

## REGENERACIÓN NATURAL DE *Quercus petraea* EN MINAS DE CARBÓN RESTAURADAS: INFLUENCIA POSITIVA DE LOS MATORRALES AUTÓCTONOS.

Ana Inés Milder<sup>1,2,\*</sup>, Elvira Salazar<sup>1</sup>, Belén Fernández-Santos<sup>1</sup> y Carolina Martínez-Ruiz<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Área de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Salamanca, Campus Miguel de Unamuno, 37071 Salamanca.

\*Correo electrónico: animilder@yahoo.es

<sup>2</sup> Área de Ecología, E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid, Avda. de Madrid 44, 34071 Palencia.

<sup>3</sup> Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible UVa-INIA. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid, Campus La Yutera, Avda. de Madrid 44, 34071 Palencia.

### Resumen

Los matorrales autóctonos pueden acelerar los procesos de colonización de otras especies de plantas, al modificar las condiciones microclimáticas bajo su cubierta y al actuar como resguardo frente a los herbívoros. Esto favorece la regeneración de especies que, de otro modo, en algunos hábitats y periodos de tiempo, resultaría improbable. Este trabajo pretende valorar la influencia de los matorrales autóctonos en la colonización natural de *Quercus petraea* en una mina de carbón restaurada, en Guardo (Palencia). Los resultados indican una mayor presencia de *Q. petraea* en los micro-hábitats con mayor protección de matorral, lo que sugiere que en el área de estudio dichos matorrales ejercen un efecto positivo sobre el establecimiento de *Q. petraea*, que se hace más patente al aumentar el estrés ambiental. En consecuencia, sería interesante estudiar la capacidad de los matorrales para establecerse en condiciones extremas y para facilitar el establecimiento de otras especies, tanto herbáceas como leñosas, con el fin de llevar a cabo restauraciones paisajísticas de bajo coste y mantenimiento mínimo, entre cuyos objetivos no sólo se incluya la sujeción del suelo y la reducción de la erosión, sino también la conservación de la biodiversidad.

Palabras clave: borde del bosque, clima Mediterráneo sub-húmedo, colonización, estériles de mina, facilitación leñosa-leñosa.

### INTRODUCCIÓN

La dispersión de las semillas es un aspecto de enorme interés en la revegetación de áreas mineras, ya que ésta tiene lugar sobre suelo no desarrollado, no colonizado por organismos y con un banco de semillas casi inexistente. En consecuencia, el patrón y duración de la sucesión en escombreras de minas no sólo depende del clima y de las propiedades físico-químicas del sustrato (Piha et al., 1995a, b), sino también de la proximidad de plantas con semillas (Tityanova & Mironycheva Tokavera, 1990). Por tanto, el transporte de semillas desde los alrededores de la escombrera es decisivo para el futuro de la revegetación (Martínez-Ruiz & Marrs, 2007).

En zonas mineras próximas al área de estudio (Milder et al., 2008) y en otras zonas de Norteamérica (Harman et al., 1985) se ha visto que el pastizal que

inicialmente se instala en las escombreras tras la revegetación va siendo colonizado por las especies leñosas desde el borde del bosque, así como por otras especies, tanto leñosas como herbáceas, presentes en el banco del suelo o diseminadas desde zonas más alejadas por el viento o los animales. Por tanto, la matriz de bosque, como fuente de semillas o rebrotes, determinará en parte la composición de especies de las leñosas colonizadoras. Además, los animales ramoneadores que ocupan la matriz del bosque se alimentarán de forma selectiva en la mancha, retardando la colonización de leñosas y también afectando a la composición de especies (Parmenter et al., 1985).

En estas circunstancias, algunos matorrales autóctonos pueden facilitar y acelerar los procesos de colonización de otras leñosas (arbustivas o arbóreas), como ponen de manifiesto los estudios de Callaway et al. (2002), Jordano et al.

(2002) y Castro *et al.* (2002), no sólo por modificar las condiciones microclimáticas bajo su cubierta (Rey Benayas *et al.*, 2002), sino también por actuar como resguardo frente a los herbívoros (Pugnaire, 2001). El resultado de estas interacciones positivas es que se favorece la regeneración de otras especies que, de otro modo, en algunos hábitats y períodos de tiempo, resultaría improbable (Kitzberg *et al.*, 2000).

