



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-318

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Mecanismos implicados en la regeneración forestal (natural e inducida) en el norte peninsular: siembra, plantación, facilitación y herbivoría.

ALDAY, J.G.<sup>1</sup>, ZALDÍVAR, P.<sup>2</sup>, TORROBA-BALMORI, P.<sup>3,5</sup>, FERNÁNDEZ-SANTOS, B.<sup>4</sup> y MARTÍNEZ-RUIZ, C.<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de producción vegetal y Ciencia forestal-AGROTECNIO Center, Universitat de Lleida, 25198 Lleida, España.

<sup>2</sup> Departamento de Ciencias Agroforestales, E.T.S.II.AA. de Palencia, Universidad de Valladolid, Campus La Yutera, Avda. de Madrid 50, 34071, Palencia, España.

<sup>3</sup> CIFOR-INIA, Carretera de La Coruña km 7.5, 28040, Madrid, España.

<sup>4</sup> Área de Ecología, Universidad de Salamanca. Campus Miguel de Unamuno 37071, Salamanca, España.

<sup>5</sup> Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible UVA-INIA. E.T.S.II.AA. de Palencia, Campus la Yutera, Avda de Madrid 50, 34071, Palencia, España.

### Resumen

A pesar de los avances en los últimos años en las técnicas de restauración de ecosistemas forestales afectados por perturbaciones antrópicas, los resultados obtenidos no son siempre satisfactorios. Principalmente por problemas en la correcta selección de los lugares en los que realizar las siembras o plantaciones, problemas con las técnicas de plantación o escasez de semillas que garanticen la regeneración natural. En este trabajo se exponen las principales ideas y resultados obtenidos a partir de diferentes estudios de regeneración natural y plantación/siembra de especies de *Quercus*, desarrollados durante los últimos 5 años en zonas mineras de la provincia de Palencia (norte de España). El objetivo de la restauración de estas zonas es la recuperación de las masas forestales afectadas, principalmente de *Quercus petraea* y/o *Q. pyrenaica*, de la manera más efectiva posible. Entre los resultados sobre regeneración natural destacar que es un proceso lento y dependiente de los pulsos de producción de bellota, además de que se ha constatado un efecto positivo de los arbustos sobre el establecimiento de las plántulas. En cuanto a la introducción de plántulas y bellotas destacar que los mejores resultados se dieron en ambos casos bajo arbustos, al incrementar la heterogeneidad en las condiciones micro-ambientales bajo ellos. Se discuten situaciones en las que es más efectiva aplicar una aproximación u otra.

### Palabras clave

*Quercus* spp., plántulas, semillas, arbustos, ecosistemas perturbados, restauración forestal.

### 1. Introducción

Durante los últimos 140 años, en el norte de España, y en concreto en las provincias de Asturias, León y Palencia, la explotación del carbón mineral ha sido una actividad económica fundamental. Las tradicionales explotaciones mineras en pozos subterráneos han dejado paso a nuevas técnicas de extracción más baratas, como la minería a cielo abierto, que sin embargo generan un mayor impacto ambiental. En la actualidad, muchas de estas explotaciones a cielo abierto se localizan en zonas forestales con dominio de *Quercus petraea*, en su límite sur de distribución, y *Q. pyrenaica*, especie casi endémica del Mediterráneo occidental (Torroba-Balmori et al. 2015). En consecuencia, una vez cesada la actividad extractiva, la restauración ecológica de estas áreas debe realizarse de la manera más rápida y efectiva posible, especialmente por el incremento en la degradación de zonas forestales que se está produciendo alrededor del mundo (Kissinger et al. 2012).

Las explotaciones a cielo abierto producen una gran perturbación del entorno en el que se localizan. Por imperativo legal, una vez cesa la actividad minera el pozo creado debe ser rellenado y

restaurado. Sin embargo, la destrucción completa de la vegetación y de la estructura edáfica (incluso durante los procesos de restauración) dificultan el establecimiento de un nuevo ecosistema (Pallavicini et al. 2015). Como consecuencia, el proceso de restauración de estas zonas se puede considerar como un sistema modelo para el estudio del desarrollo de un ecosistema desde su inicio (Hüttl & Weber 2001). Aunque por otro lado, la recuperación y establecimiento en estas zonas restauradas de especies sucesionales tardías como *Quercus petraea* y *Q. pyrenaica* es un reto muy complejo, principalmente a causa de las difíciles condiciones ambientales imperantes en los ecosistemas alterados o en proceso de restauración (Alday et al. 2016a).

