

La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la silvicultura y la ecofisiología

R. Serrada Hierro^{1*}, R. M.^a Navarro Cerrillo² y J. Pemán García³

¹ *Departamento de Silvopascicultura. EUIT Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. Ciudad Universitaria, s/n. 28040 Madrid*

² *Departamento de Ingeniería Forestal-Universidad de Córdoba. Apartado de correos 3048 (14080 Córdoba-España)*

³ *Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal. Universidad de Lleida*

Resumen

El proceso de repoblación forestal es bastante complejo, ya que implica numerosos factores, cada uno de los cuales debe ser comprendido de forma individual, y conocidas sus relaciones con otros factores con los cuales interactúa. La forma de evaluar de manera integral el resultado de estos factores es mediante el control de calidad. La respuesta de la planta en una estación particular va a depender de la capacidad de respuesta a unas condiciones ambientales limitantes, y de la forma en como esas condiciones limitan su supervivencia y crecimiento, o bien pueden ser modificadas para mejorar su arraigo.

Las actividades culturales propias de las repoblaciones (ej. procedimiento de preparación, control de la vegetación, cuidados culturales, etc.) van a influir de manera directa en el éxito de la misma. La adecuada ejecución y el control de las mismas van a permitir mejorar el éxito de las repoblaciones, pero también ayudan a identificar las causas de las pérdidas producidas y, por tanto, corregir defectos que condicionan su éxito final.

Palabras clave: Silvicultura, ecofisiología, repoblaciones, control de calidad.

Abstract

Quality in reforestation: an approach from silviculture and ecophysiology

The forest regeneration process is complex because successful regeneration requires combining an understanding of physiological performance and morphological development characteristics of Mediterranean species with proper silvicultural practices. Ultimately, seedling performance on a reforestation site depends on the inherent growth potential of the seedlings and the degree to which field site environment conditions limit or enhance this potential.

Nursery cultural and pre planting silvicultural practices have a strong influence on seedling performance immediately after planting. The effects of these practices on seedling performance need to be understood to make sound forest regeneration decision. The intent is to try and define factors that can enhance as well as limit the development of seedlings on reforestation sites. Seedling performance is examined in relation to possible site limiting environmental conditions and silvicultural practices (e.g. site preparation, vegetation management, pos-planting practices, etc.) that can possibly mitigate these environmental constraints and improve seedling performance.

Key words: Silviculture, ecophysiology, reforestation, quality control.

* Autor para la correspondencia: serrada@forestales.upm.es

Recibido: 11-08-05; Aceptado: 06-09-05.

Introducción

El Diccionario de la Lengua Española define el término calidad como: *propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permitan juzgar su valor*. A su vez, el término valor queda definido como: *grado de utilidad o aptitud de las cosas, para satisfacer las necesidades o proporcionar bienestar o deleite*. En la vigente Ley de Montes, y a los efectos de la misma, se definen los siguientes términos: **repoblación** como *introducción de especies forestales en un terreno mediante siembra o plantación, puede ser forestación o reforestación*; **forestación** como *repoblación, mediante siembra o plantación, de un terreno que era agrícola o estaba dedicado a otros usos no forestales*; **reforestación** como *reintroducción de especies forestales, mediante siembra o plantación, en terrenos que estuvieron poblados forestalmente hasta épocas recientes, pero que quedaron rasos a causa de talas, incendios, vendavales, plagas o enfermedades*.

Hablar de calidad de las repoblaciones forestales implica, por tanto, identificar las propiedades inherentes a las masas forestales artificiales, independientemente del uso anterior del suelo donde se instalan, que permitan juzgar su grado de utilidad o aptitud para satisfacer las necesidades de la sociedad. Es conocido que la sociedad demanda de las masas forestales el suministro de bienes y servicios de modo multifuncional y sostenible.

La oportunidad de tratar este tema se basa, por una parte, en que en todos los campos se ha extendido el concepto y la práctica de comprobar la calidad total, aplicados tanto a productos como a procesos u organizaciones. Por otra parte, los procesos de elaboración del proyecto y ejecución de una repoblación forestal comprenden un número elevado de variables, de muy dispar signo y contenido, que es oportuno tratar de sistematizar y enumerar para comprender la dificultad y el carácter multidisciplinar de la cuestión.

El éxito de una repoblación viene determinado, en primera instancia, por las condiciones de estación y por la capacidad de la planta de vivero de expresar su potencial de crecimiento en unas condiciones ambientales particulares (Grossnickle, 2000). South (2000) indica que los factores que influyen en el establecimiento de una planta en el monte, son, en orden de importancia: las condiciones ambientales del lugar de establecimiento (adecuación de la especie, preparación del terreno y cuidados culturales); el manejo de la planta (planta-

ción), y su morfología y su fisiología (material forestal de reproducción y calidad de la planta), a los que habría que añadir los factores genéticos (Figura 1).

Cada uno de estos factores conlleva multitud de otros implicados e interrelacionados, por lo que el estudio del establecimiento de la planta en el monte debe hacerse en un contexto que considere las posibles interacciones entre ellos. 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, e indica que una vez plantado, el brinzal debe recuperarse del posible estrés sufrido durante su manejo y establecer un contacto entre sus raíces y el suelo que le permita retomar las funciones vitales de absorción de agua y nutrientes en el nuevo ambiente (Haase y Rose, 1993).

El estudio de la respuesta de la planta y su posterior desarrollo debe hacerse en un contexto que considere las posibles interacciones entre todos los factores implicados (Navarro y Palacios, 2004).

Lo anterior llevó 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. Se asume que el final de un estrés de trasplante tiene lugar cuando los atributos fisiológicos retornan a un nivel «normal». El estrés de plantación puede definirse a través del estrés hídrico que limita los procesos fisiológicos principales, aunque puede no causar la muerte de forma inmediata (Grossnickle, 2000), de forma que la planta se ha mostrado capaz de ajustar su morfología y fisiología, lo que supone un importante paso en su establecimiento en campo. Sin embargo, en ambientes con una acusada sequía estival, como el mediterráneo, esta fase, y no la inmediatamente posterior al trasplante, es la que normalmente provoca una mayor mortalidad (Maestre *et al.*, 2003a). 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. 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.

El objetivo de este trabajo de revisión es repasar los factores que, en los procesos de diseño o elaboración del proyecto y ejecución de una repoblación forestal en

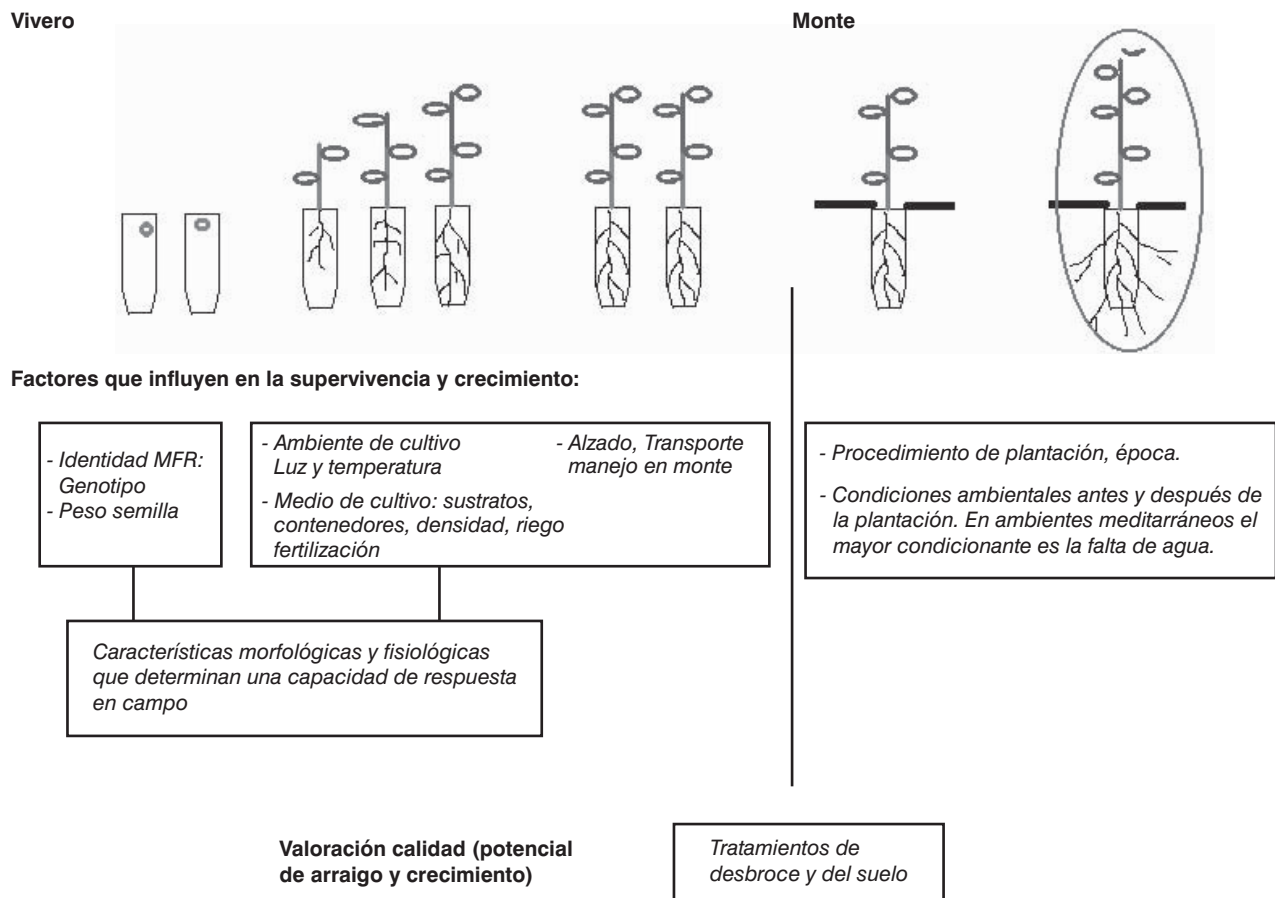


Figura 1. Fases, en el desarrollo y manejo de la planta hasta su plantación en el monte, que influyen en el arraigo y crecimiento.

ámbito mediterráneo, pueden tener una mayor importancia en el éxito de la misma. Esta enumeración puede servir de base para fijar líneas de I+D+i en este campo, en la medida en que se puedan detectar carencias.

