



9CFE-1330

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1



Papel de los arbustos en la configuración de pastizales posmineros con uso ganadero: propiedades edáficas y composición de familias de herbáceas

DETORRE-SÁEZ, A. (1), MANSO-ARRIBAS, M. (1), ALONSO-ZALDÍVAR, H. (1), MUÑOZ-CERRO, E. (1), LÓPEZ-MARCOS, D. (2), MARTÍNEZ-RUIZ, C. (1), GARCÍA-DURO, J. (1)

(1) Área de Ecología. Dpto. Ciencias Agroforestales. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid.

(2) Área de Edafología y Química Agrícola. Dpto. Ciencias Agroforestales. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid.

Resumen

Las interacciones planta-planta y planta-suelo juegan un papel clave en el ensamblaje y funcionamiento de las comunidades pascícolas, especialmente en ambientes severos y perturbados. Nuestro objetivo es identificar las variables edáficas que afectan a la abundancia relativa de familias de herbáceas en pastizales posmineros del noroeste de Palencia considerando enclaves colonizados por arbustos o libres de ellos, tanto en parcelas con ganado como sin el mismo, mediante vallado de exclusión. En primavera de 2023, se cuantificó la cobertura herbácea de las principales familias (gramíneas, leguminosas, compuestas, otras) y se caracterizó el suelo (5 cm) en 40 inventarios (50x50cm), 10 por tratamiento (combinación de con/sin arbustos y con/sin ganado), identificándose la especie arbustiva dominante. Se encontró un efecto significativo de la cubierta arbustiva en la composición del pasto y un efecto adicional de la identidad de los arbustos. Los resultados de los análisis multivariantes (DCA+envfit) indican que la cubierta de *Genista florida* o mixta con *Cytisus scoparius* promueve la cobertura de gramíneas y los suelos tienen una capa orgánica más espesa y mayor C/N. En el pasto abierto, donde predominan herbáceas leguminosas, los suelos tienen mayor capacidad de retención de agua, pH, K⁺ y saturación de bases. El conocimiento de estas relaciones es esencial para comprender la dinámica de los pastizales posmineros, y optimizar su gestión y restauración.

Palabras clave

minería de carbón, facilitación, ungulados, comunidad vegetal, interacción planta-suelo

1. Introducción

En el norte de León y Palencia, la extracción de carbón a cielo abierto ha alterado importantes superficies de terreno, causando impactos significativos en los ecosistemas (ALDAY et al., 2010). Con frecuencia, los terrenos degradados por minería en la Montaña Palentina han sido rehabilitados a pastos para uso ganadero (ALDAY et al., 2010; SIGCHA et al., 2016, 2018), uso habitual del terreno posminería en otras partes del mundo (MACZOWIACK et al., 2012).

Con el paso del tiempo, estas minas de carbón a cielo abierto de la Cordillera Cantábrica van siendo colonizadas de manera activa por arbustos nativos de



leguminosas, como *Genista florida* L. y *Cytisus scoparius* (L.) Link (MILDER et al., 2008, 2013b), que forman parches dispersos en la matriz de pasto, configurando un patrón espacial con diferentes condiciones bióticas y abióticas bajo y fuera del dosel arbustivo (MANSO-ARRIBAS, 2024a, 2024b).

Numerosos estudios han demostrado que algunas especies de arbustos tienen un papel importante en la conservación y recuperación ecológica de las comunidades de plantas, porque mejoran directamente las condiciones microclimáticas (MORO et al., 1997a, 1997b; PRIETO et al., 2011) y/o edáficas (PUGNAIRE et al., 1996a; PRIETO et al., 2011; MUÑOZ-CERRO et al., 2023), e indirectamente pueden proporcionar protección frente a herbívoros (PUGNAIRE, 2001; GÓMEZ-APARICIO et al., 2008), atraer polinizadores y modificar la fauna edáfica (CALLAWAY & WALKER, 1997).

Los efectos positivos de los arbustos, al actuar como islas microclimáticas y de fertilidad, pueden contribuir al establecimiento y crecimiento de otras especies de plantas (AGUIAR & SALA, 1999; MIHOČ et al., 2016; NAVARRO-CANO et al., 2018) y, con ello, a configurar la estructura de las comunidades vegetales (BADANO & CAVIERES, 2006; MICHALET et al., 2011; CAVIERES et al., 2014).