A pesar de los avances en los últimos años en las técnicas de restauración forestal, los resultados obtenidos en ecosistemas forestales afectados por perturbaciones antrópicas, no siempre han sido satisfactorios. Existen tres filtros principales que limitan el éxito de la implantación de especies forestales en estas zonas: 1) la correcta selección de los lugares en los que realizar las siembras o plantaciones, 2) problemas con las técnicas de plantación y 3) la escasez de semillas que garanticen los procesos de regeneración natural. Respecto a las técnicas de plantación, en la actualidad la conveniencia (éxito y balance coste-beneficio) del uso de plántulas o bellotas es un tema a resolver (Torroba-Balmori et al. 2015), así como la elección de los lugares en los que realizar las siembras o las plantaciones (por ejemplo: zonas abiertas, bajo arbustos, cerca del borde del bosque). A este respecto, el uso de arbustos como plantas nodriza durante las primeras etapas de las plántulas ha sido ampliamente recomendado por la mejora en las tasas de supervivencia (Gómez-Aparicio et al. 2004; Castro et al. 2006), aunque hay estudios que demuestran también su efecto positivo sobre el crecimiento (Alday et al. 2016a; Torroba-Balmori et al. 2015). Finalmente, el uso de los procesos naturales de revegetación está tomando cada vez más importancia en los proyectos de restauración, ya que además de facilitar el aporte de semillas a las zonas a restaurar, reduce el coste económico de la restauración. Sin embargo, no en todas las zonas el aporte de semillas es suficiente o llega a toda la superficie a restaurar (Alday et al. 2014).

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es sintetizar las principales ideas y resultados obtenidos a partir de diferentes estudios y experimentos de regeneración natural y de plantación y siembra de bellotas llevados a cabo durante los últimos 5 años en zonas mineras de la provincia de Palencia (norte de España). Todos los resultados y experiencias han sido desarrollados con la finalidad de facilitar la restauración de estas zonas, mediante su conversión a masas forestales principalmente de *Q. petraea* y/o *Q. pyrenaica*, pero siempre de la manera más ecológica (i.e. basada en investigación ecológica), económica y efectiva posible.

## 3. Metodología

Las zonas de estudio se localizan cerca de Guardo, Palencia, norte de España (42° 47' N, 4° 50'W, 1110 m de altitud), en huecos mineros restaurados tras el cese de la minería a cielo abierto. El clima es sub-Mediterráneo, con un periodo de sequía estival en julio y agosto, y temperatura y precipitación medias anuales de 9,3 °C y 977 mm respectivamente (Torroba-Balmori et al. 2015). La vegetación que rodea la mina se compone de bosques caducifolios con predominio de roble albar (*Quercus petraea*) y arbustos de leguminosas como *Cytisus scoparius* y *Genista florida* (Milder et al. 2013).

Los huecos mineros se rellenaron con estériles y se recubrieron con tierra vegetal con escaso contenido en semillas (González-Alday et al. 2009). Posteriormente, el suelo se enmendó con estiércol de vacuno y se hidrosebró con una mezcla comercial de gramíneas y leguminosas herbáceas (ver González-Alday et al. 2008; Alday et al. 2011; Milder et al. 2013 para mayor información sobre las prácticas habituales de restauración en la zona). Las superficies restauradas

presentaban, en el momento de los muestreos, una colonización desigual de arbustos, principalmente *Cytisus scoparius* y *Genista florida*, siendo pastoreadas libremente por ganado doméstico (vacas y caballos) y ungulados silvestres (ciervos, corzos, jabalíes).

