiento | | | | | | | | | g l ⁻¹ |
|--|-----|------------------------------|------------------------------|----|-----|-----|----|------|-------------------|
| Nutrientes | N | NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ | P | K | Ca | Mg | S | |
| Valores objetivo | 222 | 156 | 66 | 60 | 155 | 60 | 40 | 63 | |
| Análisis agua | 14 | 14 | | | 1.2 | 80 | 37 | 38.5 | |
| Fertilización | 208 | 142 | 66 | 60 | 154 | 0 | 3 | 26 | |
| Sol. Aplicada | 208 | 141 | 67 | 60 | 150 | 20 | 3 | 26 | |
| MgSO ₄ | | | | | | | X | X | 6,00 |
| SO ₄ NH ₄ | X | | X | | | | | X | 18,42 |
| K ₂ HPO ₄ | | | | X | X | | | | 66,67 |
| NH ₄ NO ₃ | X | X | X | | | | | | 55,56 |
| NO ₃ H | X | X | | | | | | | 85,65 |
| Total | 222 | 155 | 67 | 60 | 151 | 100 | 40 | 63 | |

Tabla 7. Régimen de fertilización (96-97) de un vivero de Granada y dosis obtenidas a partir del programa CONIFER®.

| Características | Germinación | | Crecimiento | | Pre-acondicionamiento | |
|-----------------|-------------|-----------|---------------------------------------|-------------|-----------------------|----------|
| | | | Formulación del fertilizante aplicado | | | |
| | 7-40-17 | | 20-7-19 | | 4-25-35 | |
| Dosis gr/l | Actual | Objetivo | Actual | Objetivo | Actual | Objetivo |
| | 0,54 | 0,50 | 0,56 | 0,91 | 1,58 | 0,88 |
| N (ppm) | 25-50 | 74-39*=35 | 100-125 | 222-39*=183 | 50-75 | 35 |
| P (ppm) | 95 | 87 | 17 | 28 | 172 | 96 |
| K (ppm) | 76 | 71 | 89 | 144 | 457 | 244 |

* procedente del agua de riego con pH corregido por ácido nítrico.

Tabla 8. Concentración foliar de nutrientes minerales en lotes de cuatro especies forestales en un vivero de Granada con el programa de fertirrigación de la Tabla 7. Qi=encina; Qs=alcornoque; Cs=algarrobo; Oe=acebuche. Formulación del sustrato en volumen T=turba, P=perlita, t=suelo natural

| Nutriente | Concentración media en tejidos de planta (mg g ⁻¹) | Q. i. (T) | Q. s. (T) | O. e. (T) | O. e. (T-P) | O. e. (T-t) | C. s. (T) | C. s. (T-P) | C. s. (T-t) |
|-----------|--|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| N | 15 | 11,42 | 12,42 | 18,46 | 18,40 | 24,06 | 11,08 | 16,94 | 18,46 |
| P | 2 | 1,36 | 1,54 | 1,54 | 1,82 | 2,36 | 1,66 | 1,30 | 1,48 |
| K | 10 | 4,52 | 4,54 | 11,28 | 11,40 | 12,66 | 8,26 | 8,54 | 9,56 |
| Ca | 5 | 9,40 | 9,04 | 8,54 | 7,76 | 6,86 | 4,30 | 4,06 | 9,02 |
| Mg | 2 | 3,22 | 4,48 | 2,58 | 2,06 | 2,08 | 3,18 | 1,64 | 2,26 |



4.1.3. Caracterización del cultivo

El resultado de toda la programación y control anterior se integra en una caracterización del cultivo, de forma que se evalúe cada una de las fases de cultivo a través de unos *atributos objetivo* que debe alcanzar la planta (Wenny y Dumroese, 1993). Como ya se apuntó anteriormente, la caracterización del cultivo servirá para asegurar que el resultado del proceso productivo concuerda con el estándar de calidad establecido. Así, se deberá contar con unos valores de atributos (principalmente morfológicos y de nutrición mineral) que deberá alcanzar la planta al final de cada fase del cultivo. La búsqueda de los rangos en los que se sitúen estos valores pasa por la técnica del ensayo y error (Burdett, 1983).

El mejor sistema para el muestreo de las variables de cultivo, es el establecimiento en el vivero de una serie de bloques de control. Se entiende por bloque de control una muestra permanente de planta, establecida en el conjunto del cultivo, y cuyas características son controladas a lo largo del mismo (Landis *et al.*, 1994; Navarro *et al.*, 1998c). Estos bloques de control van a tener diferentes funciones en el vivero, pero la principal es el seguimiento de las características de la planta a lo largo del cultivo, así como el control fitosanitario del vivero.