La mejora edáfica promovida por los matorrales es especialmente importante en ambientes mineros, cuyos suelos son poco evolucionados (ALDAY et al., 2012), y poco profundos, carecen de estructura edáfica y poseen baja capacidad de retención de agua (LÓPEZ-MARCOS et al., 2019a, 2020) como para mitigar la sequía estival, de modo que la vegetación sufre un estrés hídrico importante.

Por tanto, las interacciones de los arbustos con otras plantas y con el suelo pueden jugar un papel crucial en el ensamblaje y funcionamiento de las comunidades pascícolas, especialmente en ambientes severos y perturbados, gracias al proceso de facilitación (PUGNAIRE et al., 1996a, 2004).

Además, los herbívoros pueden contribuir a generar más heterogeneidad espacial en estos sistemas a través de la selección del hábitat y la segregación espacial de sus actividades (LÓPEZ-PINTOR et al., 2003), por lo que, en este sentido, los matorrales también ejercen un efecto facilitador indirecto, al actuar como barrera física frente a los ungulados domésticos y silvestres, contribuyendo a reducir la eliminación de la biomasa herbácea por ramoneo y la compactación de suelo por pisoteo.

Sin embargo, a pesar de que cada vez son más los estudios que destacan el papel facilitador de los arbustos nodriza, pocos se han centrado en el efecto concreto de especies como *C. scoparius* y/o *G. florida* (MANSO-ARRIBAS, 2024a) sobre la comunidad herbácea, y en evaluar el diferente efecto ejercido por las diferentes especies arbustivas (PISTÓN et al., 2016). Además, pocos estudios analizan el efecto de los arbustos sobre diferentes grupos de especies del pasto (pero ver PUGNAIRE et al., 1996a, 2004; RODRÍGUEZ-ECHEVERRÍA & FERNÁNDEZ-PÉREZ, 2003), ya que



la gran mayoría se han centrado en las interacciones entre pares de especies.

Por tanto, la posibilidad de que los arbustos puedan ejercer un efecto positivo clave en la configuración de los pastos posmineros debido, en gran medida, a la mejora edáfica que proporcionan en estos ambientes altamente perturbados, y que este cambio dependa de la especie de matorral, genera nuevas expectativas para su gestión y recuperación, mediante el fomento de procesos naturales como la facilitación planta-planta (soluciones basadas en la naturaleza, SbN).

2. Objetivos

Nuestro objetivo principal es identificar las variables edáficas que afectan a la composición de las familias de herbáceas en pastizales posmineros del noroeste de Palencia (Guardo), en función de la presencia/ausencia de arbustos y/o presencia/ausencia de ganado.

Para la consecución de este objetivo principal se plantean los siguientes objetivos específicos: 1) Comprobar si la presencia/ausencia de matorral y/o ganado influyen en la composición de familias de herbáceas en los pastos posmineros, utilizando técnicas de ordenación; 2) Determinar si el efecto del matorral en la composición de familias de herbáceas depende de cuál sea la especie de matorral dominante; 3) Relacionar las diferencias en la composición de familias con las diferencias en las propiedades del suelo, en función de los factores de variación (presencia/ausencia de matorral y herbivoría); y 4) Modelizar la respuesta de las principales familias a lo largo de los principales gradientes identificados en la ordenación.

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en una mina de carbón a cielo abierto en el monte Corcos (lat: 42° 48' N, Long: 4° 52' W, altitud: 1200 m; Guardo, Palencia; **Figura 1**), rehabilitada a pastizal con uso ganadero (MUÑOZ-CERRO et al., 2023). El clima de la zona es Mediterráneo sub-húmedo, con una temperatura media anual de 9,3°C y una precipitación media anual de 973 mm (TORROBA-BALMORI et al., 2015; MARTÍNEZ-RUIZ et al., 2021). La vegetación que rodea la mina es un bosque de *Quercus pyrenaica* Willd. acompañado de numerosas especies leñosas, como *Genista florida* L., *Cytisus scoparius* (L.) Link, *Erica australis* L. o *Ilex aquifolium* L. (LÓPEZ-MARCOS et al., 2020). Los suelos de la zona son Inceptisoles con un régimen de humedad de suelo údico y un régimen de temperaturas de suelo méxico (LÓPEZ-MARCOS et al., 2020).