El proceso de control de calidad en repoblaciones

Rodales de repoblación y proceso de elección de especies

La elaboración del proyecto de repoblación supone una serie de decisiones estratégicas que configuran dicho proyecto de obra, una vez que se haya realizado un detallado estudio del medio físico, en particular un adecuado estudio edafológico, y una determinación clara de los objetivos que se pretenden cumplir con el proyecto (Figura 2).

División en rodales de repoblación

El estudio de la repoblación en un monte requiere, como primera medida, la división de esta amplia superficie en rodales de repoblación. Un rodal de repoblación es una superficie en que las condiciones climáticas y edáficas, ayudando a su definición la fisiografía, con vegetación homogénea, y que es susceptible de tener un único objetivo preferente para su repoblación y que tendrá una única técnica de ejecución. La base científica para realizar este estudio se encuentra en la Ecología Forestal, y formando parte ineludible de este estudio debe aparecer un completo estudio del medio físico y biótico, sin que falte el estudio edáfico, de todos y cada uno de los rodales.

En una primera fase, este estudio permite indicar los rodales que *no pueden ser repoblados* por algún motivo estacional. ¿Hay mayor error que pretender instalar un bosque donde es imposible su existencia o desarrollo?



Figura 2. Esquema para la toma de decisiones estratégicas en la elaboración del proyecto de repoblación.

¿Es posible identificar esta imposibilidad, sin datos analíticos, de variables excluyentes del medio como pueden ser la salinidad o impermeabilidad edáficas? La segunda fase de este estudio debe permitir identificar aquellos rodales en los que *no se debe repoblar* por algún motivo: existen singularidades de variada naturaleza (geológica, edáfica, botánica, faunística, paisajística, cultural, social, arqueológica,...); la vegetación presente cumple un fin social que es perfectamente sostenible con tratamientos selvícolas; o el cese de actividades anticulturales y la dinámica natural de colonización permiten, con la ayuda de tratamientos de mejora, esperar una recuperación a corto plazo. La tercera y última fase es identificar los rodales susceptibles de ser repoblados, contestando así a la doble pregunta: ¿dónde y cuánto repoblar?, que es la base para abordar el segundo atributo. Cabe preguntarse en este momento si la Ciencia Forestal y sus disciplinas auxiliares presentan lagunas o deficiencias en este sentido. La respuesta es negativa, el desarrollo de los estudios en Climatología y Meteorología; Geología y Edafología; Botánica y Corología, se pueden considerar como suficientes para este fin, así como las metodologías de información geográfica, fotointerpretación y elaboración de cartografías temáti-

cas. Se ha superado con creces lo expuesto por Cotta (1816) para no identificar con precisión las estaciones forestales: «*Tres causas explican principalmente el gran atraso que ha todavía en materia de montes: ... 2.ª La gran diversidad de localidades en que crece el monte...*»

El apeo de rodales de repoblación requiere, por tanto, de algún sistema que permita integrar información de carácter ecológico a diferentes escalas, interpretándola posteriormente en términos de objetivos y ejecución de repoblación forestal. Los antecedentes que pueden encontrarse en España sobre el estudio de estaciones forestales aplicados a la repoblación forestal pueden clasificarse en:

1. *Estudios de autoecología paramétrica*, que definen de una manera cuantitativa los hábitats o biotopos de las principales especies arbóreas españolas, basándose en una serie de 32 parámetros de carácter climático, fisiográfico y edáfico. Como aplicación de esta metodología para la identificación de especies compatibles en repoblaciones forestales se ha desarrollado el programa informático PINARES (Gandullo y Sánchez Palomares, 1994).

2. *Comarcalizaciones forestales*, dirigidas fundamentalmente a los programas de forestación de tierras agrarias. Entre los diferentes trabajos existentes cabe destacar los realizados en Castilla y León (Junta de Castilla y León, 1993), Andalucía (Navarro y Martínez, 1995). Todos estos estudios parten del concepto de estación forestal, realizando una aproximación territorial basada en la caracterización de zonas por observaciones de carácter litológico, fisiográfico y de vegetación (Castilla y León, y Andalucía) ó de vegetación estrictamente (Extremadura).

3. *Clasificaciones biogeoclimáticas*, como la Clasificación Biogeoclimática Territorial de España (CLATERES), que pretende aportar un modelo del territorio español basado en la consideración integral de múltiples características físicas, para facilitar la estratificación del muestreo en trabajos de evaluación e investigación forestal (Elena Roselló, 1997). Se trata de una clasificación multifactorial en la que el territorio se zonifica en base a la variación conjunta de un gran número de variables climáticas, litológicas y fisiográficas, que permiten determinar recintos ecológicamente homogéneos desde el punto de vista físico y que permitió el desarrollo de herramientas informáticas de apoyo a la identificación de especies compatibles con el rodal como el programa SIGREFOR (Castejón *et al.*, 1998).

En los últimos años los mayores progresos en los estudios aplicados al apeo de rodales de repoblación proceden de la aplicación de programas de análisis territorial (Sistemas de Información Geográfica, SIG), a partir de los conceptos clásicos de rodal de repoblación, lo que facilita notablemente la descripción y caracterización de la calidad de estación para repoblaciones forestales (Navarro y Senra, 1999) (Tabla 1) y la interpretación de la heterogeneidad espacial de la vegetación (Tongway *et al.*, 2004). La variabilidad espacial da lugar a cambios en la cobertura de la vegetación, tanto en su composición específica como en el grado de cobertura y biomasa acumulada, que contribuyen al funcionamiento de los ecosistemas, que determinan los objetivos y tipo de repoblación (Ruiz de la Torre, 1990). El resultado de estos dos conceptos supone entender los rodales de repoblación como unidades de paisaje heterogéneo que interactúan entre ellas, siendo funcionales a varias escalas.

Los trabajos de repoblación forestal orientados a la restauración deben incorporar en el futuro estas nuevas herramientas, así como los conceptos de estación y rodal de repoblación en escalas de detalle. En algunas ocasiones los proyectos de repoblación forestal han tenido un alto grado de homogeneidad, aplicando diseños y técnicas de restauración que simplificaban al máximo

Tabla 1. Fuentes de información disponibles en función de los distintos niveles jerárquicos o de escala para la planificación de la repoblación forestal en España (Navarro y Senra, 1999)

Nivel Jerárquico	Contexto Ecológico	Fuentes de Información	Escala
<i>Ecorregión</i>	Bioclimático	<i>Atlas Fitoclimático de España</i> (ALLUÉ, 1990)	1:1.000.000
		<i>CLATERES</i> (ELENA ROSELLÓ <i>et al.</i> 1990-93)	1:1.000.000
		<i>Caracterizaciones Agroclimáticas Provinciales</i> (MAPA) Estaciones meteorológicas del I.N.M.	
<i>Cuenca</i>	Geomorfológico	Mapa Geológico (I.G.M.)	1:50.000
		Mapas topográficos provinciales (I.G.N.)	1:50.000
	Vegetación Potencial	<i>Mapa de Series de Vegetación de España</i> (RIVAS, 1987) <i>Mapa Forestal de España</i> (RUIZ DE LA TORRE, 1990)	1:400.000
<i>Estación</i>	Vegetación Actual	<i>Mapa Forestal de España</i> (RUIZ DE LA TORRE, 1990)	1:50.000
	Edáfico	Trabajo de campo	1:10.000
		<i>Factores edáficos importantes para la Repoblación Forestal</i> (BONFILS, 1978)	1:10.000
	Topográfico	Trabajo de campo	1:10.000
Mapas topográficos (I.G.N.)		1:10.000	

la ejecución. Sin embargo, la heterogeneidad espacial debe ser considerada un elemento que permita aumentar la calidad ambiental de la repoblación (Tongway *et al.*, 2004), conservando una adecuada relación entre la escala del estudio del medio físico y la viabilidad técnica de los trabajos de restauración. Es evidente, no obstante, la dificultad que esto supone, por lo que se debe evitar pasar de una excesiva simplificación a una complejidad inoperante.

Propuesta de un objetivo preferente para la repoblación forestal de un rodal

Cuando en la práctica selvícola se aborda la propuesta de tratamiento de una masa forestal existente, lo primero a conocer, además del estado estático y del análisis dinámico del conjunto del rodal, es la función preferente que debe cumplir dicha masa. Es lógico, pues la composición específica y la estructura deberán ser las que maximicen la función propuesta y a las que servirá el tratamiento, garantizando en todo caso la sostenibilidad y dando oportunidad a otras posibles funciones (multifuncionalidad, no exclusivismo). Del mismo modo, para una masa que no existe, lo primero a abordar antes de pensar en su restauración, es proponer para que ha de servir preferentemente. La elección de objetivos se encuentra en un doble ámbito: estudios acerca de la calidad y condición (estados erosivos, dinámica evolutiva, etc.) del rodal a repoblar, por una parte; y análisis de demandas sociales establecidas a través de instrumentos de planificación forestal.

¿Hay mayor indeterminación y ausencia de criterios de calidad sobre lo actuado si no se sabe para qué se hacen las cosas? ¿Es posible, a posteriori, comprobar la eficacia de lo realizado si no se dice o conoce el objetivo? Se contesta, fijando la función preferente, a la pregunta: ¿para qué repoblar?, que es la respuesta complementaria a la del primer atributo. Algunos pasados errores puntuales y reales de ejecución en este aspecto han contribuido a la leyenda negra de la repoblación forestal en España, junto con muy frecuentes y falsas interpretaciones de la actividad repobladora realizada.

Los objetivos preferentes para las repoblaciones forestales en España pueden, y deben, ser tan variados como las funciones que las masas forestales actuales prestan. Sin embargo, los más trascendentes por extensión territorial y por importancia social y económica en España, son: la protección hidrológica, que a la larga es

una función de producción directa de una de las materias primas más importantes para la sociedad, el agua en cantidad y calidad adecuadas; y la producción de madera, de la que somos deficitarios en un tercio del consumo.