El número de plantas que deben ser muestreadas viene determinado por numerosos factores, tales como el tipo de vivero, la disponibilidad de medios humanos y materiales o el objetivo del control de calidad. En cualquier caso debe procurarse que los datos tomados sean representativos del cultivo que queremos controlar. Un tamaño adecuado para los bloques de control está entre 200 y 400 plantas (6-12 bandejas) por lote cultivado, lo cual representa un número de plantas suficiente para toda la analítica durante el proceso de cultivo. Este muestreo se realizará para cada especie cultivada en el vivero y, en el caso de lotes muy grandes, un bloque por cada 250.000 plantas.

Los bloques de control se localizarán a lo largo del vivero, procurando que queden regularmente distribuidos entre las platabandas, evitando situaciones que por la experiencia del viverista puedan dar lugar a variaciones en las características del cultivo (como por ejemplo ocurriría en una zona parcialmente sombreada, en un área expuesta a vientos, etc.). En las platabandas seleccionadas los bloques de control deben quedar situados en el interior de las mismas, evitando las zonas periféricas donde pueden existir efectos de borde (como por ejemplo, el calentamiento del sustrato). Los bloques deben quedar adecuadamente señalados con marcas visibles de color llamativo. Lo ideal es marcar los extremos del bloque, poniendo una etiqueta con el código utilizado para denominarlo.

Los bloques de control deben ser monitorizados regularmente, de acuerdo con la periodicidad establecida en el control del cultivo, y constituyen un buen lugar para colocar los equipos de control ambiental. Debe tenerse presente que los bloques de control suministran la información necesaria para corregir las prácticas de cultivo, y que se establecen para elaborar los programas de cultivo y los estándares de calidad de la planta a largo



plazo. Lo importante en este sentido es comenzar a registrar datos sobre la evolución del cultivo a lo largo de varias campañas, como una práctica habitual en el vivero, e ir disponiendo de una base de datos para contrastar las características del material producido en un determinado año con la respuesta general que éste tuvo en el terreno. La interpretación del desarrollo de la planta se puede hacer mediante el cálculo de una serie de relaciones alométricas. De todos los atributos morfológicos antes citados, se utilizan la altura, el diámetro del cuello de la raíz, el peso seco de la parte aérea, el peso seco de la parte radical y la concentración foliar de nutrientes (Figura 6). Las relaciones alométricas estudiadas son, en general, de tres tipos: evolución temporal de un atributo morfológico; relación entre atributos para facilitar el cálculo de uno de ellos y relaciones entre atributos para establecer *ventanas de calidad*.

Cuando el resultado de un control del cultivo sea una desviación respecto de los estándares, se podrán modificar las variables de cultivo, con lo que se pueden conseguir importantes cambios en la calidad final de la planta (Burdett, 1983).

4.1.4. Control de la calidad final de la planta

Los atributos de control de la calidad final de planta han sido ampliamente discutidos en los Capítulos 4, 5 y 6. Desde el punto de vista del viverista resulta prudente integrar atributos morfológicos y fisiológicos, ya que los primeros describen la adaptación general de la planta al tipo de repoblación (procedimiento de preparación, plantación, etc.), y los fisiológicos su capacidad de aclimatación a las condiciones de estación. La capacidad predictiva de un atributo puede tener un período de validez muy corto (por ej. la transpiración) o más largo (por ej. atributos morfológicos) (ver Capítulo 2). Esto hace que las diferencias claras entre lotes puedan empezar a manifestarse a partir de 2 a 5 años después de la plantación. En definitiva, la capacidad predictiva va a depender de cuándo se realiza la medición del atributo (durante la fase de crecimiento, antes del alzado, antes de la plantación) y de qué se pretende predecir (supervivencia, crecimiento, biomasa, etc.).

A modo de resumen de lo anterior, se incluye un modelo de base de datos generado para el control de calidad final de planta de vivero en Valencia (Fig. 6).

4.2. Control fitosanitario del vivero

Las plagas y enfermedades pueden producir daños generalizados en el cultivo. El responsable del vivero debe mantener un programa de control permanente, ya que la mejor forma de evitar este tipo de daños es la prevención mediante la evaluación de cualquier síntoma o situación anómala, que ponga en evidencia problemas sanitarios o de cultivo (Tabla 9). Cuando se trata de agentes biológicos, los vectores principales de entrada al vivero son los substratos, el agua de riego, los contenedores recuperados, el material forestal de reproducción y las herramientas.



