

INFLUENCIA DE LA HETEROGENEIDAD EDÁFICA Y DE LA TOPOGRAFÍA EN LA COMPOSICIÓN DE ESPECIES VEGETALES SOBRE ESCOMBRERAS MINERAS DE CARBÓN DEL NORTE DE ESPAÑA

Daphne López Marcos^{1,2,3,*}, M^a Belén Turrión Nieves^{2,3} y Carolina Martínez-Ruiz^{1,3}

¹ Área de Ecología, E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid, Campus La Yutera, Avda. de Madrid 44, 34071, Palencia. *Correo electrónico: dalomar86@hotmail.com

² Área de Edafología y Química Agrícola, E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia, Universidad de Valladolid, Campus La Yutera, Avda. de Madrid 44, 34071, Palencia

³ 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

La restauración de escombreras mineras es un reto para los profesionales de este campo y comprender sus limitaciones ecológicas es un requisito para garantizar su restauración con éxito. Por ello se plantea evaluar la influencia de la heterogeneidad edáfica y topográfica en la composición de especies vegetales en una ladera de una mina de carbón restaurada, donde se distinguieron dos comunidades vegetales (pastizal-matorral) y se compararon con una comunidad vecina de borde de bosque. Se encontraron diferencias en composición de especies entre el bosque y las otras comunidades, siendo la capacidad de retención de agua (CRA) la variable más relacionada con la dinámica de la vegetación hacia etapas maduras. Se observó un gradiente altitudinal en la distribución de las comunidades de la ladera restaurada, ocupando un pastizal dominado por *Poa bulbosa* y *Medicago lupulina* la parte más alta de la ladera, donde el carbono fácilmente oxidable (CFO) fue mayor, y un matorral dominado por *Cytisus scoparius* y *Genista florida* la más baja de la ladera, donde la CRA fue más alta. Observamos que las variables relacionadas con el agua en el suelo y con la materia orgánica en el suelo son indicadores del estado de madurez de las comunidades restauradas.

Palabras clave: composición florística, mina restaurada, propiedades edáficas, sucesión ecológica, topografía.

INTRODUCCIÓN

La extracción de carbón a cielo abierto en el norte de España ha afectado aproximadamente a 5.000 hectáreas, lo que ha generado fuertes impactos ambientales (MORENO-DE LAS HERAS *et al.*, 2008). Por ello, la restauración de estas áreas es una necesidad urgente. El objetivo final de la restauración ecológica de estas zonas es la creación de ecosistemas auto-suficientes a largo plazo, con vegetación semejante a la existente antes de la actividad extractiva. Sin embargo, la restauración eficaz de las minas es un proceso complejo, dificultado principalmente por la total eliminación de la vegetación y del suelo (COOKE & JOHNSON, 2002). La sucesión ecológica es el marco conceptual en el cual se basa la restauración ecológica. Por ello, el conocimiento de estos procesos en diversos ecosistemas, permite plantear diferentes

enfoques para realizar una restauración ecológica exitosa.

Es muy importante durante el proceso de recuperación en estas áreas el desarrollo de un suelo en pleno funcionamiento. Sin embargo, poco se sabe sobre cómo cambian los parámetros del nuevo suelo formado durante las diferentes fases de la revegetación de las minas de carbón, sobre todo en un clima mediterráneo (ALDAY, 2010). Bajo estas condiciones, la heterogeneidad ambiental es un elemento clave en la regeneración de la vegetación después de una perturbación (STEEN, 1999). Estudios recientes de sucesión en terrenos restaurados procedentes de la minería vienen demostrando que los cambios en la composición florística están condicionados por la variación de los factores edáficos (ALDAY, 2010; MORENO-DE LAS HERAS *et al.*, 2008). Por ello se plantea este trabajo con el objetivo de estudiar la influencia de la

heterogeneidad edáfica y topográfica sobre la composición florística, en una ladera minera restaurada cerca de Guardo (Palencia). Para ello, se pretende: (a) evaluar la influencia del tipo de comunidad (pastizal y matorral) y posición en la ladera (partes alta, media y baja) sobre las propiedades edáficas, y (b) analizar la influencia de las propiedades edáficas y características topográficas sobre la composición de especies vegetales y la dinámica sucesional.

MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio se sitúa cerca de la villa de Guardo, al noroeste de la provincia de Palencia. Se trata de una mina de carbón a cielo abierto, restaurada en octubre de 2000 en el monte Corcos (Guardo). Dentro de ella, se ha seleccionado, para este estudio, una ladera de grandes dimensiones y fuerte pendiente (12-35°), orientada al sur, dominada por pastizal y matorral, así como la comunidad adyacente de borde de bosque. El clima es Mediterráneo Subhúmedo (MAPA, 1991), y los suelos más extendidos entorno al área de estudio pertenecen al orden de los Inceptisoles y Entisoles (JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 1988). Estudios previos (LÓPEZ-MARCOS, 2012) han mostrado diferencias entre el suelo del bosque de referencia y el del área restaurada, en cuanto a las variables racionadas con el agua en el suelo, agua útil (Au) y capacidad de retención de agua (CRA), y las variables relacionadas con la materia orgánica, carbono total (C) y carbono fácilmente oxidable (CFO); con valores siempre más altos en el bosque de referencia.

Para alcanzar los objetivos planteados se muestrearon en dicha ladera, en primavera de 2011, siete transectos paralelos a la línea de pendiente, tres ubicados en el pastizal, tres en el matorral y uno en la comunidad de borde de bosque. En cada transecto se establecieron seis puntos de muestreo consecutivos, y en cada

una de ellos se realizaron dos inventarios de vegetación, el tamaño de los transectos osciló de entre 90 a 130 m. Se utilizaron 2 tamaños de inventarios en función de la comunidad inventariada, 2x2m para las comunidades de matorral y bosque (transectos A, E, F y G) modelo ya utilizado en estudios similares (GARCÍA et al., 2000; HARDT & FORMAN, 1989; SALAZAR, 2008; MILDNER et al., 2011) y 0,5x0,5m para las comunidades de pastizal (transectos B, C y D) ya utilizado por otros investigadores (CALVO et al., 1990; DIEZ et al., 1990; DIEZ et al., 1993-94; FERNÁNDEZ et al., 1990; FERNÁNDEZ SANTOS et al., 1992; MILLER, 1979; PÉREZ-CORONA et al., 1996; RIVERO Y PUERTO, 1996; TÁRREGA Y LUIS, 1988-89; TÁRREGA et al., 1997), estimando la cobertura en proyección vertical de cada una de las especies encontradas, y un muestreo edáfico, tanto de muestras alteradas como inalteradas, para analizar diferentes parámetros físico-químicos del suelo. Además, también se realizó una caracterización topográfica que consistió en la toma de datos de altitud (Alti), pendiente (Pend), y profundidad del suelo hasta el estéril.

Con los suelos tomados en la zona de estudio se realizó una caracterización química: (pH, conductividad eléctrica (CE), carbono fácilmente oxidable, fósforo asimilable (Pa), carbono y nitrógeno total, ratio carbono fácilmente oxidable entre carbono total (CFO/C) y ratio carbono total entre nitrógeno total (C/N) y física: % de gruesos, textura, densidad real (Dr) y aparente (Da), porosidad (Pr), capacidad de campo (CC), coeficiente de marchitamiento (CM), agua útil (Au) y capacidad de retención de agua (CRA). La información relativa a los métodos de análisis de los suelos puede consultarse en (LÓPEZ-MARCOS, 2012).

El tratamiento de los datos consistió en varios análisis de ordenación. En primer lugar se realizaron análisis indirectos tipo DCA (Detrended Correspondence Analysis) y, tras la interpretación de los ejes de

ordenación, se analizó la influencia de las variables ambientales objeto de estudio sobre la composición florística por medio de análisis tipo CCA (Canonical Correspondence Analysis), haciendo uso del procedimiento de “forward selection” para evaluar la significación de las variables seleccionadas, y del test de Montecarlo, con 499 permutaciones, para valorar la significación del modelo. Todos los análisis se realizaron con el programa con el programa CANOCO para Windows 4.5 (TER BRAAK & ŠMILAUER, 2002), con las opciones predeterminadas por defecto y sin eliminar las especies raras.