Una vez seleccionadas las zonas de estudio se comenzaron los trabajos de seguimiento en 2010. Estos consistieron en: 1) estudios de campo para determinar la potencialidad de la colonización natural (Alday et al. 2016a, b) y el efecto de los arbustos sobre las condiciones ambientales (Alday et al. 2014) y 2) experimentos de manipulación en campo con los que testar la efectividad de la plantación o siembra de *Quercus* spp en zonas abiertas y bajo arbustos (Torroba-Balmori et al. 2015).

En primer lugar, se analizó el efecto de los arbustos sobre las condiciones micro-ambientales para caracterizar los cambios que pudiesen producir respecto a las zonas sin arbustos (Alday et al. 2014). Para ello se seleccionaron 120 parcelas de 1m<sup>2</sup> con diferentes coberturas de arbustos (sin arbustos (n = 20), poca cobertura arbustiva (<50%, n = 40) y con mucha cobertura arbustiva (>50%, n = 60). En ellos se cuantificó la cobertura de las especies de plantas vasculares presentes, las características de los arbustos (altura, perímetro, edad), algunos parámetros edáficos (nitrógeno, materia orgánica) y la cobertura de briófitos.

En cuanto a los procesos de colonización natural, estudios previos en la zona demostraron la existencia de un claro gradiente microclimático y de estrés hídrico, combinado con una reducción de la llegada de semillas, desde el bosque natural hacia el centro de la mina restaurada (Milder et al. 2013). Por lo que se diseñó el muestreo para valorar el establecimiento y supervivencia de las plántulas de *Quercus petraea* en tres ambientes diferentes: 1) Bosque natural de *Q. petraea* como control con la finalidad de identificar la regeneración natural en condiciones óptimas, 2) Zona minera próxima al borde del bosque con gran aporte de bellotas y cobertura arbustiva y 3) Zona minera sin contacto con el bosque, donde la llegada de bellotas está muy limitada por la distancia y depredación (Figura 1). En cada zona se muestrearon 20 parcelas de 4 m<sup>2</sup> (2×2 m) durante 5 años. Con este trabajo se pretendía ampliar la comprensión de los procesos de colonización natural, identificar los lugares más favorables para la supervivencia de las plántulas y valorar su viabilidad como fuente de propágulos para la reforestación o como soporte a restauraciones técnicas (ver Alday et al. 2016a).

Finalmente, se realizaron un conjunto de experimentos de manipulación (ver Torroba-Balmori et al. 2015) para valorar el efecto de los arbustos sobre el establecimiento y supervivencia de plántulas y bellotas de *Q. petraea* y *Q. pyrenaica* durante dos periodos de crecimiento. En ellos se evaluó el efecto del arbusto, usando zonas sin arbustos como control, en la supervivencia de plántulas y en la emergencia y supervivencia de plántulas procedentes de bellotas. Se seleccionaron cuatro áreas de 30×30 m, cada una de las cuales estaba dividida en 10 sub-parcelas (cinco bajo arbustos y cinco en áreas abiertas). Sobre estas sub-parcelas se establecieron los tratamientos de forma aleatoria plantando 400 plántulas de *Q. petraea* y otras 400 de *Q. pyrenaica*, de la región de procedencia Cordillera Cantábrica. Se midió la supervivencia y crecimiento de cada plántula durante 36 meses. Para el experimento de bellotas se sembraron 980 bellotas, mitad de cada especie, recolectadas en la zona, aunque ahora se introdujo un nuevo factor de variación que fue una malla para limitar su depredación. Por tanto, se dispuso de parcelas bajo arbusto (n = 5) y en zonas abiertas (n = 13), tanto con malla protectora (n = 17) como sin ella (n = 7).

En este trabajo se sintetizaran los resultados más importantes obtenidos durante estos años, poniendo especial atención en la integración de todos ellos en un modelo conceptual para facilitar la selección del procedimiento de restauración en función de la zona a restaurar (Alday et al. 2014; 2016a, b; Torroba-Balmori et al. 2015).