5. Interpretar los resultados mediante la comparación con las variables generales del cultivo, principalmente las condiciones ambientales, así como las curvas de crecimiento para identificar puntos donde se produzca una variación significativa de las condiciones de crecimiento. Esto se facilita con el empleo de un cuaderno de cultivo, donde se registra toda la información necesaria (por ejemplo, fotografías de deficiencias para diferentes especies). Las pérdidas de crecimiento son un primer síntoma de problemas bióticos, aunque sean difíciles de detectar.
6. Controlar las variables ambientales en las áreas de cultivo.
7. Instalar bloques de control o bloques históricos. Como ya indicamos en el apartado correspondiente, estos bloques permiten un control integrado del cultivo, lo que facilita notablemente la identificación de cualquier alteración de la calidad de la planta. La toma regular de atributos morfológicos permite identificar con mayor facilidad dichos cambios. Cuando esta información se acumula durante varios años puede llegar a ser la mejor herramienta para lograr una planta de calidad adecuada.

Tabla 9. Enfermedades de especies forestales diagnosticadas en viveros andaluces durante el periodo 1996-1999 (Trapero *et al.*, 1999)

| Huésped y enfermedad | Patógeno |
|---|--|
| <i>Quercus ilex</i> , <i>Q. suber</i> Muerte de plantas | <i>Phytophthora cinnamomi</i> , <i>P. crytogeta</i> , <i>P. drechsleri</i> |
| <i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i> Tuberculosis Muerte de plántulas (<i>damping off</i>) | <i>Pseudomonas savastanoi</i> <i>Phytophthora megasperma</i> |
| <i>Ceratonia siliqua</i> Muerte de plantas Necrosis foliares | <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>Pythium irregulare</i> , <i>Colletotrichum acutatum</i> , <i>Hainesia</i> , <i>Pestalipsis</i> , <i>Phomopsis archeri</i> . |
| <i>Arbutus unedo</i> Mancha foliar Necrosis foliares | <i>Mycosphaerella</i> sp. (<i>Septoria unedonis</i>) <i>Pestalotiopsis</i> sp. |
| <i>Pinus pinea</i> , <i>P. halepensis</i> Muerte de plántulas | <i>Phytophthora drechsleri</i> <i>Fusarium oxysporum</i> |

4.3. Contraste en campo

La fase final del proceso de control de calidad de planta es el contraste en campo. La calidad final de un lote de planta es evaluada por el repoblador según el éxito del establecimiento temprano (período entre 1-3 años) de los brinzales plantados en campo (ver Ca-



pítulo 2). En este sentido, el esfuerzo del control de calidad del viverista, tanto en términos de cuidados culturales y de atributos de calidad, son evaluados exclusivamente a través de la supervivencia y, en menor medida, del crecimiento inicial. Con el fin de que el viverista pueda establecer relaciones entre la calidad de su planta y el éxito en la repoblación, se pueden realizar controles a través de proyectos de repoblación que hayan incorporado planta producida en su vivero (Navarro *et al.*, 2001c) o mediante el establecimiento de parcelas de control por el mismo viverista. Los resultados requieren de un período de ensayos bastante prolongado. La respuesta en campo requiere ser determinada en un amplio rango de condiciones de estación y evolución climática (Folk y Grossnickle, 1997; Dunsworth, 1997); en períodos que oscilan entre 2 y 5 años, para poder establecer relaciones causa-efecto de carácter cuantitativo con el éxito de la repoblación. Las variables que se utilizan en el control de respuesta en campo de lotes comerciales de planta son:

1. Crecimiento en diámetro y altura
2. Supervivencia pre-estival y post-estival

No existen muchos estudios sobre control de repoblaciones (Navarro *et al.*, 2001c), ni tampoco sobre sistemas de control integrados en proyectos de repoblación, en particular con la colaboración de viveristas y repobladores. Con el fin de ilustrar el interés de las parcelas de contraste se incluyen los resultados de los trabajos de control de lotes comerciales en Andalucía (Navarro y del Campo, 2005) (Tabla 10, Fig. 7 y 8)