RESULTADOS

Diferencias en vegetación entre las comunidades de bosque y ladera restaurada

Todas las parcelas de bosque se encuentran en el extremo derecho del DCA1, claramente separadas de las parcelas

muestreadas en la ladera minera restaurada (Figura 1a). Esto sugiere que la comunidad florística del bosque es muy distinta de la de la mina. De hecho la comunidad de bosque está dominada por *Quercus pyrenaica* y acompañada por *Quercus petraea*, junto con otras especies exclusivas, constituyendo la etapa clímax de la zona de estudio.

En cuanto a las variables ambientales responsables de esas diferencias en composición florística, el proceso de “forward selection”, aplicado al análisis CCA (Figura 1b), identifica como variables significativas a 6 de las 21 introducidas en el análisis, siendo la más influyente la CRA. Cuatro de estas variables están asociadas a la vegetación boscosa: CRA, CFO, C y Au, y toman valores más altos hacia la derecha del CCA1. Las otras tres variables están asociadas a la vegetación de la ladera restaurada, aumentando la altitud hacia la parte negativa del CCA2, la pendiente hacia la parte positiva del CCA2 y el pH hacia la izquierda del CCA1.

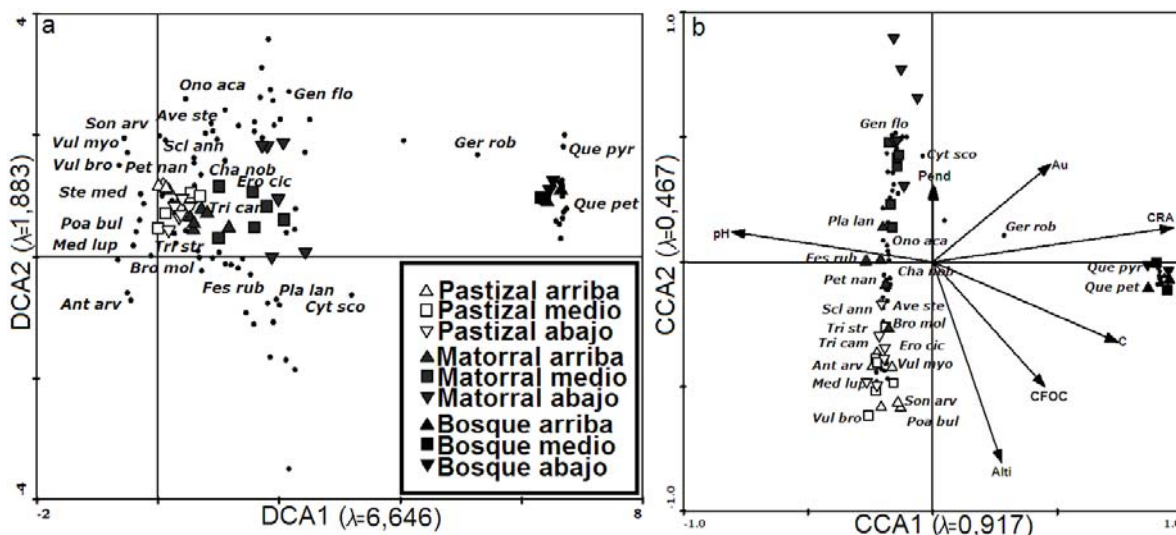


Figura 1. a) Primer plano factorial del análisis DCA en el que se ordenan todas las parcelas de muestreo de acuerdo con su composición florística; b) Triplot de especies-parcelas-variables ambientales del análisis CCA de la zona de estudio, incluyendo el bosque de referencia. Todas las especies aparecen representadas (pequeños círculos negros), pero sólo identificadas aquellas con cobertura >1%. Abreviaturas de las especies: Ana cla (*Anacyclus clavatus*), Ant arv (*Anthemis arvensis*), Ave ste (*Avena sterilis*), Bel per (*Bellis perennis*), Bro mol (*Bromus mollis*), Cer glo (*Cerastium glomeratum*), Cyt sco (*Cytisus scoparius*), Cha nob (*Chamaemelum nobile*), Ero cic (*Erodium cicutarium*), Fes rub (*Festuca rubra*), Gal apa (*Galium aparine*), Gen flo (*Genista florida*), Ger mol (*Geranium molle*), Ger rob (*Geranium robertianum*), Hor vul (*Hordeum vulgare*), Med lup (*Medicago lupulina*), Pla lan (*Plantago lanceolata*), Pet nan (*Petrorhagia nanteuilli*), Poa bul (*Poa bulbosa*), Rub per (*Rubia peregrina*), San men (*Sanguisorba mienor*), Scl ann (*Scleranthus annuus*), Son arv (*Sonchus arvensis*), Son ole (*Sonchus oleraceus*), Tri cam (*Trifolium campestre*), Tri str (*Trifolium striatum*), Vul bro (*Vulpia bromoides*), Vul myo (*Vulpia myuros*).