En este contexto, el objetivo general de este trabajo es si los matorrales autóctonos facilitan la colonización y establecimiento de *Q. petraea* en minas de carbón restauradas. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos: (1) valorar la influencia de la distancia al borde del bosque en la densidad de individuos de *Q. petraea*; (2) caracterizar los distintos tipos de micro-hábitats existentes en función de la distancia al borde entre la escombrera minera restaurada y el bosque adyacente; (3) cuantificar el efecto protector de los matorrales en los micro-hábitats definidos dentro de la escombrera minera, mediante diferentes parámetros; (4) identificar las principales especies de matorral facilitadoras; y (3) valorar el papel protector de los matorrales frente a los grandes herbívoros como causa principal de facilitación de *Q. petraea* en las escombreras.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La zona de estudio se sitúa al noroeste de la provincia de Palencia, junto a la villa de Guardo. Es una zona montañosa, con una altitud de 1180 m, ubicada en la cara sur de las últimas elevaciones de la Cordillera Cantábrica, dentro de la cuenca carbonífera de Guardo–Cervera. Se trata de un antiguo hueco minero restaurado, aproximadamente 15 años antes del muestreo, mediante el rellenado con estériles de carbón procedente de otras explotaciones cercanas, posterior recubrimiento con tierra vegetal,

enmendado con estiércol de vacuno e hidrosebrado con una mezcla comercial de gramíneas y leguminosas herbáceas.

Aunque el bosque más representativo en los alrededores es el de *Quercus pyrenaica*, en la zona de estudio predominan los bosques de *Quercus petraea* (roble albar) que son de los bosques españoles más amenazados. El clima es mediterráneo subhúmedo (M.A.P.A., 1991), con 995 mm de precipitación media anual, más abundante en primavera y otoño, y con sequía estival en julio y agosto. La temperatura media anual es de 9,16 °C.

### Muestreo

Se realizó un primer muestreo, basado en el propuesto por Hardt & Forman (1989), en el que establecieron 23 transectos de 22 m de longitud que se extendieron 11 m hacia el pastizal y 11 m hacia el interior del bosque. A lo largo del transecto, se establecieron 6 inventarios de 2 x 2 m, centrados a intervalos de 4 m. Los transectos se establecieron a intervalos de 30 m, en sentido de las agujas del reloj, a partir del punto de inicio ubicado al sudeste en la mancha de pastizal.

La observación de los resultados preliminares indicaba la existencia de diferentes micro-hábitats dentro de la mina y en función de la distancia al borde del bosque, condicionados por el mayor o menor grado de cobertura de matorral. Por tanto, se realizó un segundo muestreo formado por 37 parcelas de 2x2 m ubicadas a 4 m del borde del bosque y 14 parcelas del mismo tamaño, ubicadas a 8 ó 12 m del borde del bosque.

En cada inventario de 2x2 m se tomó nota del tanto por ciento de cobertura de matorral (para caracterizar los distintos micro-hábitats), del número de individuos de roble presentes (midiendo su altura y diámetro) y se identificó la especie de matorral que actuaba como protectora (midiendo su altura) y el grado de protección que ejercía, mediante dos variables (siguiendo la metodología de García *et al.*, 2000): (1) el ángulo de

contacto directo entre la planta de *Q. petraea* y los matorrales circundantes; y (2) la cobertura de matorral medida como porcentaje de la superficie de suelo cubierta por vegetación leñosa en 4 transectos de 1 m situados en los cuatro puntos cardinales, centrados sobre la plántula de *Q. petraea*, concretamente cuantificando su intersección a los 0,25, 0,5, 0,75 y 1 m de distancia de dicha planta. La intensidad de herbivoría se cuantificó a partir del porcentaje de individuos de *Q. petraea* con signos de ramoneo. Por último, el grado de asociación entre las plantas de *Q. petraea* y la vegetación de los alrededores, en relación con la herbivoría, se valoró mediante dos índices complementarios: (1) la altura máxima alcanzada por el matorral en contacto directo con el roble; y (2) el sobrecubrimiento, valorado como la diferencia de altura del roble y la máxima altura alcanzada por el matorral en contacto directo con él (un valor negativo indica que el matorral crece por encima del roble recubriéndolo).