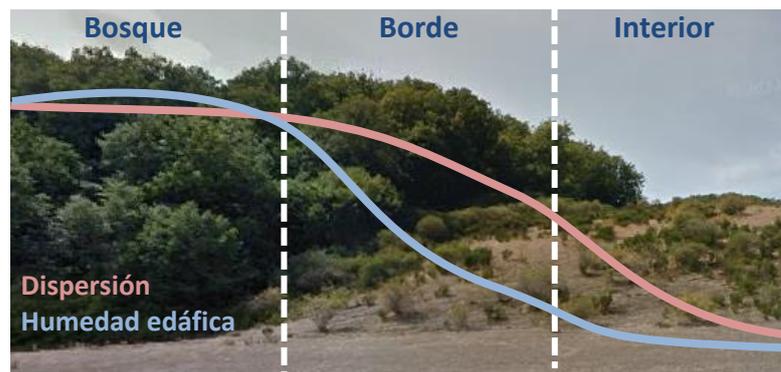


Figura 1. Diagrama esquemático del gradiente de reducción del aporte de bellotas y de la humedad edáfica desde el borde al interior de la mina. Diagrama basado en Milder et al. (2013).

#### 4. Resultados

Los arbustos tuvieron un efecto significativo sobre las condiciones micro-ambientales de la zona minera. Al considerar el volumen del arbusto, se observó un efecto positivo ( $p < 0,010$ ) principalmente en dos parámetros, que aumentaron al aumentar el volumen del arbusto: 1) la profundidad del horizonte de materia orgánica del suelo, que oscila de 0-3,8 cm desde zonas sin arbustos a zonas con arbustos grandes (mayor volumen); y 2) la cobertura de briófitos, que es un indicador de humedad edáfica, que oscila de 0-100% cm desde zonas sin arbustos a zonas con arbustos grandes.

La caracterización de la colonización natural mostró la existencia de un claro gradiente de descenso de la colonización y el establecimiento de las plántulas de *Quercus* spp desde el borde del bosque ( $Z=50,79$ ,  $p < 0,001$ ; Figura 1). El bosque sin alterar presentó la mayor densidad de plántulas  $16 \pm 3,78$  ind/m<sup>2</sup>, cinco veces superior a la densidad en la zona minera colindante ( $3 \pm 0,44$  ind/m<sup>2</sup>), mientras que la densidad en el la zona interior de la mina fue solo de  $1 \pm 0,15$  ind/m<sup>2</sup>.

Tras identificar la colonización, se procedió a la identificación de los micrositios favorables para el establecimiento de las plántulas en la zona de la mina en que las bellotas de *Quercus* se establecían y eran capaces de desarrollarse. Los resultados muestran que hay dos mecanismos que condicionan significativamente ( $p < 0,05$ ) el establecimiento efectivo de plántulas de *Quercus*: 1) las características de los arbustos, principalmente la altura (mayor coeficiente estandarizado 0.50) y la protección lateral (coeficiente estandarizado de 0.40), y 2) la humedad del suelo (coeficiente estandarizado de 0.20; Figura 2). Además, la influencia positiva de los parámetros estructurales del arbusto aumentó hacia el interior de la mina (así la altura se incrementó en un 18%), donde las condiciones para la supervivencia son más adversas. Sorprendentemente, la supervivencia de las plántulas de *Quercus* que se encontraban en este tipo de micrositios rondaba el 75% a los 4 años.

