

Restauración de montes quemados en condiciones mediterráneas

V. Ramón Vallejo¹, J.A. Alloza¹, P. Ara², J. Baeza¹, S. Bautista², C. Beseler¹, C. Bladé¹, F. Butler², E. Chirino¹, J. Cortina³, R. Currás², B. Duguy¹, D. Fuentes¹, T. Gimeno¹, E. González³, J. Llovet¹, A. Marzo², J.G. Pausas¹, S. Pérez², E. Pérez-Laorga², S. Reyna¹, I. Serrasolses¹, J. Suárez², A. Valdecantos¹, A. Vilagrosa¹, L. Velasco²

Resumen

La Fundación CEAM viene realizando un programa de Investigación y Desarrollo sobre prevención de incendios y restauración de montes quemados desde el año 1991, en estrecha colaboración con la Administración Forestal de la Comunidad Valenciana. Se ha desarrollado un programa de I+D para la innovación y mejora de las técnicas de restauración forestal, incluyendo: siembras de emergencia para el control de la erosión y escorrentía; selección de especies para siembra y plantación con el objetivo de mejorar la biodiversidad, la resiliencia y la calidad de la vegetación post-incendio en montes degradados; y desarrollo de técnicas de cultivo en vivero, y de plantación y siembra. La siembra de herbáceas autóctonas acompañada de *mulch* de restos de poda forestal ha sido eficaz en la mejora de la cubierta vegetal y en el control de la erosión y degradación del suelo a corto plazo. Las especies introducidas compiten con arbustos germinadores locales que acumulan mucho combustible fino, de forma que se reduce la combustibilidad del monte a medio plazo. Las técnicas de plantación que han ofrecido mejores resultados en términos de supervivencia y crecimiento de los brinzales son: el pre-acondicionamiento al estrés hídrico en vivero para las especies más plásticas; la adición de hidrogeles en el sustrato de cultivo mejora la disponibilidad de agua del brinjal en la fase de arraigo; el uso de contenedores largos para especies del género *Quercus* permite un mayor desarrollo de la raíz pivotante y una mejora general del brinjal en campo; la preparación del terreno mediante microcuencas de recolección de escorrentía en condiciones semiáridas y secas aporta un suplemento de agua que favorece la supervivencia y el crecimiento de los brinzales; los tubos protectores son eficaces en la reducción de la predación y mejoran el crecimiento en altura de las especies más sensibles al estrés hídrico; y la adición de enmiendas orgánicas compostadas a dosis moderadas (20-30 Mg ha⁻¹) mejora la nutrición de las plantas en campo, lo que repercute en unas mayores tasas de crecimiento. También se ha desarrollado un protocolo de evaluación de la vulnerabilidad de los montes a los incendios forestales en base al análisis de la resiliencia de los ecosistemas y al riesgo de erosión. Esta metodología se ha aplicado mediante SIG a la planificación de la restauración de montes quemados a escala 1:50.000.

Introducción

El programa Investigación y Desarrollo en relación con la Restauración de la Cubierta Vegetal se ha llevado a cabo por la Fundación Centro de Estudios

¹ Fundación CEAM

² Departamento de Ecología, Universidad de Alicante

³ Consejería de Territorio y Vivienda, Generalitat Valenciana

Ambientales del Mediterráneo (CEAM) desde 1991 hasta la fecha, por iniciativa y con la financiación de la Generalitat Valenciana, con el objeto establecer las bases científicas para la mejora de la gestión forestal en condiciones mediterráneas. Los resultados que se describen a continuación (Vallejo 1996; Vallejo & Alloza 2004) se han producido a partir de I+D centrado en problemas identificados en la Comunidad Valenciana, en colaboración con el cuerpo técnico de la Dirección General de Gestión del Medio Natural y se han complementado con el desarrollo de 10 proyectos europeos, 3 de ellos coordinados por el CEAM.

La actuaciones en materia forestal de la administración se contrastan e interaccionan con el programa de investigación en un proceso retroactivo que se beneficia de la experiencia en gestión de los montes y de los avances de la ciencia forestal.

Los objetivos específicos planteados en el programa son:

1. Desarrollar técnicas de prevención de incendios en formaciones altamente combustibles y minimizar los efectos negativos de los incendios para la protección de los ecosistemas a corto y medio plazo.
2. Restaurar los montes quemados y degradados mediante el establecimiento de comunidades vegetales de alta capacidad de respuesta al fuego y resistentes a la sequía.
3. Conservar, mejorar y revalorizar los montes valencianos y, por extensión, mediterráneos, incrementando su nivel de madurez y mejorando su estructura.