Tabla 10. Media y error estándar de la supervivencia al segundo año (%) y las tasas de crecimiento relativo en altura (TCRH, cm, mes⁻¹) y en diámetro (TCRD, mm mes⁻¹) en varios lotes de encina (Qi) y acebuche (Oe). Letras diferentes muestran diferencias significativas entre sí (HSD de Tukey). ES=error estándar

| Especie | Lote | Supervivencia | | TCRH | | TCRD | |
|---------|--------|---------------|------|----------|-------|---------|-------|
| | | Media | ES | Media | ES | Media | ES |
| Qi | Qi(Ax) | 66,6 a | 7,89 | 0,030 a | 0,002 | 0,025 a | 0,001 |
| | Qi(Gr) | 31,6 b | 8,41 | 0,020 a | 0,003 | 0,021 a | 0,008 |
| | Qi(Pj) | 48,3 ab | 8,40 | 0,019 a | 0,005 | 0,024 a | 0,003 |
| | Qi(Sn) | 60,0 a | 5,54 | 0,018 a | 0,003 | 0,012 b | 0,002 |
| | Qi(Jn) | 35,9 b | 6,01 | 0,013 a | 0,005 | 0,028 a | 0,003 |
| Oe | Oe(Ax) | 100 a | 0 | 0,028 a | 0,001 | 0,039 a | 0,001 |
| | Oe(Gr) | 90,6 b | 3,33 | 0,003 c | 0,004 | 0,027 b | 0,001 |
| | Oe(Sn) | 100 a | 0 | 0,014bc | 0,003 | 0,028 b | 0,002 |
| | Oe(Pj) | 100 a | 0 | 0,018 ab | 0,003 | 0,027 b | 0,003 |



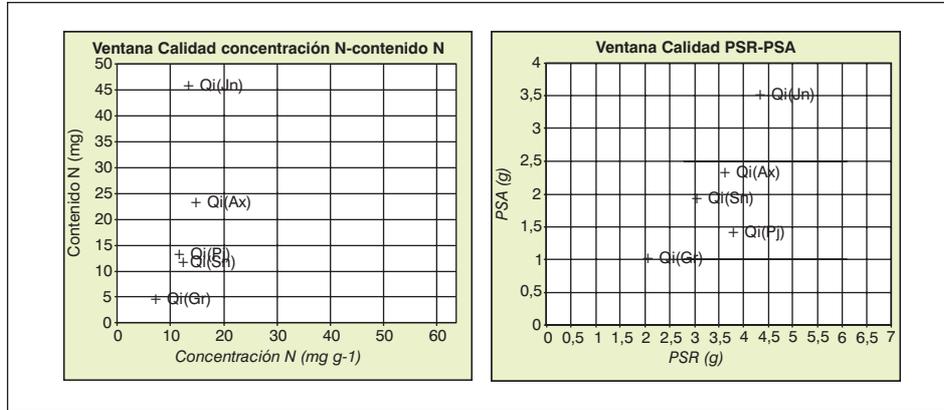


Figura 7. Ventanas de calidad (media \pm DT) para los Peso seco radical-Peso seco aéreo, y concentración de N-contenido de N en encina. El trazo continuo se refiere a los valores obtenidos para la totalidad de los lotes en el período 1997-1999; los lotes marcados corresponden a los establecidos en el año 2000 (Navarro y del Campo, 2005).

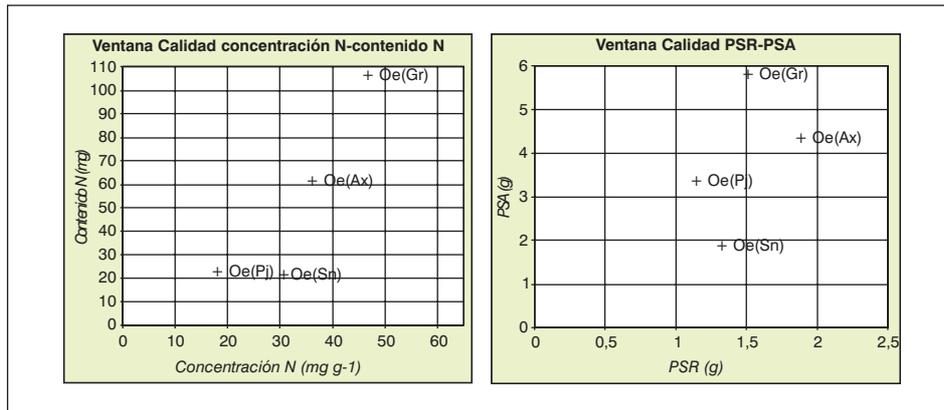


Figura 8. Ventanas de calidad (media \pm DT) para los Peso seco radical-Peso seco aéreo, y concentración de N-contenido de N en acebuche. El trazo continuo se refiere a los valores obtenidos para la totalidad de los lotes en el período 1997-1999; los lotes marcados corresponden a los establecidos en el año 2000 (Navarro y del Campo, 2005).