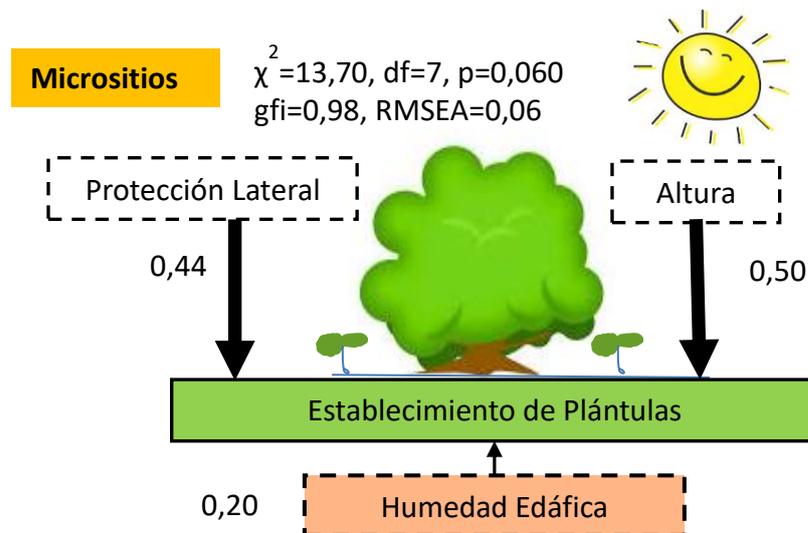


Figura 2. Modelo conceptual del establecimiento de plántulas de *Quercus* en una mina de carbón a cielo abierto restaurada en España. Se presentan las relaciones hipotéticas de dos características estructurales de los arbustos y de la humedad del suelo representadas como coeficientes estandarizados. A mayor valor del coeficiente estandarizado mayor importancia de la característica sobre el establecimiento de las plántulas. Modelo basado en Alday et al. (2016a).

Los experimentos de supervivencia de plántulas y emergencia de bellotas mostraron cómo los mejores resultados se obtuvieron bajo arbustos, en ambos casos. Es decir, los arbustos mejoraron la supervivencia de las plántulas de roble y la emergencia de plántulas procedentes de bellotas en comparación con las zonas abiertas (Figura 3). La supervivencia de las plántulas en las zonas bajo arbustos fue del 90% en los primeros 6 meses, incluyendo el verano, mientras que se redujo al 20% en las zonas abiertas. A los 18 meses desde el inicio del experimento, la supervivencia de las plántulas bajo arbusto se encontraba en torno al 50%, mientras que en las zonas abiertas no llegaba al 10%. Por el contrario, la probabilidad de emergencia de las plántulas procedentes de bellotas bajo los arbustos se encontraba entorno al 30%, mientras que en las zonas abiertas fue menor del 5%. Similares valores se obtuvieron en los tratamientos con malla, ya que con ella se redujo la depredación de bellotas. Un aspecto a destacar fue que la supervivencia de las plántulas fue mayor para *Q. pyrenaica* (10% mayor), sin embargo la emergencia de plántulas a partir de bellotas fue mayor para *Q. petraea* (20% mayor).

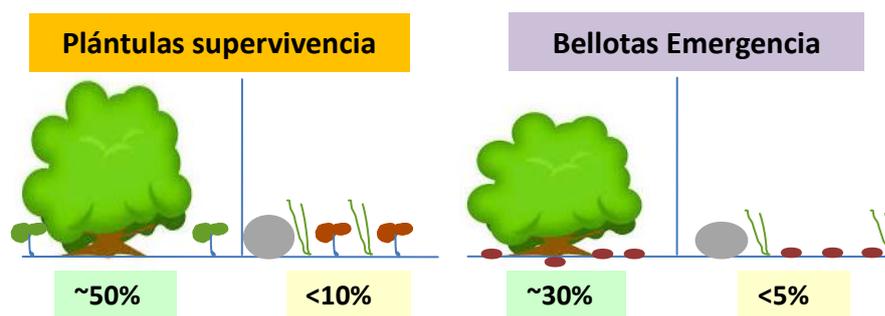


Figura 3. Porcentajes de supervivencia de las plántulas y emergencia de plántulas a partir de bellotas de roble bajo arbustos (izquierda) y en zonas abiertas (derecha). Diagrama basado en Torroba-Balmori et al. (2015).

## 5. Discusión

El conocimiento de los cambios ambientales generados por la colonización de arbustos, así como la dinámica natural de colonización por parte de las especies de *Quercus* y su interacción con otros componentes de la comunidad en ecosistemas recién creados es bastante escaso. Por lo tanto, el estudio y comprensión de las relaciones y mecanismos que mejoran la supervivencia y establecimiento de las plántulas de especies arbóreas en minas pueden ayudar a mejorar las técnicas de reforestación y selección de lugares y, en consecuencia, servir de referente para labores de recuperación en áreas similares. Los resultados presentados aquí muestran claramente cómo una selección adecuada de los lugares en los que plantar y sembrar bellotas pueden mejorar los resultados obtenidos de manera muy satisfactoria.