Selvicultura preventiva

Los estudios de control del combustible para la prevención de incendios se han realizado en matorrales de alto riesgo, como es el caso de los aulagares maduros (de *Ulex parviflorus*) que llegan a acumular entre 32 y 46 toneladas/ha de peso seco a los 9 y 17 años de edad respectivamente, de las cuáles 20 y 17,5 toneladas/ha de peso seco corresponden a combustible fino (modelo de combustible 4). Los tratamientos de desbroce deben ser eficaces no sólo en la reducción de la carga de combustible a corto plazo, sino también en el retraso de la recuperación de la acumulación del combustible de riesgo, de forma que se retrase la necesidad de nuevas actuaciones. Se ha comprobado que la aulaga estimula su germinación con temperaturas moderadas producidas por los incendios, pero también por las fluctuaciones de temperatura habituales en verano en la superficie del suelo desnudo. Las investigaciones llevadas a cabo permiten recomendar como técnica más idónea la roza mecánica, con distribución de los restos sobre la superficie del suelo a modo de *mulch* (acolchado orgánico o empajado), llevada a cabo en otoño-invierno. De esta manera se minimiza la germinación de la especie dominante (aulaga), causante de gran parte de la acumulación de combustible fino y seco en pie de estas zonas.

En relación con las áreas corta-fuegos, la parametrización de un modelo de propagación de incendios (FARSITE) en situaciones reales permite analizar la efectividad de estas actuaciones preventivas. En el marco del proyecto europeo GEORANGE, simulando las condiciones del gran incendio de Ayora de 1979, se han analizado diferentes diseños en las áreas corta-fuegos y su relación con la propagación de un gran incendio. Así, la aplicación de este modelo indica que la introducción de cortafuegos fue muy efectiva en reducir la propagación del fuego

respecto al paisaje de referencia, si bien resulta más efectiva una red más densa de corta-fuegos de anchura moderada que una red menos densa de corta-fuegos más anchos.

Gestión del monte quemado

A partir de las investigaciones llevadas a cabo sobre la regeneración de la vegetación y de los factores que condicionan la erosionabilidad de los suelos, el CEAM ha desarrollado un sistema de evaluación del impacto ecológico de los incendios a partir de dos estrategias:

- A corto plazo: Los suelos más erosionables en la Comunidad Valenciana son los desarrollados en pendientes moderadas-fuertes (mayor de 20 %) sobre materiales margosos, arcillas, yesos y areniscas. Cuando estos suelos coinciden con vegetación con lenta capacidad de regeneración (recubrimiento menor al 30% en la primavera siguiente al fuego), se considera que hay un alto riesgo de erosión y degradación del suelo (y del ecosistema en general) que puede requerir medidas de protección a corto plazo. Para identificar estas áreas más sensibles a la degradación, el CEAM lleva a cabo evaluaciones de todos los incendios mayores de 100 ha en el territorio valenciano, donde se pondera el impacto ecológico previsible y se sugieren medidas de restauración a corto y medio plazo.
- A escala de planificación. Se ha desarrollado una metodología de evaluación de la vulnerabilidad de los ecosistemas frente al fuego a escala regional, implementada a escala 1:50.000 en un SIG para el Plan de Ordenación Forestal de la Comunidad Valenciana. Por un lado se ha realizado una cartografía de las zonas con mayor riesgo de degradación, atendiendo al riesgo de erosión e intensidad del periodo seco. Por otro lado, se ha realizado un exhaustivo análisis cartográfico de la estrategia y capacidad reproductiva de la vegetación forestal valenciana, ya que la capacidad de regeneración a corto plazo de la vegetación depende en gran medida de la presencia de especies con capacidad de rebrotar. La superposición de ambas cartografías (riesgo de degradación y capacidad de regeneración) permite identificar las zonas del territorio forestal más vulnerables a los incendios forestales, zonas donde coincide un elevado riesgo de erosión y una escasa capacidad de regeneración. Los resultados obtenidos indican que el 38% de la superficie forestal valenciana podría considerarse vulnerable frente a un incendio forestal (Figura 1).

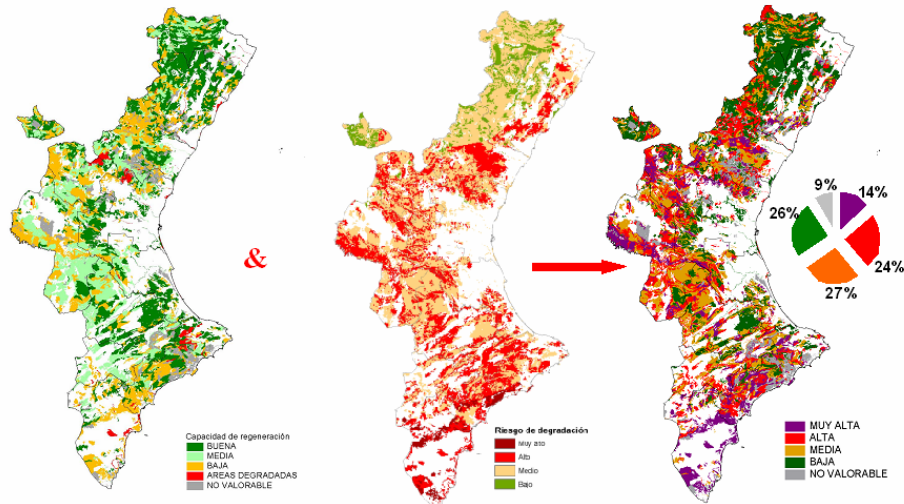


Figura 1—Cartografía de la capacidad de regeneración, riesgo de degradación y vulnerabilidad de los ecosistemas frente al fuego, implementada a escala 1:50,000 para el Plan de Ordenación Forestal de la Comunidad Valenciana.