El modelo es significativo de acuerdo con el test de Monte Carlo, tanto para el primer eje ($F=8,232$; $p = 0,002$) como para el conjunto de ejes ($F=2,780$; $p = 0,002$).

El primer eje del CCA separa, por tanto, hacia la derecha la vegetación natural (comunidad de referencia) de la asentada sobre la ladera restaurada (hacia la izquierda). Pero, además, el segundo eje describe un gradiente altitudinal-sucesional en la segregación de las comunidades de plantas desde el pastizal xerofítico, en el extremo negativo, al matorral nanofanerofítico en el positivo.

Diferencias en vegetación entre las comunidades de la ladera restaurada

Se observa un gradiente de parcelas y especies respecto al DCA1 (Figura 2a), situándose en el extremo izquierdo la mayoría de las parcelas que ocupan la parte más alta de la comunidad de pastizal, donde predominan especies herbáceas, tales como *Medicago lupulina*, *Poa bulbosa*, *Anthemis arvensis* y *Vulpia bromoides*; que tienden a disminuir su presencia hacia la derecha del DCA1. En la parte media del gradiente encontramos las parcelas que ocupan la posición más baja en la comunidad de pastizal y las que ocupan las partes altas en la comunidad de matorral, en las que destacan asteráceas y leguminosas de bajo porte, en su mayoría del género *Trifolium*. Finalmente, en el extremo derecho del DCA1 se sitúan las parcelas que ocupan las partes bajas de la comunidad de matorral, a las que aparecen asociadas las leguminosas arbustivas, representadas por *Cytisus scoparius* y *Genista florida*, junto con herbáceas como *Rubia peregrina*, *Geranium robertianum*, *Galium aparine* y *Sanguisorba minor*. Esa distribución de las parcelas de muestreo a lo largo del DCA1 sugiere la existencia de un gradiente altitudinal en la distribución de las dos comunidades estudiadas, ocupando el pastizal la parte más alta de la ladera y el matorral la más baja. De modo que de izquierda a derecha, a lo largo del eje 1 del DCA, encontramos desde comunidades

pascícolas dominadas por gramíneas, hasta las comunidades de piornal más maduras, pasando por comunidades de herbáceas con mayor riqueza de especies.

El proceso de “forward selection” aplicado al análisis CCA (Figura 2b) identifica como significativas a 5 de las 21 variables ambientales introducidas en el análisis, siendo la más influyente la CRA. Tres de estas variables están asociadas a la presencia de pastizal: CFO /C, altitud y Pa, y alcanzan valores más altos hacia la izquierda del CCA1 (Figura 2b). Las otras dos variables están asociadas a la presencia de matorral: CRA y pendiente, y alcanzan valores más altos hacia la derecha del CCA1. El modelo es significativo de acuerdo con el test de Monte Carlo, tanto para el primer eje ($F= 4,451$; $p = 0,002$) como para el conjunto de ejes ($F= 1,821$; $p = 0,002$).

DISCUSIÓN

Como era de esperar, los resultados muestran importantes diferencias en composición florística entre la comunidad natural (el bosque adyacente a la mina) y las comunidades asentadas sobre el área minera restaurada hace 12 años, encontrándose un alto porcentaje de especies exclusivas del bosque. Cinco variables edáficas (CRA, Au, CFO, C y pH) y dos topográficas (altitud y pendiente) son las principales responsables de esas diferencias. En concreto, los valores más altos en las variables relacionadas con el agua en el suelo (CRA y Au) y la materia orgánica del suelo (CFO y C) están asociados al bosque, mientras que los valores más altos de pH, Alti y Pend se dan en el área minera restaurada.