Las parcelas de contraste suponen la etapa final del proceso de control de cultivo en vivero y mejora de respuesta en campo. El siguiente paso, a partir de los resultados obtenidos en campo, sería la adecuación de las prácticas de cultivo que se considera que influyen más en la calidad final de la planta y, por tanto, en la respuesta durante el establecimiento. Es evidente que los resultados serán tanto más relevantes cuanto mejor se controlen las condiciones de establecimiento durante el ensayo en campo y se compare un mayor número de lotes co-



merciales y viveros. Esto permite un intercambio rápido de experiencias, lo que facilita la mejora del cultivo de la especie estudiada en viveros de forma simultánea. En ese sentido, consideramos que las experiencias de control de calidad para un conjunto de viveros dentro de una Comunidad Autónoma (es decir dentro de un ámbito de condiciones ecológicas de las repoblaciones relativamente homogéneas), es una herramienta bastante recomendable dentro de los programas de mejora de cultivo de planta forestal.

5. CONCLUSIONES

Los procedimientos de control integrado de calidad de planta pretenden ayudar al viverista a conocer y mejorar el cultivo en su vivero. La información generada en estos sistemas de control permite establecer protocolos de cultivo de las principales especies forestales, lo cual es el primer paso en cualquier proceso de mejora y certificación de su planta. Por otro lado, estos trabajos ayudan a los investigadores a detectar los posibles problemas que comprometen la calidad final de la planta, y facilitan la mejora de las técnicas utilizadas y la incorporación de nuevos cuidados culturales. A nuestro entender la generalización de los sistemas de control podría ser un excelente procedimiento de intercambio de experiencias entre viveristas, y entre ellos y los investigadores, optimizando el conocimiento que ambos sectores han adquirido en los últimos años.

REFERENCIAS

- AGUADO, A. M.; SEGURA, I.; NOGUERA, P. y ABAD, M. (1997). Utilización del triturado de paja de desecho como componente de sustratos de cultivo en la producción de planta forestal. Actas del II Congreso Forestal Español. Mesa 3: 15-20.
- ANSORENA, J. (1994). Sustratos. Propiedades y caracterización. Ed. Mundi-Prensa. 172 pp.
- ARROYO SAUCES, M. (1999). Programa de control de calidad de planta forestal. Trabajo Profesional Fin de Carrera. E.T.S.I.A.M. Universidad del Córdoba. 134 pp.
- BAILEY, D.; BILDERBACK, T. y BIR, D. (1999). Water considerations for container production of plants. North Carolina State University. Horticulture information leaflets 557. 13 pp.
- BERNIER, P. Y. y GONZÁLEZ, A. (1995). Effects or physical properties of *Sphagnum* peat on the nursery growth of containerized *Picea marianan* and *Picea glauca* seedlings. Scandinavian Journal of Forest Research 10: 176-183.
- BURDETT, A. N. (1983). Quality control in the production of Forest planting stock. The Forestry Chronicle, June: 133-138.
- BURÉS, S. (1997). Sustratos. Ediciones agrotécnicas S.L. Madrid, 342 pp.
- CIFUENTES, B.; MERLO, E.; MOREIRA, L. y ARGIBAY, A. (2001). Ensayo piloto para estudiar la influencia del envase y tiempo de cultivo en el desarrollo y estructura del sistema radical de *Pinus pinaster* Ait. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 722-728.