Hoy en día, los objetivos como la mejora de la calidad del paisaje, la restauración del hábitat de diferentes especies sensibles o la fijación de carbono atmosférico, han adquirido gran protagonismo, aunque hay que tener en cuenta que son objetivos que habitualmente tiene cualquier repoblación aunque su objetivo preferente sea otro. A efectos de valorar la calidad de estación a través de factores ecológicos (climáticos y/o edáficos), y poder, en su caso, proponer como función preferente la productora de madera, se recomiendan la propuestas de Gandullo y Serrada (1977), la aplicación de los diagramas bioclimáticos (Montero de Burgos y González Rebollar, 1974; García Salmerón, 1980), las ecuaciones de pronóstico de calidad por especies propuestas por Gandullo y Sánchez Palomares (1994) o trabajos más recientes como los de Bravo-Oviedo y Montero (2005).

A efectos de valorar la necesidad y urgencia de una repoblación cuyo objetivo deba ser la protección y regulación hidrológico-forestal, el proyectista tiene a su disposición, tras comprobar sobre el terreno los fenómenos erosivos, todo un amplio cuerpo de doctrina sobre hidrología forestal (López Cadenas, 2003).

Identificación de especies, incluso ecotipos, compatibles con la estación

Se trata ahora de realizar un ejercicio de ecología forestal aplicada. Antes de realizar la elección definitiva hay que contar con la lista de especies que pueden vivir y desarrollarse con normalidad en el rodal a repoblar.

Para realizar este ejercicio con suficiente garantía no basta la intuición, hay que disponer de dos informaciones: las características ecológicas de rodal definido, lo que debe haber suministrado el estudio del medio físico; y el conocimiento suficiente de la autoecología de las especies forestales. En relación con las bases científicas para este punto, se ha producido un notable desarrollo en los últimos años. Algunas obras citadas al tratar la división de rodales, usadas frecuentemente en el contexto forestal español, sirven simultáneamente a este propósito: Gandullo y Sánchez Palomares (1994), Elena Roselló (1997); o Sánchez Palomares *et al.* (2004). Sin embargo, dado lo complejo y lento de estos

trabajos, todavía quedan especies forestales importantes pendientes de ver publicados sus estudios sobre autoecología. Por otro lado, la situación actual de un previsible cambio en las condiciones climáticas, hace necesario incorporar esta nueva situación en los estudios de autoecología. Se apunta aquí un línea iniciada y no concluida de trabajo en I+D+i.

Elección de la composición específica de la repoblación

Sin un suficiente acierto en el punto anterior y un conocimiento de la función preferente de la nueva masa no es posible formular la propuesta de composición específica. La masa se compondrá de aquellas especies que mejor cumplan la función preferente asignada, pensando en su desarrollo y espesura a la edad del turno y en edades intermedias, contando con sus procedimientos de regeneración y resistencia a agentes nocivos externos. Hay que servir a la función preferente y no es correcto pensar en una composición «polivalente» útil para todo, lo que producirá notables sacrificios en la función que justifica la inversión. Se responde a la tercera pregunta básica de la planificación de las repoblaciones: ¿con qué repoblar?, cuestión de gran trascendencia, si se tiene en cuenta que las rectificaciones sobre la composición específica resultan muy complejas de abordar.

Contestar a esta pregunta, en cada uno de los rodales de repoblación identificados, implica resolver, a su vez otras cuestiones. La primera sería: ¿cuál es la especie principal o dominante? Hay especies que tienen un carácter claramente principal o que son dominantes exclusivas en sus representaciones; sin embargo, otras ejercen el papel de especies acompañantes por aparecer subordinadas o intercaladas en las masas que forman las primeras (Ruiz de la Torre, 1981). Un error que debe evitarse es elegir como principal alguna especie que tenga el carácter de acompañante, salvo que la repoblación persiga el enriquecimiento de una masa ya constituida.

Una segunda cuestión a plantear sería: ¿los rodales deben ser monoespecíficos o pluriespecíficos? Esta decisión viene marcada por los objetivos de la repoblación nuevamente. La monoespecificidad de los rodales no está justificada salvo por una finalidad productiva, por lo que si la aptitud del medio lo permite es conveniente la realización de rodales mixtos combinando va-

rias especies principales o una principal con varias subordinadas. Ahora bien, no debemos pretender introducir con una sola intervención en el tiempo todos los componentes de una agrupación vegetal. Hay que hacer una llamada a la capacidad de acogida de las especies, que ha sido base en los modelos de restauración forestal, y a la que hoy se refieren los textos de ecología con el concepto de facilitación (Breshears *et al.*, 1998; Maestre *et al.*, 2003b). Además de todo ello, hay que tener presente que la ejecución de una repoblación con un número excesivo de especies es claramente inabordable, exigiendo un replanteo de los módulos de plantación.

Por último, ¿cómo distribuir las especies, en el caso de rodales pluriespecíficos? La realización de masas mixtas exige valorar la diferencia de los caracteres culturales, como el temperamento o el crecimiento, de las diferentes especies que la integran en una misma estación, lo cual ha sido poco estudiado por la Selvicultura. En la medida que estos caracteres difieran, la combinación deberá variar de pie a pie, cuando sean similares, a una combinación por golpes o bosquetes en el caso de que sean muy diferentes, creando así una masa mixta en mosaico (lo cual puede reconsiderar la definición de los rodales), muy característica en los ambientes mediterráneos.

Una vez seleccionados los taxones a emplear debe quedar claro que la decisión de elección de especies, no es suficiente. Hay que llevar esta decisión un paso más adelante y elegir la categoría del Material Forestal de Reproducción (MFR). Para llevar a cabo esta elección, nuevamente hay que tener presente el objetivo preferente propuesto. En concreto para facilitar la elección del MFR se dispone ya de trabajos técnicos que permiten realizar recomendaciones para la selección más apropiada del mismo, partiendo de las llamadas Regiones de Identificación y Utilización del MFR (RIUs) y las homologaciones climáticas establecidas de estas regiones entre sí mismas y entre las regiones de procedencia de las diferentes especies (García del Barrio, 2001).

Diseño de la repoblación

Decisión sobre la densidad y marco iniciales

Una vez conocida la función preferente y la composición específica de la nueva masa es preciso proponer

la densidad y marco iniciales, última y muy trascendente decisión de la planificación en la repoblación forestal. En general, la silvicultura ha propuesto un marco lo más homogéneo o regular posible (Serrada, 2000), aunque en la actualidad, y en función del tipo y objetivo de la repoblación este criterio puede ser reconsiderado.

La trascendencia de esta decisión se deriva de lo siguiente: toda la evolución futura de la espesura de la masa, y sus correspondientes tratamientos de mejora, dependen de esta decisión. La función preferente, al final del turno, se consigue si la espesura inicial resultó ser la adecuada; la geometría de las labores de desbroce y de preparación del suelo dependen del marco adoptado; los costos de ejecución y el mantenimiento de la masa dependen de la densidad y del marco inicial.

Se trata de considerar, con equilibrio y justificación suficiente, los criterios selvícolas, que tienden a orientar hacia altas densidades, para lograr espesuras moldeables con los tratamientos, con los objetivos propuestos para la masa que pueden recomendar reducir las densidades en determinadas circunstancias (por ejemplo, forestación de tierras agrarias). Es muy importante una adecuada concordancia entre el objetivo repoblador y la densidad para no condenar a una masa a desarrollarse con una densidad insuficiente durante toda su vida, sabiendo que este error no tiene reparación fácil. La densidad inicial y la función preferente deben ser

concordantes y no es razonable, al igual que con la composición específica, plantear soluciones «polivalentes». La herramienta técnico-científica para decidir en este punto la suministra el conocimiento de la Silvicultura para el fin preferente propuesto (Serrada, 2004). En términos generales, hay suficiente información como para orientar la decisión en cada caso, aunque el estudio de masas mixtas pueden aportar información las densidades, los marcos y la forma de mezcla más conveniente en repoblaciones mixtas.

Establecimiento

Método de repoblación

Por motivos de eficacia para asegurar la supervivencia y la regularidad en la repoblación, y por motivos de logística y, frecuentemente, de economía, el método de repoblación ordinario y habitual es la plantación. Sin embargo, en algunos casos muy concretos puede resultar indicado repoblar por siembra, como es el caso de los lugares de difícil acceso, cuando se persiguen elevadas densidades o cuando la plantación no está recomendada. Merece la pena detenerse en el último de ellos, al que correspondería el uso de la encina en ambientes xéricos (Figura 3 y Figura 4). Aunque a nivel de

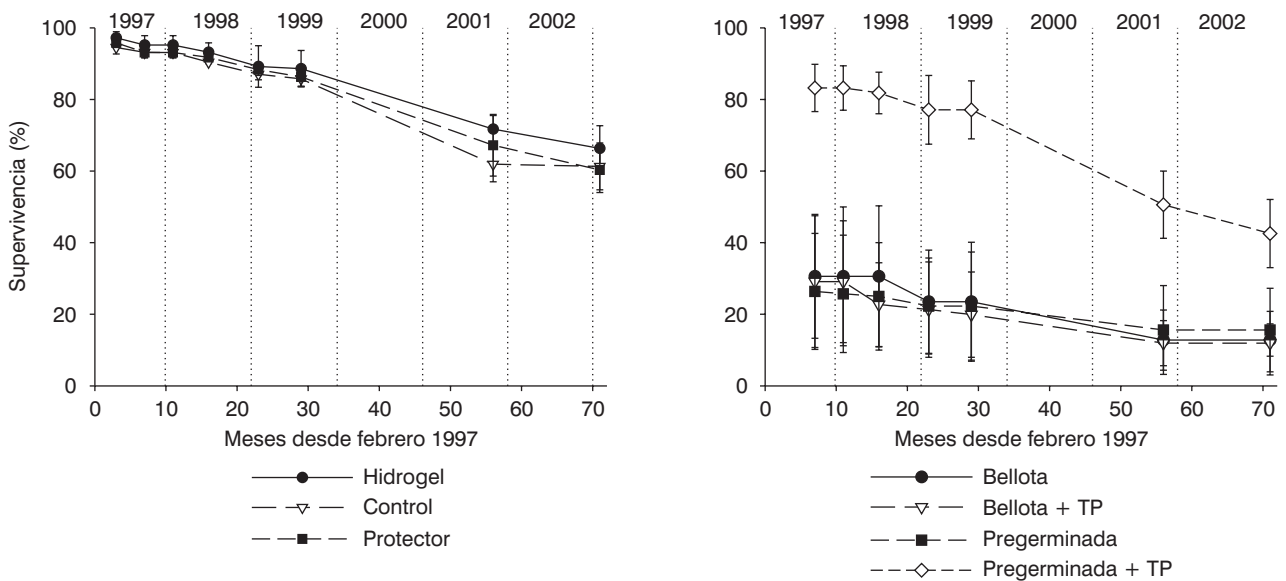


Figura 3. Evolución del porcentaje de supervivencia (y germinación en el caso de las bellotas) de los individuos plantados y sembrados (media y error típico) (Sevá *et al.*, 2004).