Los resultados también ponen de manifiesto la existencia de un gradiente altitudinal en la distribución de las comunidades vegetales a lo largo de la ladera restaurada, ocupando el pastizal la parte más alta y el matorral la más baja. En este caso la CRA sigue siendo la variable

edáfica más influyente que alcanza, junto con la Pend, valores más altos en las partes bajas, donde domina el matorral; CFO/C, Alti y Pa toman valores más altos en las partes altas, donde domina el pastizal.

Las diferencias edáficas entre las comunidades de bosque y del área minera restaurada se pueden justificar por el

distinto origen de los suelos (natural y tras restauración sobre estériles de carbón), con una topografía y un tiempo de desarrollo diferente. En cuanto a las diferencias de composición florística dentro de la ladera, parecen tener mucha relación con el comportamiento hidrológico de la misma (MORENO-DE LAS HERAS *et al.*, 2010).

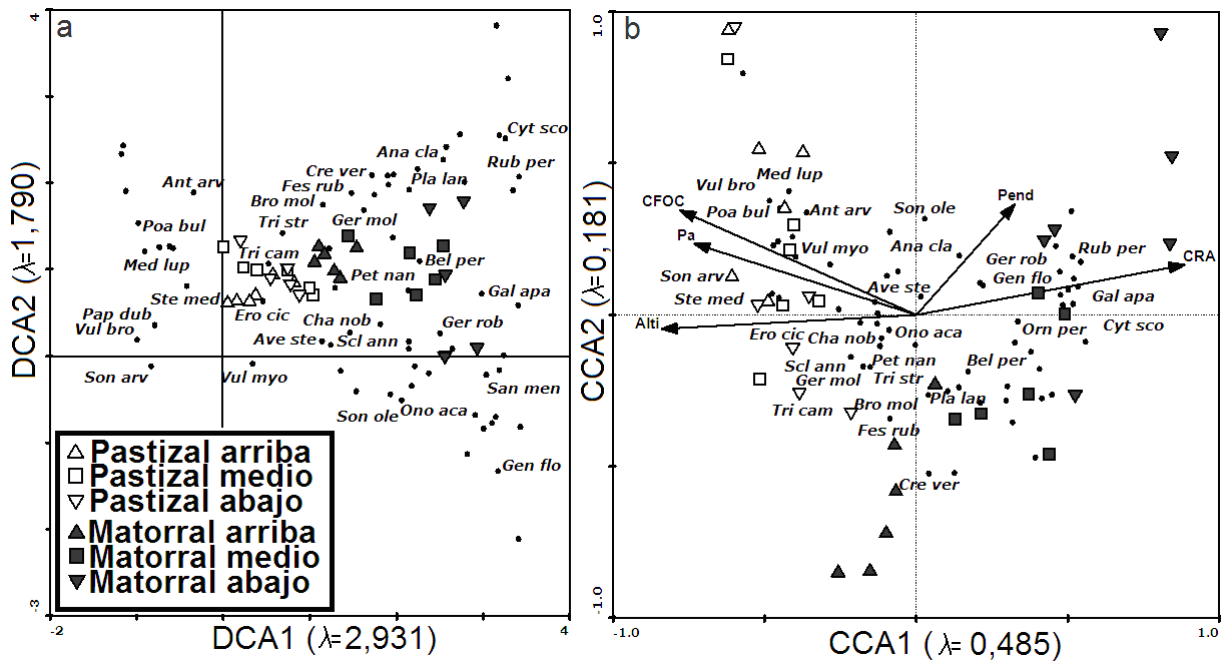


Figura 2. a) Primer plano factorial del análisis DCA en el que se ordenan las parcelas muestreadas en la ladera restaurada (comunidades de pastizal y matorral) de acuerdo con su composición florística; b) Triplot de especies-parcelas-variables ambientales del análisis CCA de la zona de estudio, excluyendo el bosque de referencia. Todas las especies aparecen representadas (pequeños círculos negros), pero sólo identificadas aquellas con cobertura >1%. Ana cla (*Anacyclus clavatus*), Bel per (*Bellis perennis*), Cer glo (*Cerastium glomeratum*), Cre ver (*Crepis vesicaria*), Gal apa (*Galium aparine*), Ger mol (*Geranium molle*), Hor vul (*Hordeum vulgare*), Rub per (*Rubia peregrina*), San men (*Sanguisorba minor*), Son ole (*Sonchus oleraceus*). Para la identificación del resto de las abreviaturas de las especies ver el pie de la figura 1.