En primer lugar, es interesante destacar como la colonización del área minera por parte de los arbustos cambia el microambiente bajo su cubierta, modificando la heterogeneidad espacial de las condiciones (humedad y nutrientes, o intensidad de luz que llega al suelo) dentro de las minas recuperadas, lo que podría favorecer el establecimiento de especies sucesionales tardías objetivo, como *Q. pyrenaica* y *Q. petraea*. Es bien conocida la capacidad que presentan los arbustos para mejorar las condiciones edáficas y de nutrientes bajo su cubierta, así como su efecto en la reducción de la intensidad de luz (Pugnaire et al. 2011). Sin embargo, sin una buena colonización por parte de estas especies leñosas desde las áreas próximas no se podrá conseguir una efectiva restauración. A este respecto, nuestros resultados muestran como la densidad de plántulas que se establecen decrece desde el bosque ( $16 \pm 3,78$  ind/m<sup>2</sup>), hacia el borde ( $3 \pm 0,4$  ind/m<sup>2</sup>) y centro de la mina ( $1 \pm 0,15$  ind/m<sup>2</sup>). Resultados, similares han sido descritos en minas próximas, donde el 94 % de las plántulas de *Quercus* que colonizan la zona se encuentran en los primeros 5 m desde el borde del bosque (Milder et al. 2013). El principal motivo de esta reducción en el establecimiento desde el bosque hasta la mina se debe a que el principal mecanismo primario de dispersión de las bellotas es la barocoria, siendo más efectivo a distancias cortas (Müller et al. 2007), y que las plántulas se establecen masivamente bajo la protección de los matorrales colonizadores, cuya cobertura disminuye con la distancia al bosque adyacente.

El establecimiento de plántulas de *Quercus* en las minas se vio favorecido (efecto positivo) por ciertas características de los arbustos (altura y protección lateral), así como por la mayor humedad edáfica bajo su cubierta. El efecto positivo de los arbustos se ha descrito ampliamente, al promover islas de fertilidad (Pajunen et al. 2012), ser fuente de refugio para pájaros dispersantes de bellotas (Torroba-Balmori et al. 2015) y modificar las condiciones micro-ambientales (Gómez-Aparicio et al. 2004). Estos aspectos, mejoran las condiciones alrededor del arbusto, reducción de la intensidad de luz, protección frente a depredación y mayor humedad del suelo, lo que favorece el establecimiento de las bellotas y la supervivencia de las plántulas (Torroba-Balmori et al. 2015). Es interesante destacar que estudios recientes revelan que el efecto positivo de los arbustos nodriza sobre las plántulas es más significativo al aumentar la severidad de las condiciones abióticas (Padilla y Puignaire 2006). En nuestro estudio se observó un patrón similar, al aumentar la intensidad del efecto positivo de las características descritas a medida que nos desplazábamos hacia el interior de la zona minera, donde las condiciones son mucho más estresantes que en la zona borde (Alday et al. 2016a). De hecho, la supervivencia de las plántulas de *Quercus* bajo arbustos en zonas con condiciones más adversas rondó el 75% a los 4 años. Por lo tanto, la posibilidad de utilizar arbustos como plantas nodrizas en procesos de restauración de árboles es más interesante en zonas donde las condiciones abióticas sean más severas (Alday et al. 2016a), en nuestro caso en aquellas más alejadas de la fuente de bellotas que suele coincidir con el bosque adyacente.

Los experimentos sobre establecimiento de plántulas y bellotas mostraron como los arbustos mejoraron la supervivencia y germinación de las plántulas y bellotas de roble. Este resultado corrobora la existencia de un efecto positivo tanto en supervivencia como en germinación cuando plantamos y sembramos debajo de los arbustos en este tipo de zonas mineras (Torroba-Balmori et al.

2015). Este afecto positivo de los arbustos está de acuerdo con la teoría del efecto del vecino entre especies leñosas, y sobre todo cuando el vecino es un arbusto y la especie de interés un árbol (Gómez-Aparicio 2009), al igual que sucede en este caso. Este resultado respalda la idea de utilizar los arbustos como ingenieros del ecosistema, al modificar las condiciones ambientales y edáficas dentro de las minas y hacerlas más favorables para que se establezcan especies forestales, como los robles en este caso (Alday et al. 2014).