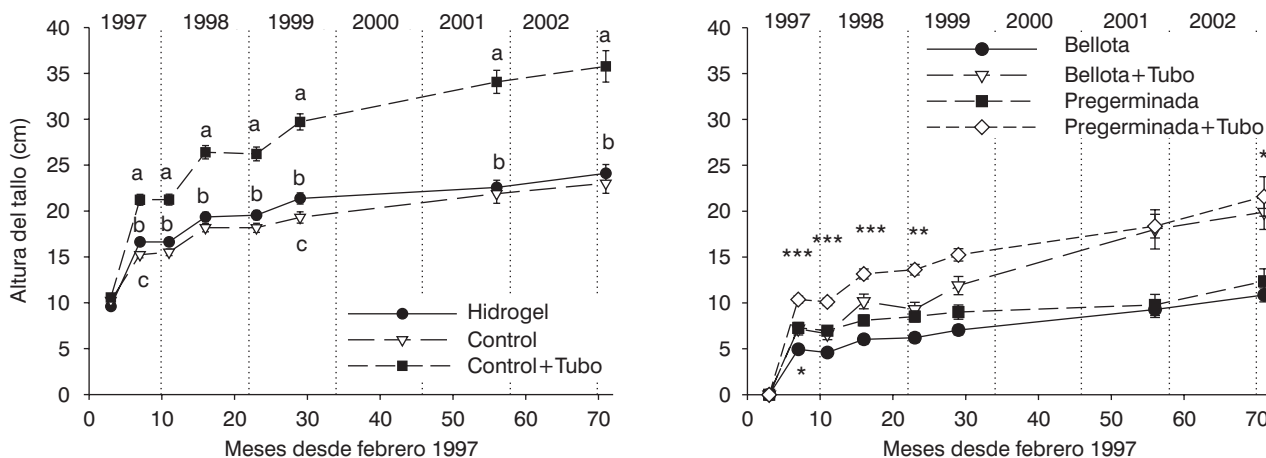


Figura 4. Evolución de la altura total (media y error típico) de los individuos en función de diferentes tratamientos de siembra. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) (Sevá *et al.*, 2004).

supervivencia los resultados son contradictorios, si se observa un notable descenso del crecimiento en las plantas de encina procedentes de plantación. La razón puede encontrarse en la alteración en el sistema radicular que producen los contenedores forestales reduciendo la longitud de la raíz pivotante a menos de 20 cm, circunstancia que podría limitar enormemente su arraigo y crecimiento en el monte, si la planta no es capaz de recomponer su sistema axonoformo con relativa rapidez antes del período estival (Peman *et al.*, 2005).

Otro caso de posible empleo de las siembras se puede concretar cuando, como tras un incendio, es muy urgente instalar y favorecer a la población arbórea en áreas extensas, especialmente con especies como pino piñonero, rodeno o carrasco (Castel y Castelló, 1996, Domínguez *et al.*, 2000).

Tratamiento previo de la vegetación

También se puede describir este punto de la ejecución como tratamiento de la vegetación preexistente, pues no siempre serán formaciones de matorral a las que es necesario y conveniente sustituir. Sin embargo, casi siempre en España se repuebla sobre matorrales heliófilos y pirófitos.

La justificación de aplicar este tratamiento, que pudiera no ser necesario, está en la valoración del grado de competencia actual y futura que el matorral presente, favorecido por el acotado al pastoreo y por la preparación del suelo, puede implicar. No existen recetas ni

recomendaciones generales en este sentido. En cada caso hay que diagnosticar lo adecuado, es sastrería a medida. Comprobada la necesidad del desbroce, debe ser definido en función de sus cuatro atributos: extensión superficial; selectividad respecto de algunas especies; forma de afectar al matorral (roza o arranque); y modo de ejecución (Serrada, 2000). En cada atributo hay que razonar, y acertar, de acuerdo con las condiciones particulares del rodal.

Por supuesto, el desbroce resultará concordante con la preparación del suelo y deberá responder a las necesidades de reducción de competencia en el tiempo, por lo que hay que tener presente el efecto temporal que el mismo producirá en la comunidad vegetal. El desbroce diseñado no reforzará o inducirá fenómenos erosivos y permitirá que se incorporen a la nueva masa ejemplares de especies preexistentes de interés.

Los desbroces en fajas, según curvas de nivel, resultan muy aconsejables en muchos casos para evitar erosión, favorecer el desarrollo de la masa introducida, mantener presencia suficiente de vegetación inicial a efectos de alimentación y cobijo de la fauna, entre otros motivos, aunque presentan influencia paisajística negativa transitoria y reversible.

La correcta decisión sobre el procedimiento de desbroce se basa en variadas informaciones, con variados orígenes: mecanismos de reproducción de los matorrales (botánica); efectos sobre los suelos (edafología); causas e intensidad de la competencia (ecología forestal); costes y rendimientos (mecanización) (Serrada, 2000).

Preparación del suelo

Esta actividad siempre es necesaria en la repoblación forestal, aunque su justificación resultara ser, únicamente, acoger la semilla o la planta. Sin embargo, existe una justificación casi constante en las repoblaciones españolas que es la posibilidad y necesidad de mejorar alguna propiedad edáfica de tipo físico, que mejore la calidad del rodal y posibilite el arraigo de las nuevas plantas y su desarrollo posterior.

En este sentido, en ámbitos semiáridos, aumentar la disponibilidad hídrica para la planta, es uno de los principales objetivos de la preparación, circunstancia por la cual las preparaciones deben ser intensas en estos ambientes, respondiendo al famoso principio de de Demontzeny (Jordana 1896): de que cuanto «*más seco sea el clima y más expuesto esté el terreno a desecarse por su propia naturaleza ó por su exposición, tanto más profunda debe ser la labor; único medio de combatir eficazmente los efectos de la sequía*».

Si el rodal, independientemente del objetivo preferente, tiene que ser repoblado pues se comprueba que la dinámica natural no permite que se instalen los árboles, hay que pensar que la causa de este impedimento se encuentre, en la mayor parte de los casos, en el suelo. Por tanto, los pasos incluyen un estudio edáfico completo del rodal; la identificación de disfunciones y las posibilidades de mejora; la propuesta de objetivos para la pre-

paración del suelo; y la decisión sobre el procedimiento adecuado. Este procedimiento queda definido en función de sus cuatro atributos: la extensión superficial; la acción sobre el perfil, con o sin inversión de horizontes; el modo de ejecución; y la profundidad (Serrada, 2000). En cada atributo hay que razonar, y acertar, de acuerdo con las condiciones particulares del rodal. La preparación del suelo diseñada cumplirá, en la medida de lo posible, los objetivos de mejora de la profundidad efectiva del suelo, la mejora de la permeabilidad y la anulación de escorrentías, y no resultará inconveniente respecto de ninguna de sus propiedades. La preparación del suelo influye en la supervivencia de las plantas instaladas, en particular en climas mediterráneos (Querejeta *et al.*, 2001, Castillo *et al.*, 2001) (Figura 5). 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.

El bajo rendimiento y eficacia de las preparaciones manuales, aparte de su imposibilidad para superar importantes defectos edáficos, descartan prácticamente estas propuestas en la actualidad en España (Peman y Navarro, 1998; Sevá *et al.*, 2004). Las preparaciones superficiales, como los ahoyados manuales remueven poco volumen de suelo y ello puede obstaculizar el desarrollo radical (Serrada, 2000). Por otra parte, algunos autores (Bocio *et al.*, 2001) señalan que el laboreo agrícola remueve una superficie muy elevada de terre-

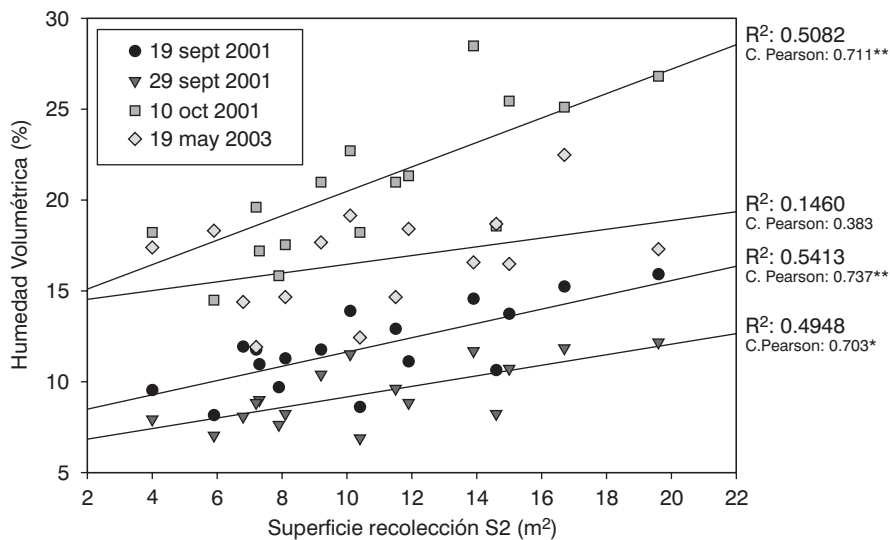


Figura 5. Relación entre los valores de humedad edáfica (primeros 20 cm) en una banqueta con microcuencia y la superficie de recolección (S2) para los muestreos del primer otoño tras la plantación y 25 meses después de ésta (Fuentes *et al.*, 2004).

no, lo que provocaría un aumento de la evaporación del agua del suelo, favoreciendo su desecación en un intervalo muy corto de tiempo. Por otra parte, el desarrollo reciente de mecanizaciones de gran eficacia y nulos inconvenientes, como el TTAE y las retroarañas, permiten resolver casos de gran dificultad a costes asumibles.