- DEL CAMPO, A. D. (2002). Régimen de cultivo, desarrollo en vivero, calidad de planta y respuesta al establecimiento en cuatro especies de frondosas mediterráneas. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 310 pp.
- DEL CAMPO, A. D. y NAVARRO, R. M. (2004a). Calidad de lotes comerciales de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.). Evaluación de su respuesta en campo. Cuadernos de la S.E.C.F., 17: 35-42.
- DEL CAMPO, A. D. y NAVARRO, R. M. (2004b). Calidad de lotes comerciales de acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.). Evaluación de su respuesta en campo. Cuadernos de la S.E.C.F., 17: 43-50.
- DEL CAMPO, A. D.; HERMOSO, J.; NAVARRO, R. M. e IBÁÑEZ, A. J. (2004). Memoria del proyecto Mejora de la producción de planta forestal en los viveros públicos de la provincia de Valencia mediante la definición de los estándares de calidad de planta. E.P.S. Gandía-Universidad Politécnica de Valencia - Conselleria de Territori y Habitatge 105 pp. Inédito.
- DOMÍNGUEZ LERENA, S.; HERRERO SIERRA, N.; CARRASCO MANZANO, I.; OCAÑA BUENO, L. y PEÑUELAS RUBIRA, J. L. (1997). Ensayo de diferentes tipos de contenedores para *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *P. pinaster* y *P. pinea*: resultados de vivero. II Congreso Forestal Español, Mesa. 3: 189-194.
- DOMÍNGUEZ LERENA, S.; CARRASCO, I.; HERRERO, N.; OCAÑA, L.; NICOLÁS, J. L. y PEÑUELAS, J. L. (2000). Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus pinea* en campo. En: 1er Simposio del pino piñonero (*Pinus pinea* L.), Vol. I. pp. 203-209, Valladolid. Las plantas.
- DUNSWORTH, G. B. (1997). Plant quality assessment: an industrial perspective. *New Forests* 13: 439-448.
- DURYEA, M. L. (1984). Nursery cultural practices: Impacts on seedling quality. En: Duryea, M. L. y Landis, T. D. (Eds.). *Forest nursery manual: production of bareroot seedlings*. The Hague: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk publishers, for forest research laboratory, Oregon State University, Corvallis, OR. pp. 143-164.
- FOLK, R. S. y GROSSNICKLE, S. C. (1997). Determining field performance potential with the use of limiting environmental conditions. *New Forests* 13: 121-138.
- HARRINGTON, J. T. y GLASS, P. A. (1996). CONIFERS: A Computer Program for Liquid Fertilization in Container Nurseries. *Tree Planters' Notes* 47: 120-125.
- HARRINGTON, J. T. y GLASS, P. A. (1998). MACRONUT: Calculation software for custom-mixed nursery fertilizers. *Hortechology* 8 (1): 78-81.
- HEISKANEN, J. (1993). Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 337-358.
- HEISKANEN, J. (1995). Physical properties of two-component growth media based on Sphagnum peat and their implications for plant-available water and aeration. *Plant and Soil* 172: 45-54.
- HEISKANEN, J. y RIKALA, R. (2000). Effects of peat-based container media on establishment of scots pine, norway spruce and silver birch seedlings after transplanting in contrasting water conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 49-57.
- JENKINSON, J. L.; NELSON, J. A. y HUDDLESTON, M. E. (1993). Improving planting stock quality. The Humboldt experience. U.S.D.A. Forest Service. Pacific Southwest Research Station. General Technical Report. PSW-GTR-143. 219 pp.



- KARAM, N. S. y NIEMIERA, A. X. (1994). Cyclic sprinkler irrigation and preirrigation substrate water content affect water and N-leaching from containers. *Journal of Enviromental Horticulture*, 12(4): 198-202.
- LAMBANY, G.; RENAUD, M. y BEAUCHESNE, M. (1997). Control of growing medium water content and its effect on small seedlings grown in large containers. *Tree Planters' Notes* 48: 48-54.
- LANDIS, T. D. (1998). Measuring moisture in seeds, seedlings, solis or growing media. *Forest Nursery Notes*. January 1998: 16-19.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E. y BARNETT, J. P. (1989). Seedling nutrition and irrigation, Vol. 4, *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 119 pp.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E. y BARNETT, J. P. (1990). Containers and growing media, Vol. 2, *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 88 pp.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E. y BARNETT, J. P. (1992). Atmospheric Environment, Vol. 3, *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 145 pp.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E. y BARNETT, J. P. (1994). Nursery planning, development and management, Vol. 1, *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 188 pp.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W. y BARNETT, J. P. (1998). Seedling propagation, Vol. 6, *The Container Tree Nursery Manual*. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 166 pp.
- MARTÍNEZ, G.; PLANELLES, R.; ZAZO, J.; BELA, D.; VIVAR, A. y LÓPEZ, M. (2001). Estudio de la influencia de la fertilización nitrogenada e iluminación sobre atributos morfológicos y fisiológicos de brinzales de *Q. ilex* L. cultivado en vivero. Resultados tras el primer año de campo. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 784-790.
- NAVARRO, R. M. y PEMÁN, J. (1997). Apuntes de producción de planta forestal. Universidad de Córdoba. 267 pp.
- NAVARRO, R. M.; DEL CAMPO, A.; ALEJANO, R. y ÁLVAREZ, L. (1998a). Caracterización de calidad final de planta de encina (*Quercus ilex* L), alcornoque (*Q. suber* L), algarrobo (*Ceratonia siliqua* L), acebuché (*Olea europaea* L. var. *sylvestris*), en cinco viveros de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía. *Informaciones Técnicas* 53/98. 60 pp.
- NAVARRO, R. M.; DEL CAMPO, A.; ALEJANO, R. y ÁLVAREZ, L. (1998b). Programa de calidad de planta de encina (*Quercus ilex* L), alcornoque (*Q. suber* L), algarrobo (*Ceratonia siliqua* L) y acebuché (*Olea europaea* L. var. *sylvestris*), en cinco viveros de Andalucía. En: Curso superior de viveros y producción de planta forestal autóctona para colonización de ecosistemas mediterráneos. M.º Medio Ambiente - F.S.E. Noviembre 1998. Valsain (SG)-El Serranillo (GU). 34 pp.
- NAVARRO, R. M.; GÁLVEZ, C.; CONTRERAS, V. y DEL CAMPO, A. (1998c). Protocolo para la caracterización del cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Consejería de Agricultura y Pesca, E.T.S.I. Agrónomos y de Montes, Córdoba. 78 pp.
- NAVARRO CERRILLO, R. M.; DEL CAMPO A. y CEACEROS C. (2001a). Caracterización del cultivo y determinación de la calidad de planta de *Quercus ilex* y *Quercus suber* en varios viveros forestales. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 517-522.