Las diferencias en la supervivencia y germinación obtenidas entre *Q. petraea* y *Q. pyrenaica* pueden ser debidas a diferencias en las características ecofisiológicas y sus respuestas al entorno. Así, *Q. petraea* está adaptada a ambientes en los que los recursos son abundantes, pero no tanto a condiciones estresantes, mientras que *Q. pyrenaica* está más adaptada a condiciones de estrés (Rodríguez-Calcerrada et al. 2008). Por lo tanto, es muy interesante realizar la selección de las especies de acuerdo con sus requerimientos ecológicos y características del lugar, para optimizar los resultados.

## 6. Conclusiones

El establecimiento natural de plántulas de roble en estas zonas mineras tiene lugar principalmente debajo de los arbustos (mayores tasas de supervivencia). Sin embargo, a medida que la superficie a restaurar es mayor y la distancia a la fuente de semillas aumenta, la colonización de estas zonas por parte de leñosas arbustivas y arbóreas se reduce considerablemente. Por tanto, es necesario el uso de técnicas antrópicas para favorecer el establecimiento de una cobertura de matorral en zonas alejadas del borde del bosque que favorezcan el establecimiento de los robles. En este sentido, el efecto positivo de los arbustos colonizadores naturales (*Cytisus scoparius* y *Genista florida*) sobre la supervivencia de las plántulas y emergencia de bellotas en comparación con los que se encontraban en zonas abiertas respalda su empleo para acelerar la recuperación forestal de estas zonas mineras, a través de su papel en el establecimiento y supervivencia de las plántulas de especies de *Quercus*.

Tras el análisis de todos los resultados hemos llegado a varias conclusiones interesantes: 1) la colonización natural puede ser la principal herramienta a considerar en la restauración, principalmente de las zonas más próximas a las fuentes de semillas y siempre que estas sean productivas. De este modo se puede ahorrar en el gasto de restauración, aspecto que casi siempre es limitante en este tipo de proyectos. 2) En las zonas aisladas o en las que la colonización natural no sea muy intensa se recomienda la plantación bajo arbustos, siendo mejores los resultados para *Q. pyrenaica* que para *Q. petraea* en zonas con mayor severidad ambiental. Con la plantación se reducen los problemas encontrados en cuanto a la alta depredación y baja germinación de las bellotas. Aunque como pega se podría destacar que es el método más caro. 3) En caso de utilizar bellotas por ser más económico que el anterior, se deberían sembrar bajo arbustos con algún sistema de protección frente a la depredación (malla en nuestro estudio); en este caso *Q. petraea* ofrece porcentajes de germinación mayores que *Q. pyrenaica*. Finalmente, cabría destacar que la introducción de arbustos, si no se produce de forma natural, debe de ser un paso previo a realizar, con la finalidad de modificar las condiciones ambientales y favorecer el establecimiento de especies arbóreas. La restauración forestal de estas zonas mineras es un proceso muy lento que se puede acelerar en cierta medida, pero no por plantación directa en zonas abiertas sobre “suelos” tan desestructurados.

## 7. Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa minera ‘UMINSA’ la información sobre los procedimientos de restauración y el permiso para trabajar en los huecos mineros, a la Agencia Nacional de

Meteorología que ha proporcionado los datos meteorológicos, y a Fernando Valenciano por la ayuda en los trabajos de campo. Este estudio ha sido financiado por el proyecto VA042A10-2 de la Junta de Castilla y León a Carolina Martínez-Ruiz, el 'Programa I: Programa de financiación de grupos de investigación' de la Universidad de Salamanca a Belén Fernández-Santos. Josu G. Alday se encuentra financiado por el programa Juan de la Cierva-Incorporación (IJCI-2014-21393) y Paloma Torroba-Balmori con una beca FPU del Ministerio de Educación a (FPU 12/00125).

## 8. Bibliografía

Alday, J.G.; Zaldívar, P.; Torroba-Balmori, P.; Fernández-Santos, B.; Martínez-Ruiz, C.; 2016a. Natural forest expansion on reclaimed coal mines in Northern Spain: the role of native shrubs as suitable microsites. *Environ. Sci. Pollu. Res.* 23: 13606-13616

Alday, J.G.; Marrs, R.H.; Martínez-Ruiz, C.; 2011. Vegetation succession on reclaimed coal wastes in Spain: the influence of soil and environmental factors. *Appl. Veg. Sci.* 14 84-94.