Análisis del impacto de la extracción o no de la madera quemada

El arrastre de troncos realizados durante los dos primeros años después del fuego produce erosión lineal significativa a partir de los arrastraderos y vías de saca en vertientes con substrato deleznable, de tipo margas, arcillas y areniscas. No hay efectos erosivos significativos sobre substratos consolidados de tipo calizas. La vegetación, y el regenerado de pinar, no se ven afectados de forma significativa por los tratamientos. De estos resultados se deduce la recomendación de extremar las precauciones en la extracción de troncos quemados en suelos frágiles.

Una de las razones que se consideran a la hora de defender la extracción de la madera quemada es la colonización y proliferación de escolítidos (géneros *Ips* y *Tomicus*, *Coleoptera: Scolytidae*) en los troncos quemados, que pueden actuar así de foco de infección para las masas de pinar cercanas.

La susceptibilidad de los árboles a la infección por escolítidos aumenta con la aparición de algún tipo de daño mecánico o debilitamiento producido por fuego, estrés hídrico, nevadas, etc.

En la prospección de pinares de carrasco quemados con diferente intensidad, en los que se había producido un foco de infección por *Tomicus destruens*, se observó que la mayor proporción de árboles colonizados por el perforador se produjo en el conjunto de individuos parcialmente quemados, en los que las acículas -total o parcialmente secas- se conservaban en las copas. No se observaron entradas de escolítidos en árboles completamente quemados con hojas consumidas. A partir de estos resultados, se planteó la hipótesis de que el nivel de daño producido por el fuego afectaría la composición terpénica de los pies de pino y, como consecuencia, a la respuesta de atracción primaria de *Tomicus destruens*. La producción de terpenos en los árboles quemados fue mayor en los pies afectados de forma menos severa y se redujo gradualmente en los casos de severidad media y alta. Los resultados obtenidos en los ensayos de campo con trampas cebadas con α -pineno (componente mayoritario de las oleorresinas de pino carrasco), mostraron una respuesta positiva de

Tomicus destruens a este compuesto. Los terpenos producidos en los árboles quemados son candidatos potenciales para actuar como señales de atracción primaria para escolítidos. El que la mayor producción de una gran variedad de terpenos se produzca en los árboles menos afectados, señala a este tipo de pies como los elementos de mayor riesgo en un área quemada.

En conjunto, los resultados de la prospección de campo y de otros trabajos previos revelan una preferencia de las especies del género *Tomicus* más comunes en nuestra zona por los árboles en los que no se haya producido una combustión severa o la muerte inmediata tras el incendio.

La eficacia de la extracción de la madera como medida preventiva contra las plagas de escolítidos se limita a los 6-9 primeros meses tras el incendio. No obstante, debe tenerse en cuenta que este periodo es el de máximo riesgo de degradación y erosión del suelo por lo que deben sopesarse adecuadamente las condiciones ambientales y las prioridades en cada zona. Se recomiendan actuaciones selectivas, que concedan prioridad a los árboles parcialmente afectados por el fuego en caso de riesgo de plaga de escolítidos, que eviten las áreas más sensibles y de mayor riesgo de erosión, que apliquen medidas correctoras en los casos de riesgo y que se ejecuten de forma heterogénea, dejando un mosaico de rodales con y sin actuación para mantener el papel estructural y funcional de ramas y troncos.

Para evaluar los efectos en la conservación del suelo y sobre la carga de combustible del tratamiento de extracción de madera quemada y la aplicación de fajinas, se ha efectuado un seguimiento de las actuaciones ejecutadas por la Generalitat Valenciana en el incendio que en el verano de 2004 afectó al Parque Natural *Sierra de Calderona*. Dichas actuaciones consisten, básicamente, en la instalación de fajinas según curvas de nivel, preparadas a partir de los restos finos de madera quemada, para el control de la erosión post-incendio. Para la evaluación de la producción de sedimentos, en cada una de las cuencas del incendio se han colocado unos colectores específicos (*silt-fences*), en los que quedan atrapados los sedimentos que se generan con cada episodio de lluvia. Los resultados obtenidos hasta el momento muestran una cierta reducción de la cantidad de sedimentos totales generada en las áreas con fajinas; este hecho se debe, principalmente, al comportamiento de las cuencas frente a dos eventos de lluvia de magnitud elevada, torrenciales (Figura 2)