- NAVARRO CERRILLO, R. M.; DEL CAMPO, A. y CEACEROS, C. (2001b). Caracterización del cultivo y determinación de la calidad de planta de *Ceratonia siliqua* L. y *Olea europaea* L. en varios viveros forestales. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 523-528.
- NAVARRO CERRILLO, R. M.; SAIZ J.; DEL CAMPO A. y ÁLVAREZ A. (2001c). Sistema de control de calidad de repoblaciones forestales: La obra de restauración del Guadamar. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 817-823.
- NAVARRO, R. M. y DEL CAMPO, A. (2005). Evaluación de la calidad de lotes comerciales de encina (*Quercus ilex* L. subs. *ballota* (Desf.)) y acebuche (*Olea europaea* var. *sylvestris* Brot.): tres años de ensayos. En: IV Congreso Forestal Español, Mesa 2. Zaragoza 26-30 Sep. Vol., Resúmenes + CD. p. 199 (8 pp.).
- NAVARRO CERRILLO, R. M.; RETAMOSAS, M. J.; LÓPEZ, J.; DEL CAMPO, A.; SALMORAL, L. (2006). Nursery practices and field performance for the endanger Mediterranean species *Abies pinsapo* Boiss. Ecology Engineering (en prensa).
- OCAÑA, L.; DOMÍNGUEZ, S.; CARRASCO, I.; PEÑUELAS, J. y HERRERO, N. (1997). Influencia del tamaño de la semilla y diferentes dosis de fertilización sobre el crecimiento y supervivencia en campo de cuatro especies forestales. En: Actas del II Congreso Forestal Español. Mesa 3: 461-466.
- OLIET, J.; PLANELLES, R.; LÓPEZ, M. y ARTERO, F. (1997). Efecto de la fertilización en vivero sobre la supervivencia en plantación de *Pinus halepensis*. Cuadernos de la S.E.C.F. 4: 69-79.
- OLIET, J.; SEGURA, M. L.; MARTÍN, F.; BLANCO, E.; SERRADA, R.; LÓPEZ, M.; ARTERO, F. (1999). Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 8: 207-228.
- PARDOS, M.; CAÑELLAS, I.; BACHILLER, A. (1997). Influencia del tamaño de bellota y del régimen de riego en la calidad de planta de alcornoque cultivada en vivero. II Congreso Forestal Español. Mesa 3: 491-496.
- PEÑUELAS RUBIRA, J. L. y OCAÑA BUENO, L. (1997). Cultivo de plantas forestales en contenedor, 2.^a Edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- PLANELLES, R.; OLIET, J. A.; ARTERO, F. y LÓPEZ, M. (2001). Efecto de distintas dosis N-P-K sobre la calidad funcional de planta de *Ceratonia siliqua*. Respuesta en plantación. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 599-605.
- RIGUEIRO, A.; MOSQUERA, M. R. y VILA, T. (2001). Efecto de la proporción de distintos componentes del sustrato en el crecimiento de *Pinus pinaster* Aiton en envase en vivero. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 410-415.
- RIVIERE, L. M. y CARON, J. (2001). Research on substrates: state of the art and the need for the coming 10 years. Acta Horticulturae 548: 29-41.
- ROYO, A.; FERNÁNDEZ, M.; GIL, L.; GONZÁLEZ, E.; PUELLES, A.; RUANO, R. y PARDOS, J. (1997). La calidad de la planta de vivero de *Pinus halepensis* Mill. destinada a repoblación forestal. Tres años de resultados en la comunidad valenciana. Montes 50: 29-39.
- RUANO, R.; LÓPEZ, E.; MARTÍNEZ, A.; VILLAPLANA, R.; FOS, M. y SANCHÍS, E. (2001). Sustratos alternativos al empleo de la turba en el cultivo de brinzales de pino. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 441-448.