Alday, J.G.; Santana, V.M.; Marrs, R.H.; Martínez-Ruiz, C.; 2014. Shrub induced understory vegetation changes in reclaimed mine sites. *Ecol. Eng.* 73 691-698.

Alday, J.G.; Zaldívar, P.; Torroba-Balmori, P.; Fernández-Santos, B.; Martínez-Ruiz, C.; 2016b. Micrositios favorables para la regeneración natural de *Q. petraea* en minas de carbón. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 42 1-16.

Castro, J.; Zamora, R.; Hódar, J.A.; 2006. Restoring *Quercus pyrenaica* forests using pioneer shrubs as nurse plants. *Appl. Veg. Sci.* 9 137-142.

Gómez-Aparicio, L.; 2009. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life - forms and ecosystems. *J. Ecol.* 97 1202-1214.

Gómez-Aparicio, L.; Zamora, R.; Gómez, J.M.; Hódar, J.A.; Castro, J.; Baraza, E.; 2004. Applying plant positive interactions to reforestation in Mediterranean mountains: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecol. Appl.* 14 1128-1138.

González-Alday, J.; Marrs, R.H.; Martínez-Ruiz, C.; 2008. The influence of aspect on the early growth dynamics of hydroseeded species in coal reclamation areas. *Appl. Veg. Sci.* 11 405-412.

González-Alday, J.; Marrs, R.H.; Martínez-Ruiz, C.; 2009. Soil seed bank formation during early revegetation after hydroseeding in reclaimed coal wastes. *Ecol. Eng.* 35 1062-1069.

Hüttl, R.F.; Weber, E.; 2001. Forest ecosystem development in post-mining landscapes: a case study of the Lusatian lignite district. *Naturwissenschaften* 88 322-329.

Kissinger, G.; Herold, M.; De Sy, V.; 2012. Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD + Policymakers. Lexeme Consulting, Vancouver Canada.

Milder, A.I.; Fernández-Santos, B.; Martínez-Ruiz, C.; 2013. Colonization patterns of woody species on lands mined for coal in Spain: preliminary insights for forest expansion. *Land. Degrad. Dev.* 24 39-46.

Müller, S.C., Overbeck, G.E., Pfadenhauer, J., Pillar, V.D., 2007. Plant functional types of woody species related to fire disturbance in forest-grassland ecotones. *Plant Ecol.* 189, 1-14.

Padilla, F.M.; Pugnaire, F.I.; 2006. The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. *Front Ecol. Environ.* 4 196-202.

Pajunen, A.; Virtanen, R.; Roininen, H.; 2012. Browsing-mediated shrub canopy changes drive composition and species richness in forest-tundra ecosystems. *Oikos* 121 1544-1552

Pallavicini, Y.; Alday, J.G., Martínez-Ruiz, C.; 2015. Factors affecting herbaceous richness and biomass accumulation patterns in coal mines. *Land. Degrad. Dev.* 26 211–217.

Pugnaire, F.I.; Armas, C.; Maestre, F.T.; 2011. Positive plant interactions in the Iberian Southeast: mechanisms, environmental gradients, and ecosystem function. *J. Arid Environ.* 75 1310-1320.

Rodríguez-Calcerrada, J.; Pardos, J.A.; Gil, L.; Reich, P.B.; Aranda, I.; 2008. Light response in seedlings of a temperate (*Quercus petraea*) and a sub-Mediterranean species (*Quercus pyrenaica*): contrasting ecological strategies as potential keys to regeneration performance in mixed marginal populations. *Plant Ecol.* 195 273-285.

Torroba-Balmori, P.; Zaldívar, P.; Alday, J.G.; Fernández-Santos, B.; Martínez-Ruiz, C.; 2015 Recovering *Quercus* species on reclaimed coal wastes using native shrubs as restoration nurse plants. *Ecol. Eng.* 77 146-153.