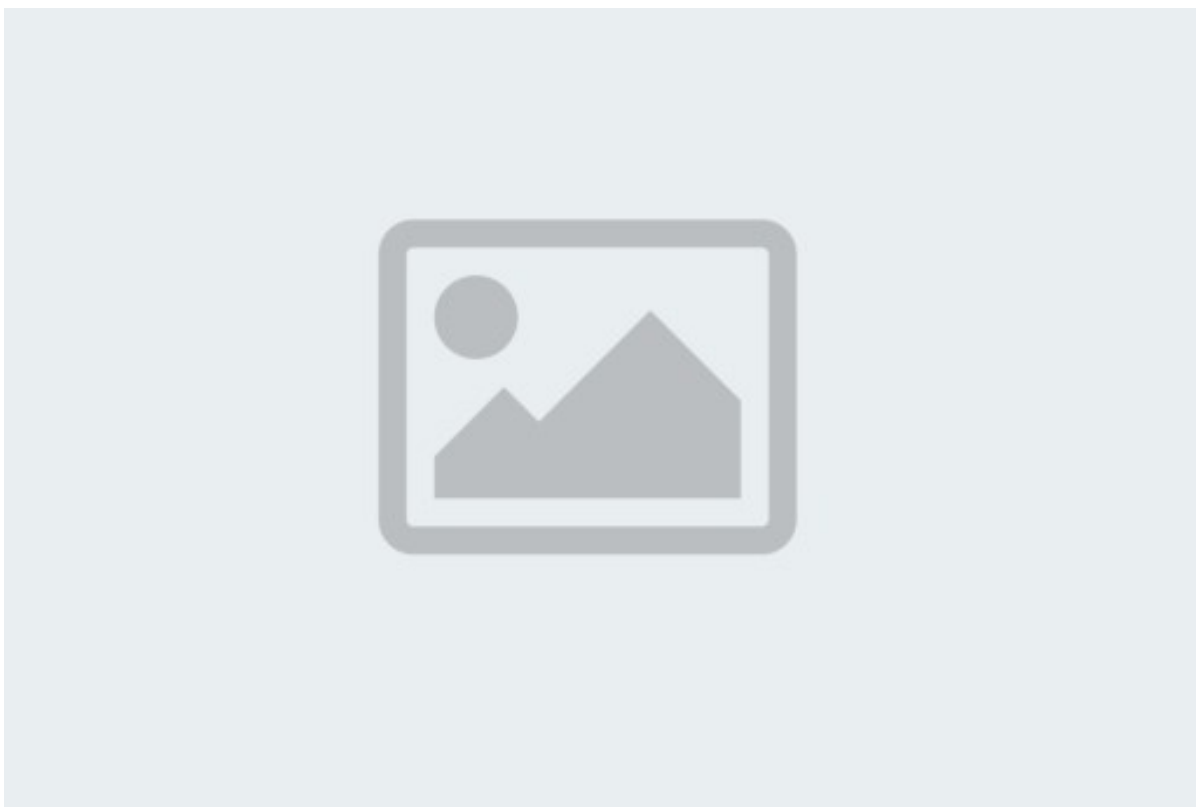


Figura 1. Localización del área de estudio y dispositivo experimental.

La restauración consistió en el rellenado del hueco minero con estériles de minas próximas hasta alcanzar la topografía original del terreno, añadido de una capa de 30 cm de “suelo” (mezcla de suelo superficial y sedimentos de capas más profundas intercaladas con las capas de carbón), enmendado con estiércol de vacuno e hidrosembado, en octubre de 2000, con una mezcla comercial de gramíneas y leguminosas herbáceas perennes (ver MUÑOZ-CERRO et al., 2023).

Tras el establecimiento del pasto, ungulados silvestres (ciervo, corzo, jabalí) y domésticos se alimentan de la vegetación establecida en el área de estudio (MILDER et al., 2013a). Especies herbáceas nativas de áreas vecinas (p. ej., *Crepis vesicaria* L., *Plantago lanceolata* L., *Poa bulbosa* L., *Trifolium* spp., *Vulpia* spp.) han ido reemplazando gradualmente a las hidrosembadas (LÓPEZ-MARCOS et al., 2020) y especies arbustivas nativas, como *C. scoparius* y *G. florida*, han colonizado la mina formando parches (LÓPEZ-MARCOS et al., 2020).

3.2 Diseño experimental y muestreo

El dispositivo experimental se estableció en 2011, en una zona llana de la mina “Corcos”. Consta de cuatro parcelas permanentes de 30 x 30 m, dos valladas y dos no, con 5 enclaves bajo matorral y cinco fuera de matorral en cada una de ellas (**Figura 1**), para evaluar el efecto combinado de la exclusión de herbívoros y la influencia del matorral sobre la vegetación y el suelo; 10 subparcelas por tratamiento (MUÑOZ-CERRO et al., 2023).