Las bases técnico-científicas de este campo están en la edafología (Gandullo y Serrada, 1993), cuyas bases conceptuales y metodologías analíticas permiten resolver con acierto suficiente; en la mecanización, con nuevas aportaciones científicas; y en la hidrología, con el desarrollo de modelos teóricos que permiten estimar la mejora en la disponibilidad hídrica de los diferentes procedimientos de preparación (Martínez de Azagra, 1996) y con ensayos que pretenden la estimación directa de algunos parámetros hidrológicos (Vivar *et al.*, 1994; Serrada *et al.*, 1997; Castillo *et al.*, 2001). Un complemento importante a estos trabajos sería el estudio de la morfología radical como respuesta a diferentes procedimientos de preparación del terreno.

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) (Figura 6). 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, parece que la escasa modificación de las variables ambientales que inducen los ahoyados manuales (Peman y Navarro, 1998), y el efecto positivo de las preparaciones de cierta intensidad (Querejeta *et al.*, 2001), influyen positivamente y de forma significativa en la supervivencia.

Elección del tipo de planta

La primera decisión es optar por el tipo de cultivo: a raíz desnuda; o en contenedor. Sobre este tema decide la especie, la estación y la economía, aunque cada vez más se tiende al empleo de planta cultivada en contenedor (Peñuelas y Ocaña, 1996).

La segunda decisión es poner requisitos a los cuatro tipos de calidad de la planta forestal: la genética, la morfológica; la fisiológica; y la biológica, entendido este último concepto en el doble sentido de ausencia de parásitos y presencia de simbioses. Esta decisión es clave, porque ¿cual es la planta ideal? o ¿cuales son los estándares de calidad de planta? Como en todo ser vivo,

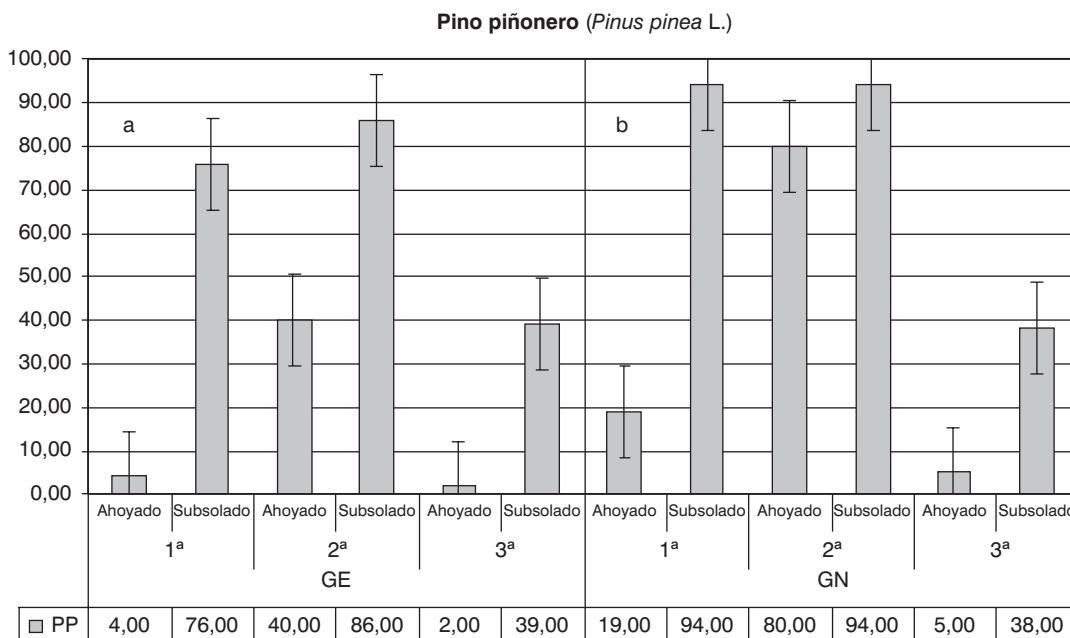


Figura 6. Supervivencia de pino piñonero en función del procedimiento de preparación, lote de planta GE (a) y GR (b), y fecha de plantación (1.^a-noviembre, 2.^a-enero y 3.^a-marzo). Los valores representan la media \pm error estándar (Navarro y Palacios, 2004).

es difícil determinar mediante un índice su grado de calidad o bondad, ya que la calidad de la planta forestal no es un concepto absoluto, producto de unos atributos determinados, sino que es relativo y se valora por el grado con que la planta cumple los objetivos de su utilización. Por tanto, la calidad es un concepto variable con el uso, por ejemplo en función de las características de la estación a repoblar, y con el usuario, necesidades y objetivos de la repoblación (Navarro y Peman, 1997a). El propósito de cualquier lote de planta cultivado en vivero y destinado a repoblación es responder satisfactoriamente al establecimiento. 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 (Grossnickle, 2000), y que van a manifestarse a través de su capacidad para superar el estrés de plantación y crecer aprovechando todo el potencial que ofrece una estación. Sobre esta idea tan sencilla de adecuación al uso se ha desarrollado el concepto de calidad de planta durante las últimas décadas (Mattsson, 1997).

Teniendo en cuenta el carácter relativo del concepto de calidad y el hecho de que una multitud de características morfológicas y fisiológicas de la planta influyen en el potencial de arraigo, supervivencia y crecimiento, se comprende la dificultad de establecer los estándares de calidad de la planta forestal. Aunque sería deseable contar con un único test para evaluar la calidad de un lote de planta, el viverismo actual y la investigación no parecen capaces de encontrar ese atributo (Puttonen, 1997). Los parámetros morfológicos no predicen sufi-

cientemente la capacidad de un lote de planta de sobrevivir y crecer en una estación particular (Mexal y Landis, 1990), pero, por otro lado, los atributos fisiológicos tampoco tienen la capacidad individualmente de predecir dicha respuesta (Lavander, 1988). Por otro lado, las condiciones en que se produce la planta en la mayor parte de los viveros, unido a la dificultad de muchos de los ensayos de calidad, hace que deban reconsiderarse los sistemas y atributos de calidad propuestos (Puttonen, 1997). Esta situación ha llevado a algunos autores a proponer, en lugar de parámetros con valores óptimos o rangos, el desarrollo de *buenas prácticas* de vivero que eviten unas características morfológicas o fisiológicas de la planta claramente inadecuadas en el momento de su establecimiento (Cortina *et al.*, 2005).

Sobre este campo la investigación de los últimos años en España ha sido de una gran amplitud y eficacia. Se han resuelto notables problemas, y se sigue trabajando sobre procedimientos y procesos de cultivo, sobre atributos de calidad y sobre técnicas de cultivo para mejorar la morfología y el estado fisiológico de la planta de vivero (Villar-Salvador, 2003) (Figura 7). La investigación realizada con especies mediterráneas han experimentado un importante impulso en los últimos años (Villar-Salvador, 2003, Cortina *et al.*, 2005).

La tercera cuestión es mantener una adecuada manipulación desde el vivero al rodal, proceso que muchas veces es poco vigilado y puede ser origen de diferentes causas de estrés en la planta (Stjernberg, 1997; McKay, 1997). Una vez la planta ha sufrido un estrés severo durante el manejo previo a la plantación, la capacidad de

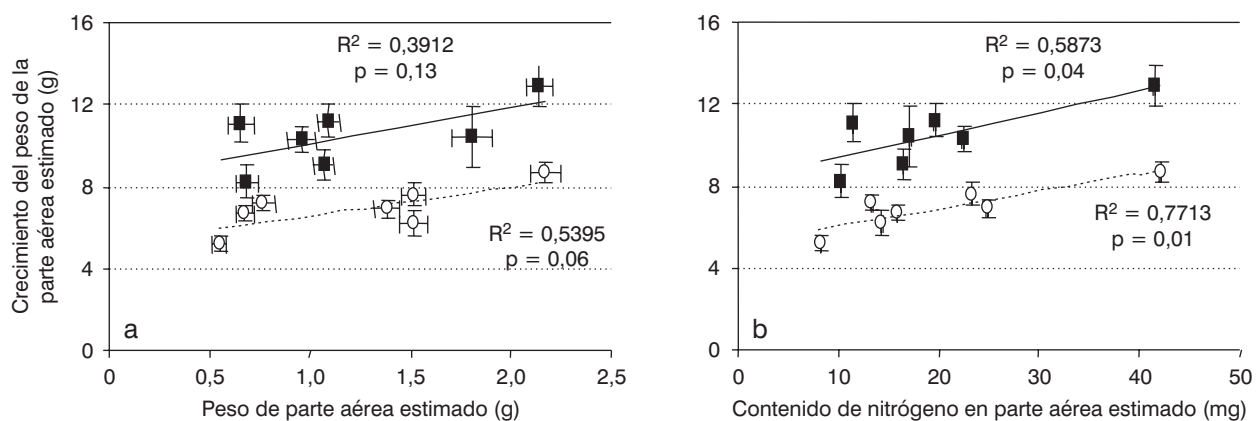


Figura 7. Relación entre los valores medios de biomasa aérea para diferentes lotes de *Pinus halepensis* durante dos años y a) el peso de la parte aérea antes de plantar estimado y b) el contenido en nitrógeno antes de plantar estimado (Puertolas *et al.*, 2003).

supervivencia se ve notablemente limitada (Tabbush, 1987). Los errores en este punto se manifiestan, muy frecuentemente, en el fracaso de la repoblación por causa de una alta mortalidad inicial. Sin embargo, también se manifiestan en inadecuado desarrollo por inadaptación de la calidad interior de la planta al rodal.

Plantación

Esta tercera y definitiva fase de la ejecución de la repoblación concluye con la instalación de la masa artificial. Habiendo tratado lo relativo a la planta en el punto anterior, queda pendiente analizar la época y el procedimiento de plantación.

La *época o campaña* de plantación debe ser fijada atendiendo al clima del lugar, marcando un inicio tras la paralización vegetativa o, en su caso, tras superar intensas heladas invernales si existen, y un final antes de la recuperación de la actividad. 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 durante el periodo noviembre-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, en particular del procedimiento de preparación (Navarro y Palacios, 2004). Los resultados 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, se extiende desde primeros de noviembre a primeros de marzo en condiciones mediterráneas. La ausencia de intensas heladas invernales y la sequía primaveral de estos climas explican el proceso.

Cuidados culturales posteriores al establecimiento

Una repoblación requiere de cuidados culturales posteriores, entre los cuales pueden considerarse como más relevantes en el éxito de la repoblación la reposición de marras, la instalación de protectores, el riego, las binas y escardas, el control de la vegetación y el acotamiento al pastoreo (Tabla 2).