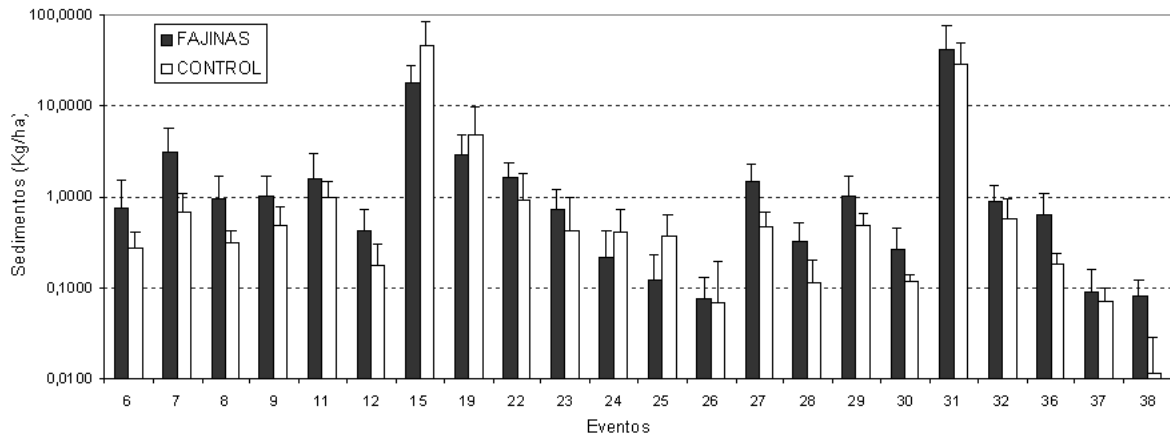


Figura 2—Sedimentos finos (partículas < 2 mm) generados en las parcelas con tratamiento de fajas y en parcelas control (sin tratamiento) en cada evento de precipitación productivo. (media \pm desviación estándar).

Restauración forestal

Las prioridades de la restauración forestal en el ámbito mediterráneo se pueden agrupar en tres categorías: la conservación de los montes (en el contexto de la lucha contra la desertificación), la prevención de potenciales incendios, así como minimizar sus daños, y la conservación e incremento de la biodiversidad. Estas prioridades se pueden desarrollar sobre tres estrategias de actuación (Figura 3):

- 1) Establecimiento de cubiertas de herbáceas en ecosistemas con alto riesgo de erosión mediante siembras de emergencia.
- 2) Mejora de la resistencia y resiliencia (capacidad de regeneración) de los ecosistemas con alta combustibilidad, dominados por especies semilladoras, mediante la (re)introducción de especies leñosas rebrotadoras, combinado con desbroces en el caso de actuaciones de silvicultura preventiva.
- 3) Recuperación del arbolado mediante la introducción simultánea o secuencial de coníferas y frondosas.

Se han definido las especies y técnicas específicas a utilizar para cada una de las estrategias de restauración descritas.

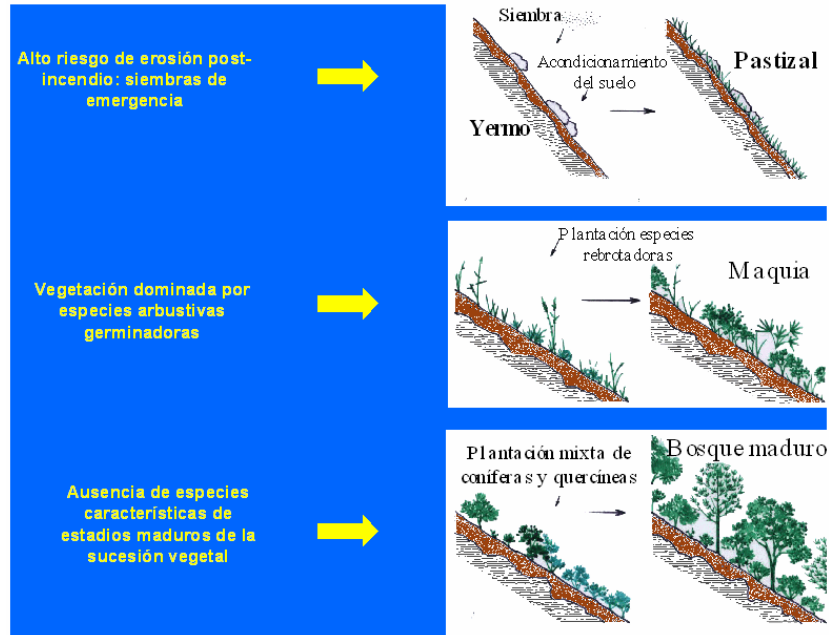


Figura 3— Estrategias de restauración en función del estado previo de los montes.

Siembras de emergencia

La rápida recuperación de la vegetación es un factor clave para el control de la erosión ya que las plantas, interceptan y disminuyen el impacto de las gotas de lluvia

sobre el suelo y reducen el volumen y la velocidad de la escorrentía superficial, principales agentes causantes de la erosión. En laderas degradadas con alto riesgo de erosión post-incendio y pobre capacidad de regeneración, la siembra de especies autóctonas de crecimiento más o menos rápido, cubriendo varias etapas de la sucesión secundaria (herbáceas colonizadoras, matas, arbustos) acompañada de la aplicación de restos de triturado de talas y podas forestales, ha resultado eficaz en la protección del suelo contra la erosión, mejora de la capacidad de infiltración de agua en el suelo, disminución de la compactación y encostramiento superficial y aumento de la velocidad de recuperación de la cubierta vegetal. La eficacia de la técnica está muy condicionada a la presencia de *mulch*, tanto por lo que se refiere a la conservación de las propiedades del suelo como a la recuperación de la vegetación, especialmente la germinación de especies subarborescentes y arbustivas.