### Tratamiento de datos

Debido a la no normalidad y no homocedasticidad de los datos, se utilizó el test no paramétrico de Kruskal-Wallis para comparar más de dos grupos de muestras independientes y el test de la U de Mann-Whitney para las comparaciones por pares. Estos análisis se utilizaron para comparar la densidad de individuos de *Q. petraea* en función de la distancia al borde del bosque y para la caracterización de los micro-hábitats en las distintas zonas, y se realizaron con el paquete estadístico STATISTICA 6.0.

Para analizar el efecto protector de los matorrales y las principales especies leñosas facilitadoras se aplicaron análisis de la  $\chi^2$  que se realizaron con el programa estadístico R (versión 2.6; R Development Core Team, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El patrón de colonización de *Q. petraea* presenta una tendencia descendente en cuanto a la intensidad de colonización a medida que se incrementa la distancia al borde. *Q. petraea* se encuentra restringido a las proximidades del bosque, concentrándose el 91% de los individuos en los primeros 5 m, y apenas sobrepasa los 13 m de distancia al borde (Milder et al., 2008). Esto queda patente debido a la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro primeras posiciones (las tres dentro del bosque y la primera de la mina), y la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre estas cuatro posiciones y las dos más alejadas del borde del bosque (Figuras 1 y 2). Por tanto, se pueden diferenciar claramente tres ambientes: el bosque, la posición 4 y la posición 5-6.

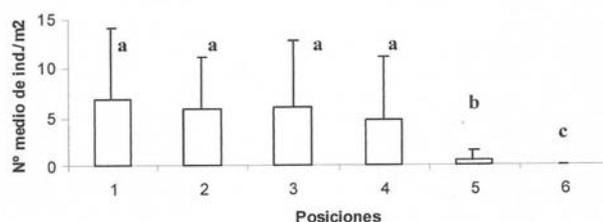


Figura 1. Número medio de individuos de *Q. petraea* por metro cuadrado y desviación estándar ( $n = 23$ ), en las diferentes posiciones del transecto.

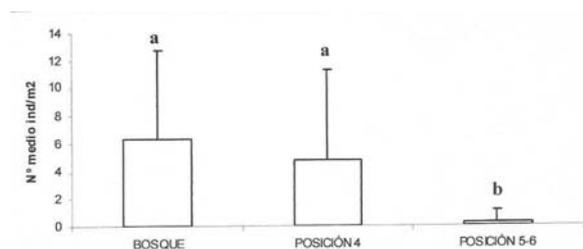


Figura 2. Número medio de individuos de *Q. petraea* por metro cuadrado y desviación estándar, en los diferentes ambientes ( $n = 69, 23$  y  $46$ , respectivamente).

Este patrón de colonización se debe no sólo a la estrategia de dispersión barócora de la especie, sino también a la disponibilidad de micro-sitios adecuados (Jordano et al., 2002), ya que es una especie que en sus primeras etapas de vida necesita sombra (Rodríguez et al., 2007), y esta se la proporciona el propio bosque o las zonas cubiertas de matorral. Además, hay que

tener en cuenta que las deficiencias físicas, como la compactación (Townsend & Hodgson, 1973), y las deficiencias nutricionales (Bradshaw, 1974), que suelen presentar los estériles de mina, pueden también limitar el establecimiento de muchas especies de plantas (Piha et al., 1995a,b).

Dentro de los tres ambientes que ya se han diferenciado claramente se pueden distinguir, a su vez, micro-hábitats en función de la superficie cubierta por matorral. Tanto en la posición 4, como en la 5-6, el número de individuos de *Q. petraea* aumenta significativamente al incrementarse el porcentaje de cobertura de matorral (Figuras 3 y 4), mientras que en la posición de bosque no se encuentra una relación entre el incremento de la cobertura de matorral y el incremento del número de individuos de *Q. petraea* (Figura 5).