La reposición de marras

El estudio de las causas de marras es un aspecto que cada vez tiene más importancia en el control de calidad de las repoblaciones (Gómez y Elena Rosselló, 1997),

Tabla 2. Resumen de los criterios de valoración de una buena actuación en la toma de decisiones de un proyecto de repoblación

Decisiones estratégicas para el proyecto de repoblación	Criterios de valoración de la calidad
<i>División en rodales de repoblación</i>	Estudio fisiográfico, climático y edáfico con interpretación de sus resultados analíticos. Estudio de la vegetación actual.
<i>Propuesta de un objetivo preferente para la repoblación forestal de un rodal</i>	Planificación forestal del entorno. Estudios de calidad de estación y de estados erosivos. Formulación de objetivos concretos, manteniendo la idea de multifuncionalidad.
<i>Identificación de especies, incluso ecotipos, compatibles con la estación</i>	Estudio climático. Estudio edáfico e interpretación de resultados analíticos. Conocimiento suficiente de la autoecología de las especies forestales.
<i>Elección de la composición específica de la repoblación</i>	Evolución de la composición, según tratamientos, hasta el turno y en etapas intermedias, Selvicultura. Definición de los porcentajes de mezcla y del modelo de distribución en masas mixtas. Diferenciación entre especies con carácter de principal o dominante y de las acompañantes o subordinadas. Definición del origen y procedencia de MFR.

Decisiones estratégicas para el proyecto de repoblación	Criterios de valoración de la calidad
<i>Densidad y marco iniciales</i>	Atender, con preferencia, a criterios selvícolas. Espesura suficiente al servicio de la diversidad genética.
<i>Método de repoblación</i>	Comprobar la oportunidad de ambos métodos. En caso de elegir la siembra, definir protección por la predación de la semilla.
<i>Desbroce</i>	Justificación de que es necesario. Definición según extensión, selectividad, modo de ejecución y forma de afectar al matorral.
<i>Preparación del suelo</i>	Estudio edafológico completo. Definición de objetivos para esta tarea. Definición según extensión, acción sobre el perfil, modo de ejecución y profundidad. En ambientes mediterráneos valorar el efecto hidrológico.
<i>Elección del tipo de planta</i>	Técnica de cultivo: raíz desnuda o envase. Calidad: genética; morfológica; fisiológica; y biológica. Definir actuaciones para el mantenimiento de la calidad en la manipulación.
<i>Plantación</i>	Determinar campaña y controlar condiciones temporales de ejecución. Ejecución manual: atender a rectitud de raíces y profundidad del cuello de la raíz. Procedimiento mecanizado: nunca con impermeabilidad y pedregosidad en horizonte superior.
<i>Reposición de marras</i>	Fijar porcentaje admisible. Inventariar por separado marras con y sin crecimiento en altura. No reponer exactamente donde estaba la planta. No reponer pasado un plazo tal que convierta a las reposiciones en pies dominados.
<i>Instalación de protectores</i>	Justificar en todo caso su necesidad. Elección del tipo adecuado (mallas cinegéticas, mallas de sombreo, tubos invernadero). Determinar las características del material (altura, color, sección, perforaciones, etc...). Retirar en plazo adecuado.
<i>Riegos</i>	Aplicación de riegos de establecimiento justificada. Riegos de mantenimiento en época y lugar oportunos.
<i>Escardas, binas y desbroces</i>	Ejecución en casos necesarios. Reducción al mínimo de los gradeos.
<i>Podas de guiado</i>	Justificar objetivos y eficacia en la morfología de las plantas.
<i>Acotado al pastoreo</i>	Normas e instalaciones eficaces.
<i>Tratamientos de mejora en desarrollo</i>	Prevención de incendios. Claras, desbroces y podas en tiempo y con modo oportunos.

aunque el análisis de las causas a escala regional es complejo (Alloza y Vallejo, 1996).

Una vez analizada las causas, o en muchas ocasiones sin ello, la reposición de marras estará bien definida cuando se fija un porcentaje admisible de planta perdida en cada caso, que será función de la densidad real en relación con la densidad ideal; se realiza un inventario que considere por separado marras con y sin crecimiento en altura y con intensidad de muestreo suficiente

como para detectar partes del rodal con defectos; y se establece un procedimiento claro de las labores necesarias para esta actividad (Serrada, 2000).

Instalación de protectores

La razón más común de su utilización fue inicialmente la protección de la planta frente a los daños oca-

sionados por el ganado doméstico y cinegético, pero tenía otros beneficios que hizo que su uso se extendiera rápidamente, como era la disminución del coste de aplicación de herbicidas, la reducción del tiempo invertido en la inspección y mantenimiento de la repoblación y la disminución del estrés asociado a la plantación (Potter, 1991).

Los tubos invernadero crean un efecto microclimático que, debido a la presencia de un volumen de aire limitado dentro del tubo, inducen un incremento de la temperatura, de la humedad relativa y de la concentración de anhídrido carbónico, unido a una reducción de la radiación y de la acción física (incluso temporal desaparición) del viento (Kjelgren y Rupp, 1997; Berger y Dupraz, 2000; Navarro *et al.*, 2001 a). La consecuencia fisiológica inmediata de estas alteraciones es la variación de las relaciones hídricas y del intercambio gaseoso alrededor de la hoja, creando una compleja interacción entre todos estos factores; aunque parece evidente el efecto positivo sobre el crecimiento (Berger y Dupraz, 2000). No obstante, los estudios microclimáticos realizados hasta la fecha en ámbitos mediterráneos muestran que en el tubo protector se incrementa la demanda hídrica sobre la planta (Nicolás *et al.*, 1997; Navarro *et al.*, 2001 a; Navarro *et al.*, 2005 a). Estas consideraciones han llevado, desde el plano teórico, a predecir efectos negativos del empleo de los tubos protectores en nuestros montes, o a considerar que era conveniente atenuar el estrés hídrico mediante el empleo de tubos perforados. Sin embargo, los resultados encontrados hasta la fecha ponen de manifiesto que, incluso en zonas cálidas y secas, el tubo protector, perforado o no, ha mejorado o ha mantenido los valores de supervivencia en especies de temperamento delicado (Nicolás *et al.*, 1997; Oliet *et al.*, 2000; Carreras *et al.*, 2001; Navarro *et al.*, 2001b, Bellot *et al.*, 2002, Navarro *et al.*, 2005a), siendo menos numerosos los casos en los que los efectos de su empleo hayan sido negativos (Costelo *et al.*, 1996).

La modificación de todas estas variables microclimáticas altera también la morfología de la planta. El efecto más conocido del tubo es el incremento de la planta en altura (Potter, 1991). Por otra parte, el crecimiento en diámetro se comporta, a menudo, de forma diferente al crecimiento en altura; por lo general, el tubo no afecta significativamente a este parámetro, o lo hace negativamente, debido al estímulo de crecimiento en altura (aumento de la esbeltez) y a la ausencia del movimiento de balanceo que sufre la planta sin protección. Una vez la

planta ha superado la altura del tubo, el balanceo del árbol, junto con la insolación directa, tiende a reducir el efecto inicial del tubo sobre la morfología de la planta (Navarro *et al.*, 2001b; Oliet *et al.*, 2000).

Riego en repoblaciones forestales

Esta práctica puede tener su justificación en las fuertes dificultades para el establecimiento de repoblaciones forestales en clima árido y semiárido, en especial por la escasez de precipitaciones. Esto es particularmente grave cuando hay una necesidad perentoria, según el objetivo de la repoblación, de lograr un porcentaje mínimo de éxito, como por ejemplo en protección de infraestructuras, control de procesos erosivos, etc... En estas condiciones se puede proceder al uso de riego. Los riegos son una práctica frecuente en repoblaciones forestales en clima árido (Gupta, 1991), y se ha utilizado en España históricamente en plantaciones en condiciones de fuertes limitaciones hídricas (*repoblaciones con biberón*).

En los últimos años, y en particular dentro de los trabajos de forestación de tierras agrarias, ha aumentado el uso de riego en repoblaciones, bien mediante riego a manta (Navarro y Martínez, 1996), bien mediante micro riego (Sánchez *et al.*, 2004), existiendo ejemplos en la provincia de Cádiz, Granada y Almería. Los resultados obtenidos y otros trabajos en condiciones de clima algo más atenuado, sugieren que el micro riego puede ser una alternativa técnicamente recomendable y económicamente viable (Figura 8), aunque su generalización sigue siendo discutible en repoblaciones forestales.

Control de la vegetación herbácea

Las plantaciones forestales en terrenos agrícolas tienen una distribución espacial y una periodicidad de las labores que 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 *et al.*, 2005b). Los procedimientos básicos que pueden utilizarse para controlar la vegetación en plantaciones forestales son el laboreo (o escardas manuales), la aplicación de herbicidas y el uso de protectores horizontales (*mulchs*). Todos ellos per-

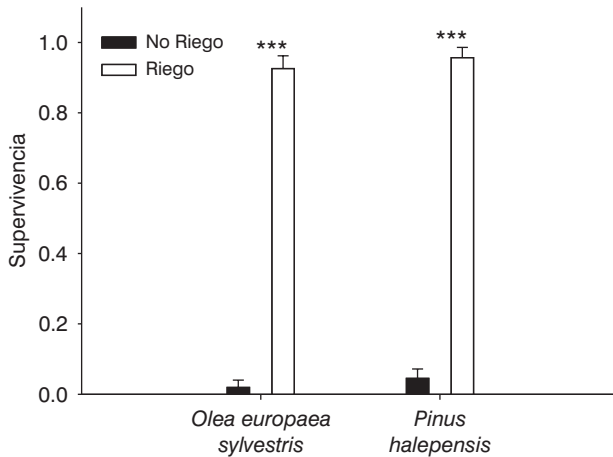


Figura 8. Supervivencia específica (en tanto por uno) de plantones regados (microrriego) (blanco) y los no regados (negro) en una restauración experimental. Los datos representados son medias \pm 1 error estándar. Asteriscos sobre las barras de supervivencia de cada especie indican diferencias altamente significativas entre microrriego y sin él (*t-Test*; *** = $p < 0.001$; $n = 30$) (Sanchez *et al.*, 2004).

miten, en mayor o menor medida, manejar la vegetación seleccionando y favorecer 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. 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 Saavedra., 1997b).