En el área de estudio, las diferencias entre las partes de la ladera ocupadas por las comunidades de matorral y pastizal estriban en variables físicas, como Da (mayor en el matorral), Pr (mayor en el pastizal) y la profundidad del suelo hasta el estéril (mayor en el matorral), así como en variables de vegetación, como el porcentaje de suelo descubierto (mayor en el pastizal) y el porcentaje de cobertura vegetal total (mayor en el matorral). Berga (1998) constata que la presencia de mayor material estéril en superficie y, por tanto, de mayor suelo desprovisto de vegetación, va ligada a una tasa de escorrentía mayor; esto es debido a la mayor proporción de elementos

finos que crean una costra. Además una mayor tasa de escorrentía va ligada a una menor infiltración, y con ello un menor lavado de sales, lo que da como resultado una mayor salinidad y, por tanto, una mayor CE (BERGA, 1998). Nuestros resultados concuerdan con esta explicación, y así encontramos mayor CE en el pastizal, donde el mayor porcentaje de suelo descubierto estaría asociado a mayores tasas de escorrentía (aspecto que debería ser medido en futuros estudios), frente a un posible mayor lavado del suelo bajo matorral.

En cuanto a la dinámica ecológica e hidrológica de las laderas en el área de

estudio se observan dos de las tres trayectorias descritas (MERINO-MARTÍN et al., 2012). En primer lugar, las partes altas de la ladera con regueros discontinuos, donde se han desarrollado comunidades vegetales herbáceas (pastizal), cuya distribución espacial en manchas discontinuas ('claros y matas') está asociada a las áreas exportadoras e importadoras de escorrentía y sedimentos. En segundo lugar, las partes bajas de la ladera sin geformas previas, en las que se establecen los matorrales facilitadores que controlan el flujo de agua y sedimentos.

En cuanto al análisis de variables edáficas concretas, la CRA es una de las que mejor explica las diferencias en composición florística entre las comunidades estudiadas (bosque, matorral, pastizal). La CRA aumenta progresivamente desde el pastizal hasta el bosque, revelándose como una de las variables más relacionadas con la dinámica de la vegetación hacia etapas más maduras; Barnhisel et al. (1986) cita la baja capacidad para almacenar agua como uno de los factores limitantes para el crecimiento vegetal. También se observa un gradiente de CRA a lo largo de la ladera restaurada, siendo el valor mayor en las partes bajas, que parece estar relacionado positivamente con la cobertura vegetal, ya que en las partes bajas es donde dominan las leguminosas arbustivas con coberturas de casi el 100%; esta cubierta vegetal juega un papel importante en la restauración y estabilización de los sistemas alterados (MORENO-DE LAS HERAS et al., 2009). Por tanto, encontramos un gradiente altitudinal-sucesional en la distribución de las comunidades vegetales en el área de estudio, como resultado de las diferencias en algunos parámetros relacionados con el agua en el suelo (CRA), pero también con la materia orgánica del suelo. De hecho, el valor de la ratio CFO/C es significativamente mayor en el pastizal que en el matorral, indicando una materia orgánica más recalcitrante en el caso del suelo bajo matorral que bajo pastizal, lo que

coincide con lo descrito por Chabrerie et al. (2003).

Las diferencias encontradas en fósforo asimilable (Pa) son difíciles de explicar; los datos obtenidos pueden ser resultado un conjunto de procesos o situaciones. Posiblemente un mayor valor del Pa en el pastizal que en el matorral pueda deberse a que este fósforo asimilable, forma parte del ciclo de la materia orgánica del suelo, pues se encuentran correlaciones positivas entre el Pa y todas las variables relacionadas con la materia orgánica del suelo (CFO, C y N) y, por tanto, provenga en estos suelos principalmente de la mineralización de ésta (TURRIÓN et al., 2007, 2008). Por otro lado, puede ocurrir que exista una diferente composición de formas amorfas de hierro (Fe) y aluminio (Al) responsables de la fijación de este elemento (AFIF HOURI Y OLIVERA PRENDES, 2005); aspecto que deberá estudiarse en próximos trabajos.