La mayor parte del recubrimiento vegetal durante el primer año después del fuego corre a cargo de las especies herbáceas. Las especies ensayadas que han dado buenos resultados han sido *Brachypodium retusum*, *Psoralea bituminosa*, *Anthyllis vulneraria*, *Sanguisorba minor* y *Dactylis glomerata*. Las especies arbustivas rebrotadoras, características de etapas más maduras de la sucesión como *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Phillyrea angustifolia* o *Bupleurum fruticosum*, suelen presentar bajas tasas de germinación, crecimiento y supervivencia, sobretodo en comparación con los individuos introducidos mediante plantación. Sin embargo, es interesante añadir estas especies a la mezcla de semillas utilizada en las siembras de emergencia (siempre y cuando se añada *mulch*) ya que, además de su valor ecológico, tienen una elevada permanencia en el monte y garantizarán la capacidad de respuesta del mismo frente a nuevas perturbaciones.

Siembra de coníferas

Durante estos últimos años ha crecido el interés por la siembra directa de especies forestales, principalmente de pinos, como técnica de restauración de matorrales o pinares jóvenes después del fuego, en aquellas áreas donde la falta de propágulos hace inviable la recuperación de un pinar por regeneración. Sin embargo, en el momento actual, la siembra las garantías de éxito que ofrece la siembra, como método de repoblación en clima seco, son bajas. Se han estudiado diversos aspectos relacionados con la siembra directa de coníferas, en especial de pino carrasco, como son la predación, las técnicas de siembra, la época de siembra o los pretratamientos de las semillas.

La predación de las semillas es el mayor obstáculo en la siembra directa de pino carrasco. Se evaluó la pérdida de semillas debidas a la predación en dos experiencias de sembrado aéreo de pino carrasco, realizadas inmediatamente después de un incendio por la Consejería de Medio Ambiente. En 4 de las 6 parcelas instaladas para el estudio de la predación, desaparecieron el 80% de las semillas durante los dos primeros meses después de la siembra. En el mismo estudio se evaluó la eficacia de dos repelentes comúnmente utilizados, que mostraron una cierta eficacia inicial en la protección de las semillas contra la predación, sin embargo ésta se perdía a las pocas semanas de la aplicación.

Época de siembra

En clima mediterráneo y en general en climas con inviernos suaves y fuerte sequía estival, se aconseja la realización de las siembras en otoño. De esta manera,

los plantones dispondrán de un periodo de tiempo más largo para su crecimiento antes de la llegada del verano, con lo que se supone tendrán más posibilidades de afrontar la sequía estival. En el caso del pino carrasco, el periodo de siembra aconsejable se restringiría a los meses de septiembre y octubre, debido a que, cuando las temperaturas son bajas, la germinación de esta especie es extremadamente lenta y sólo en el caso de largos periodos de humedad puede tener lugar la germinación. A partir de distintos ensayos en campo se constató que, con frecuencia, en las siembras realizadas en noviembre no se observan germinaciones hasta la primavera, lo que supone que las semillas se encuentran a disposición de los predadores durante todo el invierno. La época de siembra también tiene consecuencias sobre el crecimiento y la supervivencia de los brinzales durante el primer año. A finales de primavera, las plántulas de pino procedentes de las siembras de otoño temprano presentaban mayor tamaño que las procedentes de la siembra de finales de otoño o de las de primavera.

Pretratamiento de las semillas

El pino carrasco no presenta ningún tipo de dormición, sin embargo es una especie de germinación lenta. En condiciones óptimas, puede tardar unas tres semanas en completar el proceso de germinación. Esto puede suponer un inconveniente en la siembra directa en condiciones mediterráneas secas, donde las precipitaciones son bajas y con frecuencia se presentan en periodos cortos. El interés del pretratamiento de las semillas de esta especie reside en acortar el tiempo de germinación, de manera que las semillas de pino puedan aprovechar las condiciones de humedad del suelo producidas por un episodio de lluvias. Los pretratamientos ensayados consistieron en diversas técnicas de prehidratación o *priming*, a los que se añadía o no sustancias promotoras de la germinación en el medio, como el ácido giberélico o el nitrato potásico. Las técnicas de prehidratación controlada ensayadas que ofrecieron mejores resultados en condiciones de laboratorio fueron la prehidratación de las semillas en arena, con un contenido de agua del 15% en volumen, durante 6 días a 20°C y oscuridad, así como el mismo protocolo pero utilizando una solución de ácido giberélico 10-3 Molar en lugar de agua. Los ensayos en condiciones de campo confirmaron la efectividad del pretratamiento de las semillas en la reducción del tiempo de germinación. La magnitud del efecto del tratamiento varió bastante en función de las condiciones climáticas, principalmente de la temperatura, siendo más importante a medida que las temperaturas descienden por debajo de la temperatura óptima (18-20°C), siempre y cuando no se rebase un umbral, por debajo del cual la germinación se encuentra inhibida. Estos tratamientos pueden ser de gran interés en las siembras de otoño, para asegurar una rápida germinación cuando éstas se realizan relativamente tarde.