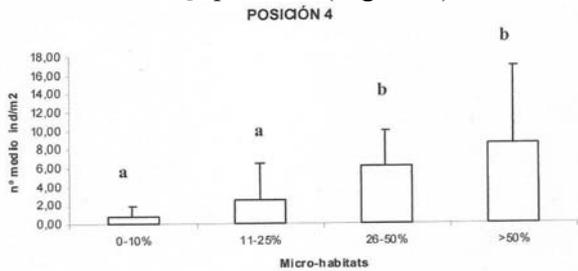


Figura 3. Número medio de individuos de *Q. petraea* por metro cuadrado y desviación estándar (n = 15), según el porcentaje de cobertura de matorral, en la posición 4.

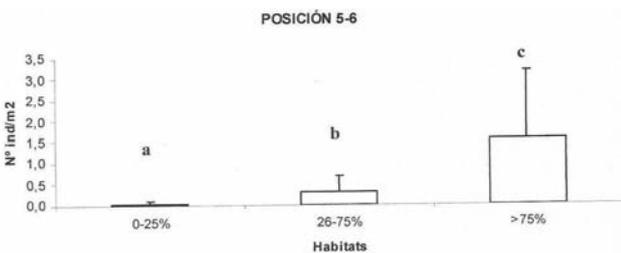


Figura 4. Número medio de individuos de *Q. petraea* por metro cuadrado y desviación estándar (n = 15), según el porcentaje de cobertura de matorral, en la posición 5-6.

También conviene destacar que en las posiciones 4 y 5-6 se produce un incremento significativo para valores de cobertura de matorral superiores al 25%, aunque en el caso de la posición 5-6 el incremento es más significativo para coberturas de matorral mucho más elevadas

(por encima del 75%). Por el contrario, en la posición de bosque la densidad de robles disminuye significativamente en las zonas con una cobertura de matorral de más del 50%. Probablemente, esto se debe a que fuera del bosque las especies facilitadoras se encuentran muy aisladas y es necesaria su presencia en porcentajes elevados para que las bellotas puedan germinar y las plántulas consigan establecerse con éxito; mientras que en el seno del bosque las plántulas de roble albar se ven más favorecidas por las mejores condiciones ambientales que ofrece el bosque como conjunto, que por el efecto protector de los matorrales.

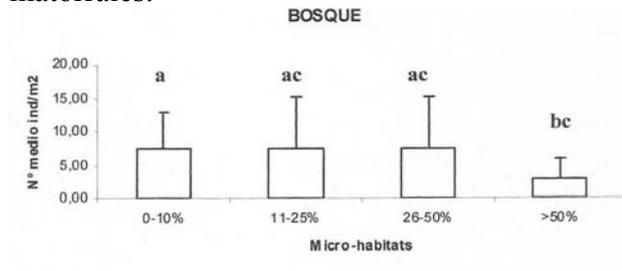


Figura 5. Número medio de individuos de *Q. petraea* por metro cuadrado y desviación estándar (n = 15), según el porcentaje de matorral dentro del bosque.

Además, en las posiciones 4 y 5-6, se ha encontrado una relación estadísticamente significativa entre el incremento del número de individuos de *Q. petraea* y todas las variables estudiadas para cuantificar el efecto protector de los matorrales (porcentaje individuos con contacto con el matorral, ángulo de contacto y sobrecubrimiento). Hay que destacar que en la posición 5-6 parece que el efecto protector de los matorrales es mayor, ya que se encuentra un mayor porcentaje de individuos con alto porcentaje de contactos, elevado ángulo de contacto y alto sobrecubrimiento por parte del matorral. Es posible que este efecto facilitador de los matorrales sobre el establecimiento y supervivencia de los robles no sea tan marcado en la posición 4, por su proximidad al borde del bosque, cuya influencia en cuanto a protección y aporte de bellotas, permite la presencia de

individuos de *Q. petraea* en zonas abiertas sin apenas cobertura de matorral.