- SANCHÍS, E.; GARCÍA, O.; RUANO, R.; MONTÁLVEZ, I. y FOZ, M. (2001). Estudio comparativo del desarrollo de *Quercus coccifera* L. y *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) Samp. en sustratos alternativos al empleo de turba. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 435-440.
- TIMMER, V. R. y MILLER, B. D. (1991). Effects of contrasting fertilization and moisture regimes on biomass, nutrients and water relations of container grown red pine seedlings. *New Forests* 5: 335-348.
- TRAPERO, A.; SÁNCHEZ, E.; NAVARRO, N.; VARO, R.; GUTIÉRREZ, J.; ROMERO, M. y ANDICOBERRY, S. (1999). Algunas enfermedades de especies forestales en Andalucía durante 1996-1999. XVI Reunión del Grupo de Trabajo Fitosanitario de Forestales, Parques y Jardines. Córdoba, noviembre 1999.
- VILLAR, P.; PLANELLES, R.; ENRÍQUEZ, E.; PEÑUELAS, J. y ZAZO, J. (2001a). Influencia de la fertilización y el sombreado en el vivero sobre la calidad de la planta de *Quercus ilex* L. y su desarrollo en campo. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 770-776.
- VILLAR, P.; GARRACHON, S.; DOMÍNGUEZ, S.; PEÑUELAS, J. L.; SERRADA, R. y OCAÑA, L. (2001b). Desarrollo en campo, arquitectura radical y estado hídrico seis años después de la plantación de brinzales de *Pinus pinea* cultivados en diferentes tipos de contenedor. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 791-796.
- VILLAR SALVADOR, P. (2003). Importancia de la calidad de la planta en los proyectos de revegetación. En: Restauración de Ecosistemas en Ambientes Mediterráneos. Rey-Benayas, J. M., Espigares Pinilla, T. y Nicolau Ibarra, J. M. (Eds.), Universidad de Alcalá/Asociación Española de Ecología Terrestre. pp. 65-86.
- WENNY, D. L. y DUMROESE, R. K. (1993). Nursery production: growing western white pine and western redcedar in greenhouses. Proceedings at Interior Cedar-Hemlock-White pine forests: Ecology and Management. Spokane, WA. March 2-4 1993. Department of Natural Resources Science, Washington State University, Pullman, WA 99164-6410.
- ZAZO, J.; PINAZO, O.; PLANELLES, R.; VIVAR, A.; CORNEJO, L. y LÓPEZ, M. (2001). Estudio de la influencia de la fertilización nitrogenada e iluminación sobre atributos morfológicos y fisiológicos de brinzales de *Q. suber* L. cultivado en vivero. Resultados tras el primer año de campo. III Congreso Forestal Español. Mesa 3: 777-783.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- DEL CAMPO, A. D. y NAVARRO, R. M. (2004). Calidad de lotes comerciales de encina (*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp.). Evaluación de su respuesta en campo. Cuadernos de la S.E.C.F., 17: 35-42.
- LANDIS, T. D.; TINUS, R. W. y BARNETT, J. P. (1998). Seedling propagation, Vol. 6, The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbk. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 166 pp.
- NAVARRO, R. M.; GÁLVEZ, C.; CONTRERAS, V. y DEL CAMPO, A. (1998). Protocolo para la caracterización del cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Consejería de Agricultura y Pesca, E.T.S.I. Agrónomos y de Montes, Córdoba. 78 pp.
- PEÑUELAS RUBIRA, J. L. y OCAÑA BUENO, L. (1997). Cultivo de plantas forestales en contenedor, 2.^a Edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.