Las técnicas de siembra que contemplan el recubrimiento de las semillas mediante una capa de *mulch* o suelo mineral (enterramiento de las semillas) mejoran sensiblemente las condiciones de germinación al disminuir las fluctuaciones de humedad y temperatura. Sin embargo, estas técnicas conllevan un coste adicional importante en la ejecución de las siembras. Las mejores garantías de germinación las ofrecen las siembras con cubierta de *mulch*. Con esta técnica se han registrado porcentajes de alrededor del 80% de germinación, incluso en clima semiárido. Los resultados de las siembras con las semillas enterradas varían en función de las precipitaciones. Cuando estas son abundantes, ofrecen resultados muy similares a los de las siembras con cubierta de *mulch* mientras que cuando las precipitaciones son moderadas los porcentajes de germinación pueden ser un 50 % más bajos. La técnica de siembra con menos garantía de éxito es la siembra a voleo.

Producción de planta

En el ámbito de la calidad de la planta se han establecido protocolos de cultivo para 12 especies autóctonas de los ecosistemas valencianos, con nuevas técnicas que consideran los requerimientos morfológicos, ecofisiológicos y nutricionales, mejorado las características morfofuncionales de las especies más significativas. De la experiencia adquirida se pueden extraer recomendaciones en dos ámbitos: técnicas genéricas de vivero, que comprendería protocolos estándar de cultivo, y técnicas específicas, que abarcaría técnicas destinadas a producir brinzales de alta calidad adaptados específicamente a ambientes con importantes limitaciones hídricas.

Los principales resultados obtenidos respecto a los protocolos de cultivo en vivero, se pueden resumir en los siguientes aspectos:

1. Emplear semilla certificada por el *Banc de Llavors* de la Generalitat Valenciana u otro organismo oficial.
2. Considerando las características edafoclimáticas de la Comunidad Valenciana, en general y particularmente en las especies con raíz pivotante, recomendamos bandejas forestales con 35 a 45 alvéolos, profundidad de 17 - 19 cm, volumen entre 300 - 350 cm³ y densidad de 210 - 280 alvéolos/m².
3. La mezcla de turba rubia fertilizada (pH corregido) y fibra de coco (relación 1:1; 50:50 v/v) garantiza adecuadas condiciones para el desarrollo del cultivo.
4. El cumplimiento adecuado de los protocolos de pretratamientos de las semillas para la siembra asegura una mayor eficiencia en la germinación. En la mayoría de las especies se realiza la imbibición en agua durante 24 horas (*Pinus halepensis*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus alaternus*, *Rhamnus lycioides*). Otras especies requieren de tratamiento con agua caliente (*Retama sphaerocarpa*, *Ceratonia siliqua*); escarificación de la cubierta con lija de papel y posterior imbibición en agua durante 24 horas (*Juniperus oxycedrus*, *Anthyllis cytisoides*, *A. terniflora*) o imbibición en agua durante 6 días (cambiando el agua todos los días) como es el caso de *Osiris quadripartita*. Existen otros tipos de pretratamiento que requieren de cierta especialización (tratamiento con ácido, hormonales, etc.). En relación con las especies del género *Quercus*, es recomendable la pregerminación en fibra de coco, previa imbibición en agua durante 24 horas y desinfección con captan (1%).
5. La dosis y frecuencia de riego debe ajustarse en función de la fase del cultivo y de las características climáticas estacionales y diarias. Es preferible dosis de riego que garanticen un completo humedecimiento del cepellón y una frecuencia de riego que favorezca un cierto grado de endurecimiento de los brinzales ante el estrés hídrico durante todo el ciclo de cultivo, estimulando el crecimiento del sistema radical.
6. El cultivo de especies forestales en vivero con envases requiere de fertilización. Es recomendable utilizar sustratos fertilizados en origen (57 mg NO₃, 69 mg NH₄, 60 mg de P y 344 mg de K por dm³ de sustrato, más otros macroelementos secundarios y microelementos) lo cual posibilita un cierto nivel de fertilidad del sustrato en la primera etapa. Posteriormente mediante la fertilización adicional (fertirrigación o fertilización directa) se debe modular el crecimiento del cultivo. En la fase de establecimiento se recomienda un fertilizante rico en fósforo, para favorecer el desarrollo del sistema radical. Durante la fase de crecimiento rápido se debe aplicar

un fertilizante rico en nitrógeno; finalmente, en la fase de endurecimiento, se emplean fertilizantes ricos en potasio y menor riqueza de nitrógeno.

7. La vigilancia del estado sanitario de los cultivos debe ser sistemática. Al igual que el control de las malas hierbas desde el inicio del cultivo.

Técnicas específicas de vivero

Uno de los aspectos clave en el éxito de una reforestación es el trauma post-transplante que sufren las plantas cuando son transferidas desde las condiciones favorables del vivero a las condiciones de campo. (Figura 4). Los tratamientos en vivero van encaminados a minimizar los efectos que puedan producir un periodo de bajas precipitaciones posterior a la plantación (Figura 4).