Otro aspecto a destacar es que, tanto en la posición 4 como en la 5-6, *Genista florida* es el matorral que ejerce con mayor frecuencia un efecto facilitador sobre *Q. petraea* (posición 4:  $\chi^2 = 186,43$ ;  $df = 5$ ;  $p = 2,2e^{-16}$ ; posición 5-6:  $\chi^2 = 174,14$ ;  $df = 2$ ;  $p = 2,2e^{-16}$ ). Concretamente, en la posición 5-6 (Figura 6) esta especie representa el 91% de los individuos de matorral ejerciendo un papel protector sobre el roble, mientras que en la posición 4 representa el 65%. También se debe señalar que, al contrario que en otros estudios (García *et al.*, 2000), el mayor efecto protector lo ejerce *Genista florida* y no los matorrales espinosos. Probablemente, esto se debe a que ocupa mayores superficies y más continuadas desde las proximidades del bosque hacia los espacios más abiertos.

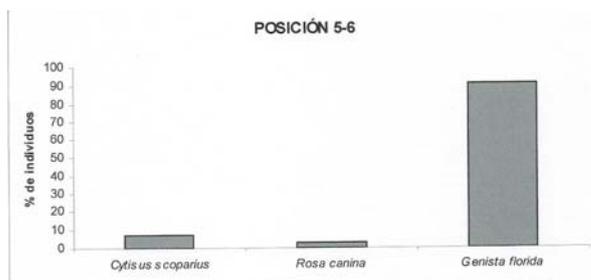


Figura 6. Porcentaje de individuos de las distintas leñosas facilitadoras.

Por último, y como era de esperar, el porcentaje de individuos ramoneados disminuye significativamente según aumenta el porcentaje de cobertura de matorral, tanto en la posición 4 ( $\chi^2 = 137,09$ ;  $df = 3$ ;  $p = 2,2e^{-16}$ ), como en la posición 5-6 ( $\chi^2 = 274,25$ ;  $df = 3$ ;  $p = 2,2e^{-16}$ ). De tal manera que en coberturas bajas de matorral (0–10%) se observa un elevado porcentaje de individuos ramoneados tanto en la posición 4 como en la 5-6 (73,33 y 96,67%, respectivamente), mientras que para coberturas de matorral superiores al 25% el ramoneo es muy bajo (1,67% en la posición) o nulo (en la posición 5-6).

Esto pone de manifiesto que el efecto nodriza del matorral, facilita la presencia y colonización de especies bajo su influencia,

pero no sólo gracias a la modificación de las condiciones ambientales bajo su influencia, sino también debido a la protección mecánica que ejercen frente a los herbívoros (Choler *et al.*, 2001).

En conclusión, conviene destacar que la restauración de los ambientes degradados, como es el área de estudio, podría ser optimizada utilizando técnicas basadas en el propio funcionamiento de los ecosistemas, como la incorporación de los procesos de facilitación entre las labores de restauración, que permitiría acelerar el proceso natural de sucesión ecológica y reducir algunos impactos ambientales y visuales asociados a técnicas tradicionalmente empleadas en estos lugares, y, en definitiva, garantizar una gestión forestal con éxito para el establecimiento de ciertas especies.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRADSHAW, A.D.; 1984. Ecological principles and land reclamation practice. *Landscape Plan* 11:35-48.
- CALLAWAY, R.M.; BROOKER, R.W.; CHOLER, P.; KIKVIDZE, Z.; LORTIE, C.J.; MICHALET, R.; PAOLINI, L.; PUGNAIRE, F.I.; NEWINHAM, B.; ASCHEHOUG, E.T.; ARMAS, C.; KIKODZE, D. & COOK, B.J.; 2002. Positive interactions among alpine plants increase with stress. *Nature* 417: 844-848.
- CASTRO, J.; ZAMORA, R.; HODAR, J.A. & GOMEZ, J.M.; 2001. The use of shrub as nurse plants: a new technique for reforestation in Mediterranean mountains. *Restor. Ecol.* 10: 297-305.
- CHOLER, P.; MICHALET, R. & CALLAWAY, R.M.; 2001. Facilitation and competition on gradients in alpine plant communities. *Ecology* 82(12): 3295-3308.
- GARCÍA, D.; ZAMORA, R.; HODAR, J.A.; GOMEZ, J.M. & CASTRO, J.; 2000. Yew (*Taxus baccata* L.) regeneration in facilitated by fleshy-fruited shrubs in