CONCLUSIONES

Estos resultados deben hacernos reflexionar acerca de las actuales técnicas de restauración de espacios degradados. Pequeñas diferencias en topografía o en el sustrato de partida se revelan como limitantes de importantes procesos ecológicos, que tras varios años determinan diferentes trayectorias en la dinámica sucesional:

- Las variables relacionadas con el agua en el suelo y con la materia orgánica son indicadores del estado de madurez de las comunidades restauradas.
- La capacidad de retención de agua es una de las variables más relacionada con la dinámica de la vegetación hacia etapas más maduras.
- Las especies propias de las etapas más avanzadas de la sucesión ocupan antes las partes bajas de la ladera restaurada.

Agradecimientos

Este estudio ha sido subvencionado parcialmente por el Proyecto VA042A10-2 concedido por la Junta de Castilla y León a C. Martínez-Ruiz.

BIBLIOGRAFÍA

- AFIF HOURI, E. y OLIVERA PRENDES, J.A.; 2005. Efectos de la quema controlada sobre matorral en la erosión hídrica, el valor pastoral y las propiedades de suelo a largo plazo. *Edafología* 12 (2), 91-104.
- ALDAY, J.G.; 2010. Influencia de factores abióticos en la revegetación temprana tras hidrosiembra de estériles de carbón. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
- BARNHISEL, R.I.; POWELL, J.L. & HINES, D.H.; 1986. Changes in chemical and physical properties of two soils in process of surface mining. 4th Biennial billings Symp. *In: Mining and reclamation in the west and the national meeting of the American society for surface mining and reclamation. Billings, MT.* 2:10.
- BERGA, S.; 1998. Estudio preliminar de la escorrentía hídrica superficial en áreas restauradas de minería de carbón a cielo abierto. *Teruel* 86 (1): 101-134.
- CALVO GALÁN, L.; LUIS CALABUIG, E. y TÁRREGA GARCÍA MARES, M.R.; 1990. Sucesión secundaria en un brezal montano del Puerto de San Isidro (León) tras quema, corta y arranque experimentales. *Botánica pirenaico-cantábrica. Jaca y Huesca*, 367-374.
- COOKE, J.A. & JOHNSON, M.S; 2002. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice. *Environ. Rev.* 10: 41-71.
- CHABRERIE, O.; LAVAL, K.; PUGET, P.; ESAIRE, S. & ALARD, D; 2003. Relationship between plant and soil microbial communities along a successional gradient in a chalk grassland in north-western France. *Appl. Soil Ecol.* 24: 43-56.
- DÍEZ, C.; LUIS CALABUIG, E. y TÁRREGA, R.; 1990. Influencia del arbolado en dehesas de roble (*Quercus pyrenaica*) bajo pastoreo en la provincia de León. *En: Actas de la XXX Reunión Científica de la S.E.E.P.:* 45-52 (edita Pastos).
- DÍEZ, C.; LUIS CALABUIG, E. y TÁRREGA, R.; 1993-94. Análisis comparativo de la diversidad del estrato herbáceo en función de la distancia al árbol en dehesas de roble. *Studia Oecologica X-XI:* 145-154.
- FERNÁNDEZ, C.; TÁRREGA, R.; FERNÁNDEZ, M. & LUIS, E.; 1990. Structure of a spatial limit community of *Juniperus thurifera*. *Silva carelica* 15: 183-190.
- FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; GÓMEZ GUTIÉRREZ, J.M. y TÁRREGA GARCÍA-MARES, R.; 1992. Efectos de la quema, corte, arranque, abandono o pastoreo del matorral de escoba blanca (*Cytisus multiflorus*) sobre la producción y estructura de la comunidad herbácea. *Pastos XXII* (2): 131-146.
- GARCÍA, D.; ZAMORA, R.; HÓDAR, J.A.; GÓMEZ, J.M. y CASTRO, J.; 2000. Yew (*Taxus baccata* L.) Regeneration Is Facilitated By Fleshy-Fruited shrubs in Mediterranean environments. *Biol. Conserv.* 95: 31-38.
- HARDT, R.A. & FORMAN, T.T.; 1989. Boundary form effects on woody colonization of reclaimed surface mines. *Ecology* 70 (5): 1252-1260.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN; 1988. *Análisis del medio físico de Palencia. Delimitación de unidades y estructura territorial:* 23-24. EPYPSA. Valladolid.
- LÓPEZ-MARCOS, D.; 2012. *Influencia de la heterogeneidad edáfica y de la topografía en la estructura de la comunidad vegetal sobre escombreras de carbón del norte de España.* Trabajo