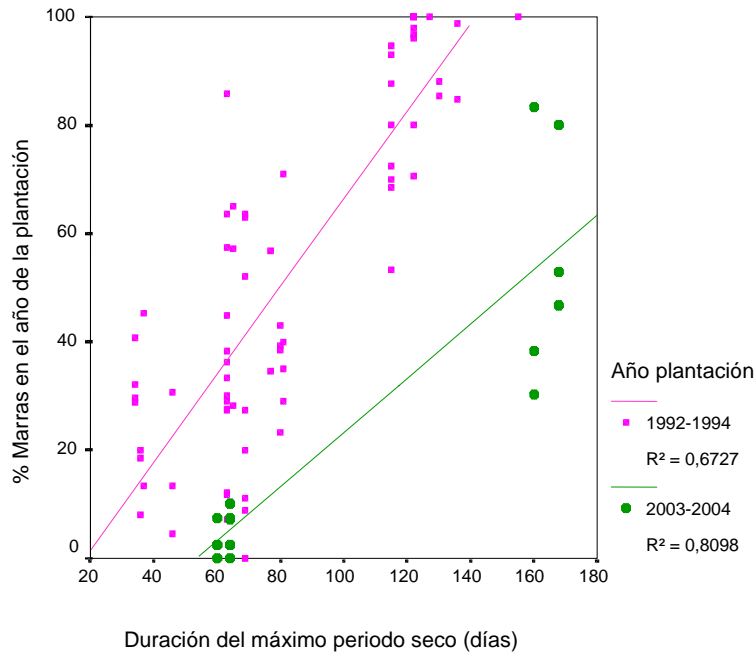


Figura 4—Porcentaje de marras durante el año de la plantación en función del máximo número de días consecutivos sin precipitación. Los datos corresponden a las parcelas experimentales establecidas en en el periodo 1992-1994 y 2003-2004. Para un mismo periodo seco los resultados son mejores (menor porcentaje de marras) en las plantaciones más recientes, en las que se incorporaron las innovaciones técnicas en la calidad de los brinzales desarrolladas a lo largo del programa de I+D del CEAM.

Como recomendación general, el cultivo de los brinzales se debe realizar en condiciones similares a las que se encontraran en condiciones de campo (radiación solar directa, moderada disponibilidad hídrica y moderado uso de fertilizantes). De esta forma, las características morfofuncionales de los brinzales serán lo más parecidas a las características que desarrollen en el campo. Para permitir que el cultivo de la planta sea óptimo, pero a la vez que estén adaptadas lo mejor posible a las condiciones de campo, se han investigado toda una serie de técnicas para

preacondicionar los plantones a condiciones desfavorables y favorecer el desarrollo de sus características morfofuncionales:

Endurecimiento hídrico

Esta técnica consiste en reducir el régimen de riego a los brinzales con la finalidad de que desarrollen características de resistencia al déficit hídrico. En general se aplica durante las últimas fases de cultivo y los dos factores más importantes son la duración de la aplicación y la intensidad del déficit hídrico.

Los experimentos realizados con diversas especies (*P. lentiscus*, *Q. coccifera*, *J. oxycedrus*) en la zona semiárida de Alicante mostraron modestos resultados cuando el periodo de aplicación fue corto, aproximadamente 1 mes. Los cambios en las características morfológicas y fisiológicas de los brinzales causados por el endurecimiento incluyeron un amplio abanico de adaptaciones que dependen de las características de cada especie y probablemente están relacionadas con la estrategia ecológica de cada una. La aplicación de periodos más largos de endurecimiento y con intensidades suaves ha dado mejores resultados en modificaciones morfofuncionales y mejores resultados en condiciones de campo. En este sentido, *P. lentiscus* con un periodo de endurecimiento de 2 meses no mostró modificaciones en vivero, pero una vez los brinzales fueron transferidos al campo produjo un mayor crecimiento del sistema radical, menor desarrollo de la parte aérea y modificaciones de los mecanismos de funcionamiento celular, no observándose mortalidad de la biomasa aérea como consecuencia de la sequía estival.

Las especies de quercineas (*Q. ilex*, *Q. coccifera*) suelen responder poco a periodos de endurecimiento cortos o relativamente cortos. La carrasca (*Quercus ilex ballota* = *Q. rotundifolia*) con un endurecimiento de 2 meses no mostró adaptaciones significativas, y en condiciones de campo únicamente se observó un incremento en el desarrollo del sistema radical. Sin embargo, ensayos realizados con alcornoque (*Q. suber*) con periodos de endurecimiento mayores (aproximadamente 6 meses), pero intensidades suaves, mostraron importantes cambios en el desarrollo de la biomasa radical y aérea.

En general la aplicación de un periodo de endurecimiento durante las últimas fases de cultivo estimula el desarrollo radical de los plantones en campo. Para obtener respuestas más consistentes de las especies, se deberían aplicar ciclos suaves de endurecimiento durante periodos de unos 2 meses en especies que muestren una gran plasticidad como el lentisco, mientras que en especies poco plásticas, como las quercíneas, los periodos de endurecimiento deberían ser más prolongados. A partir de los resultados obtenidos, en los ambientes mediterráneos de la Comunidad Valenciana, la aplicación de periodos de endurecimiento no supondrá una mejora en la supervivencia de las especies, pero sí que se consiguen brinzales mejor adaptados al medio.