En primavera de 2023, en cada una de las 40 subparcelas, se cuantificó la cobertura herbácea de las principales familias (gramíneas, leguminosas,

compuestas y otras) dentro de un inventario de 50 x 50 cm, y se identificó, en las subparcelas con matorral, la especie arbustiva dominante, que podía ser: *Cytisus scoparius*, *Genista florida*, o una mezcla de ambas (**Figura 2**).

A continuación, se retiró la vegetación herbácea que cubría el suelo, se midió el espesor de ese manto orgánico y se recogieron los primeros 5 cm del suelo mineral. Se tomaron dos muestras de suelo por subparcela: una muestra alterada, con la ayuda de una azada, y una muestra inalterada, con la ayuda de un cilindro metálico biselado (8 cm de diámetro y 5 cm de profundidad).

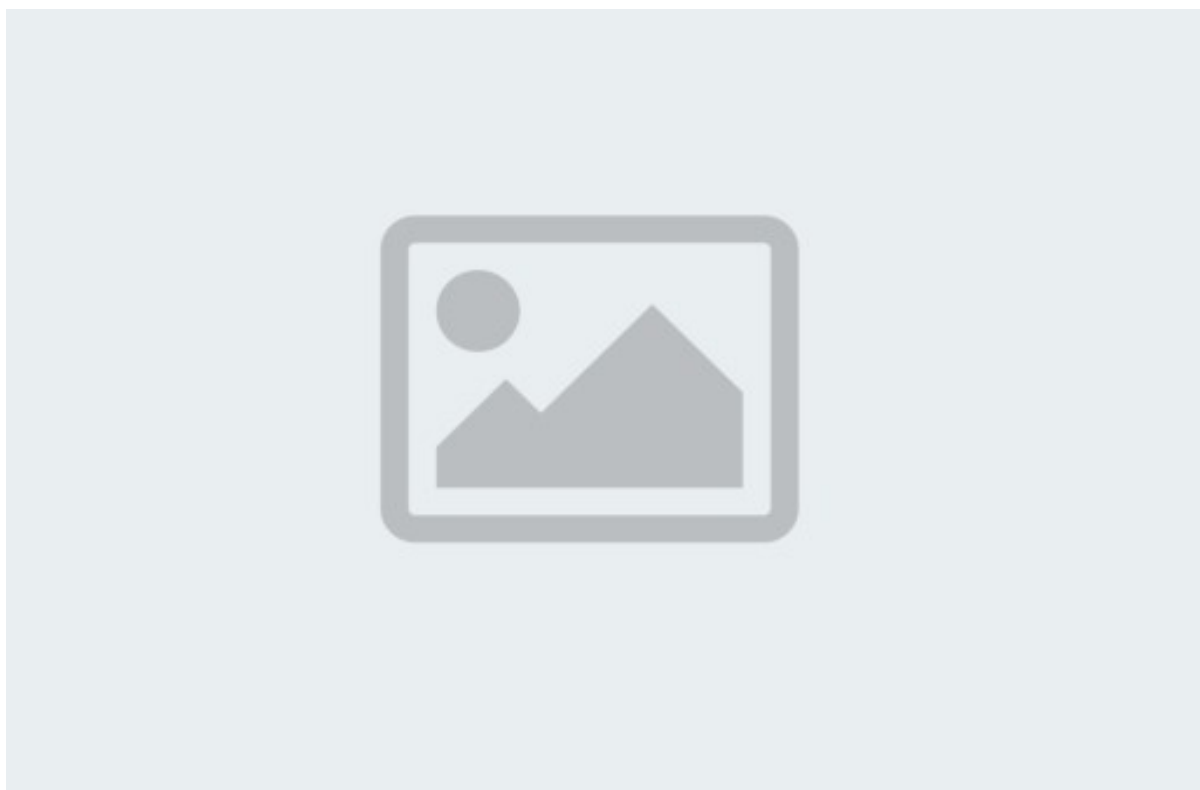


Figura 2. Esquema del muestreo de vegetación.

3.3 Análisis físicoquímicos de los suelos en el laboratorio y cálculos posteriores

Las muestras inalteradas se secaron en estufa a 105°C durante 24 h, hasta peso constante ($\pm 0,001$ g), para calcular la densidad aparente (Dap).