- Fin del Master en Investigación en Ingeniería para la Conservación y el Uso Sostenible de los Sistemas Forestales. Universidad de Valladolid.
- M.A.P.A.; 1991. *Caracterización agroclimática de la provincia de Palencia*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- MERINO-MARTÍN L.; BRESHEARS D.D.; MORENO DE LAS HERAS M.; CAMILO VILLEGAS J.; PÉREZ-DOMINGO S.; ESPIGARES T. & NICOLAU J.M.; 2012. Ecohydrological Source-Sink Interrelationships between Vegetation Patches and Soil Hydrological Properties along a Disturbance Gradient Reveal a Restoration Threshold. *Restor. Ecol.* 20: 360-368.
- MILDER, A.I.; FERNÁNDEZ-SANTOS, B. & MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2011. Colonization patterns of woody species on lands mined for coal in Spain: preliminary insight for forest expansion. *Land Degrad. Develop.* DOI: 10.1002/ldr.1101.
- MILLER, G.R.; 1979. Quantity and quality of the annual production of shoots and flowers by *Calluna vulgaris* in North-east Scotland. *J. Ecol.* 67 (1): 109-129.
- MORENO-DE LAS HERAS, M.; NICOLAU, J.M.; MERINO-MARTÍN, L. & WILCOX, B.P.; 2010. Plot-scale effects on runoff and erosion along a slope degradation gradient. *Water Resour. Res* 16: 1-12.
- MORENO-DE LAS HERAS, M.; 2009. Development of soil physical structure and biological functionality in mining spoils affected by soil erosion in a Mediterranean-Continental environment. *Geoderma* 149: 249-256.
- MORENO-DE LAS HERAS, M.; NICOLAU, J.M. & ESPIGARES, T.; 2008. Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecol. Eng.* 34:168-178.
- PÉREZ-CORONA, M.E.; VÁZQUEZ DE ALDANA, B.R.; GARCÍA CIUDAD, A. Y GARCÍA CRIADO, B.; 1996. Variación de la riqueza específica y producción aérea de biomasa en pastizales semiáridos. En: *Actas de la XXXVI R.C. de la S.E.E.P.*, 149-153. Logroño.
- SALAZAR, E; 2008. *Influencia de los matorrales en la restauración con leñosas arbóreas (Quercus petraea) en áreas mineras de carbón*. Proyecto fin de carrera de Ingeniero Técnico Forestal, especialidad: Explotaciones Forestales. E.T.S. de Ingenierías Agrarias de Palencia. Univ. De Valladolid.
- RIVERO, J.M. y PUERTO, A.; 1996. Influencia de la altitud sobre la distribución en pastos de especies del género *Trifolium* L. En: *Actas de la XXXVI R.C. de la S.E.E.P.*: 145-148. Logroño.
- STEEN, E.; 1999. Sustainable Development in dry Climates: The Mediterranean Area. *Ambio* 28: 367-371.
- TÁRREGA GARCÍA MARES, R. y LUIS CALABUIG, E.; 1988-89. Influencia de la Sabina (*Juniperus thurifera*) sobre el estrato herbáceo en función de la orientación. (Biología Ambiental, 4). *Anales de Biología* 15: 179-189
- TÁRREGA, R.; LUIS CALABUIG, E. & ALONSO, I.; 1997. Space-time heterogeneity in the recovery after experimental burning and cutting in a *Cistus laurifolius* shrubland. *Plant Ecol.* 129: 179-187.
- TER BRAAK, C.J.F.; ŠMILAUER, P.; 2002. *CANOCO 4.5 Reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4.5)*. Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA.
- TURRIÓN, M.B.; GALLARDO, J.F. & SCHNEIDER, K.; 2008. Soil P availability along a catena located at the Sierra de Gata Mountains, Western Central Spain. *Forest Ecol. Manag.* 255: 3254-3262.

TURRIÓN, M.B.; LÓPEZ, O.;
LAFUENTE, F.; MULAS, R.;
RUIPÉREZ, C. PUYO, A.; 2007. Soil
phosphorus forms as quality indicators
of soils under different vegetation
covers. *Sci. Total Environ.* 36: 399-
407.