Envases forestales para el desarrollo de una raíz pivotante profunda

Las diferentes especies de *Quercus* se caracterizan por desarrollar una profunda raíz pivotante para acceder a los horizontes profundos, donde el contenido hídrico es más estable a lo largo del año. Se han ensayado, utilizado envases en vivero de medidas especiales, con profundidades de hasta 30 cm. De esta forma, se asegura un buen desarrollo de una raíz pivotante larga que puede acceder antes a los horizontes profundos del suelo. Los resultados iniciales obtenidos con coscoja en parcelas

experimentales en Alicante (ombroclima semiárido) han mostrado que este envase mejora la supervivencia de los brinzales respecto a un envase convencional (72% frente al 44% del envase convencional). En *Q. ilex* y *Q. suber* no se han observado diferencias en supervivencia en un año especialmente húmedo, pero en general este tratamiento produce una mayor acumulación de biomasa en el sistema radical y la colonización del hoyo en profundidad es más eficiente en el envase profundo.

Fertilización

La fertilización representa otra técnica de manipular las características morfofuncionales de los brinzales durante su fase de vivero. Las diferentes especies reaccionan al aporte nutricional incrementando la biomasa y el tamaño del brinjal. Sin embargo, las especies con semilla grande como *Quercus coccifera*, muestran poca respuesta a la fertilización. Probablemente esta diferencia se deba a la utilización de las reservas contenidas en la bellota, como sugiere la relación entre el tamaño de la bellota y el desarrollo de los brinzales observado en varias quercíneas. Los resultados obtenidos en este ensayo en parcelas experimentales en ombroclima semiárido, plantadas en el año 2003 con bajas precipitaciones, muestran que los brinzales de mayor tamaño sufrieron mayor mortalidad que los de menor tamaño durante la primavera posterior a la plantación.

Técnicas de plantación

Las mejoras en la calidad de planta y en la tecnología de las plantaciones han permitido mejorar los resultados de supervivencia en años de sequía extrema hasta en un 40 % aproximadamente (Figura 4). Las principales técnicas ensayadas por el programa han sido:

Preparación del terreno

Para incrementar la disponibilidad de agua puesta a disposición de los brinzales, se ha ensayado la técnica de las microcuencas. Esta técnica consiste en la realización de banquetas con regueros laterales que aumentan la superficie de captación de agua y la dirigen hacia la banqueta propiamente dicha. Hidrológicamente lo que se pretende con la realización de estas estructuras es, además de dirigir el flujo de agua hacia la banqueta, disminuir la energía cinética generada en la ladera, por lo que son aconsejables ángulos entre 45° y 90° desde la vertical, capaces de frenar la velocidad del agua antes de llegar a la banqueta.

Aplicación de lodos de depuradora en repoblaciones

Se ha explorado la reutilización de lodos de depuradora para mejorar la instalación y crecimiento de brinzales en trabajos de repoblación.

La aplicación de lodos debe evitar el riesgo de contaminación del suelo y del freático y una excesiva salinización a corto plazo, que pueda comprometer la supervivencia del brinjal. Combinando los resultados de supervivencia y crecimiento que hemos obtenido con lodos deshidratados y compostados, las dosis recomendadas son de 15 Mg ha⁻¹, si se trata de aplicar lodo seco, y de 30 Mg ha⁻¹ si el producto que se aplica está compostado.

Tubos protectores

La protección de brinzales de encina carrasca con tubos plásticos reduce notablemente uno de los problemas más habituales en la introducción de esta especie en áreas degradadas de ambiente seco-subhúmedo, como es el escaso desarrollo de

aquellos individuos que han conseguido establecerse. Si bien es cierto que en nuestras experiencias no hemos observado un aumento significativo de la supervivencia de los brinzales (58% frente a 65 % en controles y con tubo a los siete años tras la plantación, respectivamente), el crecimiento en altura de los mismos sí ha mejorado con incrementos próximos al 100 %. En el caso de la siembra de bellotas (sólo humectadas o pregerminadas con 8-10 cm de radícula) el efecto de los tubos plásticos es muy positivo sobre la supervivencia de los individuos, debido a la protección física frente a la predación por pequeños roedores. Del mismo modo que en los brinzales, los individuos protegidos muestran un crecimiento mayor que los no protegidos. Por tanto, la utilización en repoblaciones con frondosas de lento crecimiento de este tipo de tubos protectores con ventilación es recomendable con el objetivo de reducir ligeramente la mortalidad de los individuos y, especialmente, aumentar su desarrollo.

Agradecimientos

El programa de I+D Forestal de la Fundación CEAM está financiado por la Generalitat Valenciana y Bancaja. Diversos aspectos de la investigación expuesta han sido financiados por proyectos de la DG Investigación de la Comisión Europea, específicamente SPREAD (ref. EVGI-2001-00027), GEORANGE (ref. EVK2-2000-22089), EUFIRELAB (ref. EVR1-CT-2002-40028), así como a los proyectos de I+D del Plan Nacional TRESECO (ref. CGL2004-06455-C02-02/BOS y FIREMAP (ref. CGL2004-06049-C04-04/CLI).

Referencias bibliográficas

- Vallejo, R. (1996) La restauración de la cubierta vegetal en la Comunidad Valenciana. Valencia: Fundación CEAM. 601 pp
- Vallejo, R. y Alloza, J. A. (2004) Avances en el estudio de la gestión del monte mediterráneo. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo - CEAM. 570 pp.