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 España 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; Ortega *et al.*, 1999; Jiménez y Saavedra, 1999; Navarro *et al.*, 2005a).

Finalmente, los protectores horizontales (*mulchs*) representan técnicas alternativas para el establecimiento de repoblaciones. Los *mulchs* pueden producir efectos beneficiosos por la mejora de las condiciones de humedad del suelo, derivados de la reducción de la competencia por vegetación arvense, disminución de las pérdidas de agua del suelo, debido a que restringen la transpiración vegetal y la evaporación atmosférica, así como una

regulación de la temperatura del suelo (Gupta, 1991). Sin embargo, no está muy claro su efecto en todos los casos, presentando algunas limitaciones en suelos pesados, y en climas con 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, 1999), mientras que en otros la supervivencia no se diferenció del testigo (Oliet *et al.*, 1997; Navarro *et al.*, 2005a), 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.

Las podas de guiado

Como tratamiento complementario para estimular el crecimiento de los pies introducidos o mejorar su porte, no siempre son necesarias. En algunas especies (pino piñonero, salgareño y carrasco) que en algunas estaciones pueden presentar escasa dominancia apical se puede corregir este defecto suprimiendo los verticilos basales y no superando nunca la poda un tercio de la altura de la planta o no afectando nunca a las ramas que definen el diámetro máximo de la copa (Serrada, 2004). La determinación de la necesidad de poda o la identificación del achaparramiento se puede comprobar por dos vías: cuando la esbeltez de la copa es inferior a la unidad (esbeltez = cociente entre altura total de la planta y diámetro medio de copa); cuando la longitud de la última metida de la guía principal es inferior o igual al cociente entre la altura total y la edad, significa esta situación que ha habido crecimientos longitudinales anteriores de valor superior al último. Otro caso de poda precoz de guiado es la que se aplica en choperas y otras frondosas para asegurar una única guía que evite bifurcaciones del fuste que perjudican a la calidad de la madera, y que para el chopo se puede realizar en plena actividad vegetativa.

Tratamientos de mejora a lo largo del desarrollo

La repoblación forestal se proyecta y ejecuta de modo que tiene que servir a una función preferente y con una densidad inicial concordante a esa función. A partir de este momento, la masa evoluciona aumentando su espesura, incorporando nuevos elementos por re-

generación natural, y adquiriendo una cada vez mayor combustibilidad por razón de la inevitable, y a veces necesaria, continuidad vertical y horizontal de combustibles finos.

Aunque este punto se puede considerar fuera de la técnica repobladora, es necesario tratar la masa para

evitar su desaparición con tratamientos preventivos de incendios, claras, desbroces y podas, ejecutando estas operaciones en el momento adecuado y con procedimientos justificados. El abandono en este sentido ha dado numerosos ejemplos de cómo se han malogrado los esfuerzos de las generaciones anteriores.

Tabla 3. Control de calidad de las operaciones y materiales en la ejecución de los trabajos de repoblación

	PARÁMETRO	LUGAR
Operaciones		
<i>Desbroces</i>	Dimensiones Espaciamiento Altura de corte Eliminación de los residuos (desbrozadoras) Grado de afección (quemadas) Profundidad (decapado) Carácter selectivo	Monte
<i>Preparación del suelo</i>	Dimensiones Profundidad Espaciamiento Pendiente longitudinal (preparaciones lineales) Contrapendiente (banquetas, hoyos, terrazas) Ángulos de desmonte y terraplén (terrazas)	Monte
<i>Siembra</i>	Número de semillas Profundidad Espaciamiento	Monte
<i>Transporte de planta</i>	Duración Condiciones	Monte
<i>Plantación</i>	Profundidad Espaciamiento Posición Compactación	Monte
<i>Instalación tubos protectores</i>	Profundidad Colocación	Monte
Materiales		
<i>Semillas</i>	Identidad y procedencia Pureza y potencia germinativa Analítica de peso	Previo transporte al monte, tras almacenamiento
<i>Plantas</i>	Identidad y procedencia (Etiqueta y documento de acompañamiento) Calidad exterior Estado fitosanitario (Pasaporte fitosanitario)	Vivero
<i>Tubos protectores</i>	Características determinadas en Pliego	Previo transporte al monte

Conclusiones

La ejecución de las labores de repoblación exige de un control de las operaciones que garantice que estas se han realizado conforme a lo determinado en el proyecto. Este control es imprescindible para una correcta certificación posterior de los trabajos (Tabla 3). Sustituir este control sistemático de todos los trabajos, por la valoración de las marras de las parcelas de contraste y del monte, limita la certificación de los trabajos antes enunciada e impide prevenir que se produzca un número elevado de marras.

El proceso de diseño y ejecución de una repoblación es complejo y tiene que analizar multitud de variables. Las generalizaciones conducen, por tanto, al error. Las posibilidades de mortalidad son algunas veces incontrolables, por lo que a ellas se les asigna frecuentemente la mortalidad real, sin investigación detallada de causas. Una repoblación forestal de calidad es aquella que instalada en el lugar adecuado y con la superficie adecuada, tiene asignada una función preferente y, pasado el tiempo y tras haber sobrevivido y haberse desarrollado adecuadamente con los tratamientos de mejora necesarios, cumple los fines que se le asignaron y contribuye a la multifuncionalidad y al bienestar del conjunto de la sociedad y al desarrollo rural.

Bibliografía

- ALLOZA J.A., VALLEJO R., 1999. Relación entre las características meteorológicas del año de plantación y los resultados de las repoblaciones. *Ecología* 13, 173-187.
- BELLOT J., ORTIZ DE URBINA J.M., BONET A., SÁNCHEZ J.R., 2002. The effect of tree shelters on the growth of *Quercus coccifera* L. seedlings in a semiarid environment. *Forestry*, 75, 89-106.
- BERGER J.E.; DURPAZ C., 2000. Effect of ventilation on growth of *Prunus avium* seedlings in tree shelters. *Agricultural and Forest Meteorology* vol 104 (3), 199-214.
- BOCIO PERALTA I., DE SIMÓN NAVARRETE E., NAVARRO REYES F. B., 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.
- BRAVO-OVIEDO A., MONTERO G., 2005. Site index in relation to edaphic variables in stone pine (*Pinus pinea*) stands in south west Spain. *Ann. For. Sci.* 62, 61-72.
- BRESHEARS D.D., NYHAN J.W., HEIL C.E., WILCOX B.P., 1998. Effects of woody plants on microclimate in a semiarid woodland: Soil temperature and evaporation in canopy and intercanopy patches. *International Journal of Plant Sciences* 159, 1010-1017.
- 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.
- CARRERAS EGAÑA C., SÁNCHEZ HOYOS J., 2001. Resultados de ensayos de repoblación con especies de matorral en Vélez-Rubio (Almería). III Congreso Forestal Nacional. Tomo 3, 626-632.
- CASTEJÓN M.A., SÁNCHEZ F., ELENA R., 1998. SIGREFOR Sistema de Información Geográfica para la Reforestación. Fundación del Conde del Valle de Salazar.
- CASTELL C., CASTELLÓ J.I., 1996. Metodología y resultados de la siembra aérea efectuada en el Parque Natural del Garraf. *Montes* 46, 51-57.
- CASTILLO V., QUEREJETA J., 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.
- CORTINA J., 2005 (Coord.). Grupo de discusión de calidad de planta. Red Virepa. Documento no publicado.
- COSTELO L., PETERS A., GIUSTI G., 1996. An evaluation of tree shelter effects on plant survival and growth in a Mediterranean climate. *Journal of Arboriculture* 22 (1), 1-9.
- COTTA H., 1816. En HERBELLA E., 1912. Traducción de «El prólogo de la Selvicultura de Cotta [Anweisung zum Waldbau (Consejos de Selvicultura)]». *Revista de Montes*. Año XXXVI, pág. 317-320. Asociación de Ingenieros de Montes. Madrid.
- DOMÍNGUEZ-LERENA S., PEÑUELA RUBIRA J.L., HERRERO SIERRA N., NICOLAS PERAGON J.L., COSTA J.C., RODRÍGUEZ A., SÁNCHEZ M., 2000. Siembras directas en zonas degradadas de Andalucía. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente.
- ELENA ROSSELLÓ R., 1997. Clasificación Biogeoclimática Territorial de España Peninsular y Balear. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- FERNÁNDEZ-CAVADA S., COSCULLUELA J., SOPEÑA J.M., 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. Pp. 297-301.
- FUENTES D., VALDECANTOS A., VALLEJO V.R., 2004. Plantación de *Pinus halepensis* Mill. y *Quercus ilex* Subs. *ballota* (Desf.) Samp. en condiciones mediterráneas secas utilizando micro cuencas. *Cuadernos de la SECF*, 17, 157-163.
- GANDULLO J.M., SÁNCHEZ PALOMARES O., 1994. Estaciones ecológicas de los pinares españoles. Colección Técnica. ICONA. Madrid.
- GANDULLO J.M., SERRADA R., 1977. *Mapa de productividad potencial forestal de la España Peninsular*. INIA. Mon. núm. 16. Madrid.
- GANDULLO J.M., SERRADA R., 1993. Problemática de los suelos agrícolas de cara a su reforestación. Técnicas de preparación del suelo. *Revista Montes*. n.º 33, 3.º trimestre