- Mediranean environment. *Biol. Conserv.* 95: 31-38.
- HARDT, R.A. & FORMAN, R.T.T.; 1989. Boundary Form Effects on Woody Colonization of Reclaimed Surface Mines. *Ecology* 70(5): 1252-1260.
- HARMAN, D.M.; VAN TIÑE, M.A. & THOMPSON, W.A.; 1985. Comparison of locust borer *Megacyllene robiniae* Forster (Coleoptera: Cerambycidae) attacks on coal stripmined lands and lands not mined. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 78: 50-53.
- JORDANO, P.; ZAMORA, R.; MARAÑÓN, T. & ARROYO, J.; 2002. Claves ecológicas para la restauración del bosque mediterráneo. Aspectos demográficos ecofisiológicos y genéticos. *Ecosistemas* 1:83-92.
- KITZBERG, T.; STEINAKER, D.F. & VELEN, T.T.; 2000. Effects of dynamic viability on facilitation of tree establishment in northern Patagonia. *Ecology* 7: 1914-1924
- M.A.P.A.; 1991. *Caracterización agroclimática de la provincia de Palencia*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- MARTINEZ-RUIZ, C. & FERNANDEZ-SANTOS, B.; 2001. Papel de la hidrosiembra en la revegetación de escombreras mineras. *Informes de la Construcción* 53 (476): 27- 37.
- MARTINEZ-RUIZ, C. & MARRS, R.H.; 2007. Some factors affecting successional change on uranium mine wastes: insights for ecological restoration. *Appl. Veg. Sci.* 10: 333-342.
- MILDER, A.I., FERNÁNDEZ-SANTOS, B. & MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2008. Influencia de la forma del borde del bosque en la colonización de leñosas: aplicaciones en restauración de escombreras mineras. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 28: 259-264.
- PARMENTER, R.R.; MACMAHON, J.A.; WAALAND, M.E.; STEUBE, M.M.; LANDRES, P. & CRISAFULLI, C.M.; 1985. Reclamation of surface coal mines in western Wyoming for wildlife habitat. *Reclam. Revegetation Res.* 4: 93-115.
- PIHA, M.I.; VALLACK, H.W.; REELER, B.M. & MICHAEL, N.; 1995a. A low input approach to vegetation establishment on mine and coal ash wastes in semi-arid regions. I. Tin mine tailing in Zimbabwe. *J. Appl. Ecol.* 32: 372-381.
- PIHA, M.I.; VALLACK, H.W.; REELER, B.M. & MICHAEL, N.; 1995b. A low input approach to vegetation establishment on mine and coal ash wastes in semi-arid regions. II. Tin mine tailing in Zimbabwe. *J. Appl. Ecol.* 32: 382-390.
- PUGNAIRE, F.I. & LUQUE, M.T.; 2001. Changes in plant interactions along a gradient of environmental stress. *Oikos* 93: 42-49.
- REY BENAYAS, J.M.; LOPEZ PINTOR, A.; GARCIA, C.; DE LA CAMARA, N.; STRASSER, R. & GOMEZ-SAL, A.; 2002. Early establishment of planted *Retama sphaerocarpa* seedlings under different levels of light, water and weed competition. *Plant Ecol.* 159: 201-209.
- RODRIGUEZ, J.; PARDOS, J.A.; GIL, L.; REICH, P.B. & ARANDA, I.; 2007. Light response in seedlings of a temperate (*Quercus petraea*) and a sub-Mediterranean species (*Q. pyrenaica*): contrasting ecological strategies as potential keys to regeneration performance in mixed marginal populations. *Plant Ecol.* 195: 273-285.
- TITYANOVA, A.A. & MIRONYCHEVA TOKAVERA, N.P.; 1990. Vegetation succession and biological turnover on coal-mining spoils. *J. Veg. Sci.* 1: 643-652.
- TOWSEND, W.N. & HODGSON, D.R.; 1973. Edaphological problems associated with deposits of pulverized fuel ash. In: R.J. Hutnik & G. Davis (eds.), *Ecology and Reclamation of Devasted Land*: 45-56. Gordon & Breach, New York.