- de 1993. pág. 122 a 127. Asociación de Ingenieros de Montes. Madrid.
- GARCÍA DEL BARRIO J.M. [coordinador]. 2001. Regiones de identificación y utilización de material forestal de reproducción. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid.
- GARCÍA SALMERÓN J., 1980. Los diagramas bioclimáticos y su utilización forestal. Rev. *Fôret méditerranéenne*. t. I, n.º 2, 1980. Paris.
- GÓMEZ V., ELENA-ROSSELÓ R., 1997. Investigación de las marras causadas por factores ecológicos de naturaleza meteorológica. Cuadernos de la SECF 4, 13-25.
- GROSSNICKLE S.C., 2000. Ecophysiology of northern spruce species. The performance of planted seedlings. NCR Research Press, Ottawa, Notario, Canada, 409 pp.
- GUPTA G.N., 1991. Effects of mulching and fertilizer application on initial development of some tree species. For. Ecol. Manage. 44, 211-221.
- HAASE D.L., 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(2), 275-294.
- HAYWOOD J.D., 1999. Durability of selected mulches, their ability to control weeds, and influence growth of loblolly pine seedlings. New Forests, 18, 263-277.
- JIMÉNEZ M., 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. Pp. 225-228.
- JIMÉNEZ M., SAAVEDRA M., 1999. Selectividad de herbicidas en nuevas plantaciones de *Quercus ilex* y *Pinus halepensis*. Actas Congreso Sociedad Española de Malherbología. Logroño. Pp. 347-352.
- JORDANA R., 1896. Estadística de las siembras y plantaciones verificadas en montes públicos y cabeceras de cuencas hidrológicas desde la publicación de la ley de 11 de julio de 1877 hasta el año forestal de 1894-95. Ministerio de Fomento. Imprenta R. Rojas. Madrid.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 1993. Programa regional de forestación en tierras agrarias y mejora de los bosques en zonas rurales. Cuadernos de zona. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Valladolid.
- KJELGREN R., RUPP L., 1997. Establishment in tree shelters I: shelters reduce growth, water use, and hardiness, but not drought avoidance. HortScience 32(7), 1281-1283.
- LAVANDER D.P., 1988. Characterization and manipulation of the physiological quality of planting stock. En Proceeding 10th North American Forest Biology Workshop Physiology and Genetics of Restoration. WORRAL J., LOO-DINKINS J., LESTER D. (Eds.). University of British Columbia Press, Vancouver, Canada, pp. 32-57.
- LÓPEZ-CADENAS DE LLANO F. (coordinador), 2003. *La ingeniería en los procesos de desertificación*. 1045 pp. Mundi-Prensa y Grupo Tragsa. Madrid.
- MAESTRE F.T., CORTINA J., BAUTISTA S., BELLOT J., VALLEJO V.R., 2003 a. Small-scale environmental heterogeneity and spatial-temporal dynamics of seedling establishment in a semiarid degraded ecosystem. Ecosystems 6, 630-643.
- MAESTRE F. T., CORTINA J., BAUTISTA S., BELLOT J., 2003 b. Does *Pinus halepensis* facilitate the establishment of shrubs under semi-arid climate? Forest Ecology and Management 176: 147-160.
- MARGOLIS H.A., BRAND D.G., 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. Canadian Journal of Forest Research, 20, 375-390.
- MATTSSON A., 1997. Predicting field performance using seedling quality assessment. New Forests, 13, 227-252.
- MARTÍNEZ DE AZAGRA A., 1996. Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal. Mundi-Prensa.
- McKAY H.M., 1996. A review of the effect of stresses between lifting and planting on nursery stock quality and performance. *New Forests* 13, 363-393.
- MEXAL J.G., LANDIS T.D., 1990. Target seedling concepts: height and diameter. En Proceedings meeting of the Western Forest Nursery Association Target Seedling Symposium. Roserburg Oregon USDA Tech. Rep. RM 200, Fort Collins, Colorado pp. 17-36.
- MONTERO DE BURGOS J.L., GONZÁLEZ REBOLLAR J.L., 1974. Diagramas bioclimáticos. ICONA. Madrid.
- NAVARRO R.M., MARTINEZ A., 1996. Las marras producidas por ausencia de cuidados culturales. Cuadernos de la S.E.C.F. 4, 43-57.
- NAVARRO R.M., MARTÍNEZ A., 1995. Comarcalización de Andalucía para la elección de especie en la forestación de explotaciones agrícolas. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- NAVARRO R.M., PEMAN J., 1997a. Apuntes de viveros forestales. Universidad de Córdoba.
- NAVARRO R.M., SAAVEDRA M., 1997b. 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 CERRILLO R.M., SENRA F., 1999. Aplicación de un sistema de información geográfica para el apeo de estaciones forestales en el monte de suerte Lentisco (Córdoba). Montes 56, 13-22.
- NAVARRO R.M., OLIET J., CONTRERAS O., 2001 a. El uso de tubos protectores con cuatro especies forestales en Andalucía occidental: estudio microclimático. III Congreso Forestal Nacional, Granada. Tomo III, 839-845.
- NAVARRO R.M., OLIET J., CONTRERAS O., 2001 b. El uso de tubos protectores con cuatro especies forestales en Andalucía occidental: supervivencia y crecimiento. III Congreso Forestal Nacional, Granada. Tomo III: 916-922.
- NAVARRO R. M., 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 SECF, 17, 199-204.
- NAVARRO R.M., FRAGERO B., CEACEROS C., DEL CAMPO A., DE PRADO R., 2005 a. Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* [Desf.] Samp. using diffe-

- rent weed control strategies in Southern Spain. *Ecological Engineering* (en prensa).
- NAVARRO R.M., FRAGERO B., DE PRADO R., DIAZ J.L., GUZMAN R., 2005 b. Técnicas de conservación del suelo en forestación de terrenos agrícolas. En Fernández, p.; González, E., Martínez, A., Navarro, R.M. (Eds.) *Mantenimiento y conservación del suelo en forestaciones agrarias*. Asociación Española de Agricultura de Conservación-Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 41-74 pp.
- NICOLÁS J.L., DOMINGUEZ LERENA S., HERRERO N., VILLAR P., 1997. Plantación y siembra de *Quercus ilex* L.: efectos de la preparación del terreno y de la utilización de protectores en la supervivencia de las plantas. *Actas II Congreso Forestal Español*. Mesa 3, 449-454.
- OLIET J., PLANELLES R., LÓPEZ M., ARTERO F., GONZÁLEZ M., 1997. Influencia de los sistemas de protección en la humedad del suelo y en la respuesta en plantación de pino carrasco en el semiárido almeriense. *II Congreso Forestal Nacional*, Tomo III, 467-472.
- OLIET J., PLANELLES R., LÓPEZ M., ARTERO F., 2000. Efecto de la fertilización en vivero y del uso de protectores durante seis años en una repoblación de *Pinus halepensis*. *Cuadernos de la SECF* 10, 69-78.
- ORTEGA J.C., PEÑUELAS J., MONTERO G., GARCÍA-BAUDIN J.M., 1999. Respuesta de *Pinus halepensis*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster* y *Pinus pinea*, a herbicidas: resultados preliminares. *Montes* 53, 83-87.
- PEMAN J., NAVARRO R.M., 1998. *Repoblaciones Forestales*. Universidad de Lleida-Universidad de Córdoba.
- PEMAN J., VOLTAS J., GIL E., 2005. *Morphological and functional variability in the root system of Quercus ilex L. subject to root confinement: consequences for afforestation*. *Annals of Forest Science* (en revisión).
- PEÑUELAS J.L., OCAÑA L., 1996. *El cultivo de planta en contenedor*. Mundi-Prensa. Madrid.
- PEÑUELAS J., OCAÑA L., DOMÍNGUEZ S., 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 SECF* 4, 113-118.
- POTTER M.J., 1991. *Treeshelters*. Forestry Commission Handbook n.º 7. M.S.O. London.
- PUÉRTOLAS J., GIL L., 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.
- QUEREJETA J., ROLDÁN A., ALBALADEJO J., CASTILLO V., 2001. Soil water availability improved by site preparation in a *Pinus halepensis* afforestation under semi-arid climate. *Forest Ecology and Management* 149, 115-128.
- ROYO A., GIL L., PARDOS J.A., 2000. Efecto de la fecha de plantación sobre la supervivencia y el crecimiento del pino carrasco. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 10, 57-62.
- RUIZ DE LA TORRE J., 1981. *Vegetación Natural*. En: Ramos Figueras J.L. (Dirección), *Tratado del Medio Natural*. Universidad Politécnica de Madrid con la colaboración del CEOTMA, INIA, ICONA. Madrid.
- RUIZ DE LA TORRE J., 1990. *Mapa Forestal de España*. Memoria General. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- SÁNCHEZ J., ORTEGA R., MERVÁS M., PADILLA F.M., PUIGNAIRE F.I., 2004. El micro riego, una técnica de restauración de la cubierta vegetal para ambientes semiáridos. *Cuadernos de la SECF*, 17, 109-112.
- SÁNCHEZ PALOMARES O., RUBIO A., BLANCO A., 2004. Definición y cartografía de las áreas potenciales fisiográfico-climáticas de hayedo en España. *Invest. Agrar: Sist Recur For. Fuera de Serie*, 13-62.
- SERRADA R., 2000. *Apuntes de Repoblaciones Forestales*. Fundación Conde Valle de Salazar. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid.
- SERRADA R., 2004. *Apuntes de Selvicultura*. Servicio de Publicaciones. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid.
- SERRADA R., MINTEGUI J.A., ROBREDO J.C., GARCÍA J.L., GÓMEZ V., ZAZO J., NAVARRO R., 1997. Formación de escorrentías con lluvias torrenciales simuladas, en parcelas con diferentes cubiertas vegetales y distintas preparaciones del suelo para las repoblaciones forestales. *Actas del II Congreso Forestal Español*, Mesa 2, 605-610. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Pamplona.
- SEVÁ J.P., VALDECANTOS A., CORTINA J., VALLEJO V.R., 2004. Diferentes técnicas de introducción de *Quercus ilex* ballota en zonas degradadas de la Comunidad Valenciana. *Cuadernos de la SECF*, 17, 233-239.
- 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. 12pp.
- SOUTH D.B., ROSE R.W., MCNABB K.L., 2001. Nursery and site preparation interaction research in the United States. *New Forests* 22, 43-58.
- STJERNBERG E.I., 1997. Mechanical shock during transportation: effects on seedling performance. *New Forests* 13, 401-420.
- TABBUSH P.M., 1987. Effect of desiccation and water status on forest performance of bare rooted Sitka spruce and Douglas-fir transplants. *Forestry* 60, 31-43.
- TONGWAY D. J., CORTINA J., MAESTRE F. T., 2004. Heterogeneidad espacial y gestión de medios semiáridos. *Ecosistemas* 2004/1 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/041/revision5.htm>).
- 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., Nicolau Ibarra J.M. (editores), Universidad de Alcalá /Asociación Española de Ecología Terrestre. pp. 65-86.
- VIVAR J.A., FERNÁNDEZ YUSTE A., ROLDÁN M., 1994. *Efectos sobre la infiltración de las labores de preparación del suelo para la repoblación*. Geomorfología en España. Eds.: Arnaez et al. Logroño. pp. 173-185.