Las muestras alteradas se secaron al aire y se pasaron por un tamiz de luz ≤ 2 mm para separar los elementos gruesos (EG > 2 mm) de los finos (EF ≤ 2 mm) y realizar con los finos los análisis que se describen a continuación.

El agua disponible (Au) se calculó mediante la diferencia entre la capacidad de campo (agua que queda en el suelo después de haberlo saturado completamente durante 2 días y dejarlo drenar libremente) y el punto de marchitez permanente



(contenido de agua retenido en el suelo a 1500 kPa usando el equipo Eijkelkamp pF) de cada muestra mediante el método determinado por MAPA (1994). La capacidad de retención de agua (CRA) se calculó como el producto de A_u , D_{ap} , %EF y espesor del suelo (5 cm) siguiendo el protocolo descrito en MAPA (1994) (ver LÓPEZ-MARCOS et al., 2019b).

El pH se midió en una suspensión 1:2,5 de agua desionizada (ALLEN, 1989). Mediante la transformación de VAN BEMMELEN (1890), que asume un 58% de carbono dentro de la materia orgánica (ROSELL et al., 2001), se obtuvo el carbono orgánico total. La materia orgánica total se determinó previamente mediante oxidación con dicromato potásico (WALKLEY, 1947). El nitrógeno total se determinó mediante el método Kjeldahl (BREMNER & MULVANEY, 1982).

Para hallar la capacidad de intercambio catiónico (CIC; $\text{cmol}(+)/\text{kg}$), se utilizó el método del cloruro de bario y trietanolamina a pH 8,1 (RHOADES, 1982). Los cationes de cambio (K^+ en mg/kg ; Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} en $\text{cmol}(+)/\text{kg}$) se extrajeron con acetato amónico 1N a pH=7 (SCHOLLENBERGER & SIMON, 1945) y fueron determinados por espectroscopía de emisión/absorción atómica. A partir de las concentraciones de los cationes de cambio, se pudo obtener la suma de bases ($\text{cmol}(+)/\text{kg}$) como una simple suma de las concentraciones de los cationes (ver LÓPEZ-MARCOS et al., 2018). Después, dividiendo, la suma de bases por la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se obtuvo el porcentaje de saturación de bases (V; GARRIDO-VALERO, 1993).

3.4 Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de ordenación de tipo DCA (Detrended Correspondence Analysis) sobre la matriz de cobertura de las principales familias en los 40 inventarios, para identificar las fuentes de variación (presencia/ausencia de ganado, presencia/ausencia de matorral e identidad de la especie arbustiva dominante) que más influyen en la composición de familias. La función “envfit” se empleó, entonces, para ayudar en la interpretación de los ejes de ordenación y determinar cuáles de los factores de variación eran significativos. La función “ordiellipse” se utilizó para dibujar, sobre la ordenación, las elipses de desviación estándar (a un nivel de confianza del 95%) que agrupaban los inventarios con mayor similitud florística de acuerdo con los factores de variación significativos.

La función “envfit” se empleó, también, para identificar las variables edáficas significativas, que contribuyen a explicar las diferencias en la composición de familias encontradas en la ordenación.

Finalmente, se emplearon los modelos de HOF (Huisman-Olff-Fresco; HUISMAN et al., 1993), para ajustar la respuesta de la cobertura de cada una de las principales familias a lo largo del gradiente asociado al primer eje del DCA. Se trata de un conjunto de cinco modelos de respuesta clasificados por su complejidad creciente: modelo I, sin tendencia, esto es cobertura contante; modelo II, tendencia creciente o decreciente de la cobertura hasta un máximo que es igual al del límite superior;



modelo III, tendencia creciente o decreciente de la cobertura por debajo de un máximo alcanzable, modelo IV, curva de respuesta unimodal simétrica y modelo V, curva de respuesta unimodal asimétrica. Para la selección del modelo más adecuado en cada caso, se aplicó el criterio de información de Akaike (AIC; AKAIKE, 1973), que toma valores más bajos cuando el ajuste del modelo es mejor (JOHNSON & OMLAND, 2004).

Los análisis se realizaron con el programa R versión 4.1.2 (2021-11-01; R CORE TEAM, 2021) en el entorno de desarrollo integrado (IDE) RStudio 2021.09.1. Para los análisis de ordenación se utilizó el paquete *vegan* (versión 2.5-7; OKSANEN et al., 2020) con 9999 permutaciones. Para los modelos de HOF se empleó el paquete *eHOF* (versión 1.7; JANSSEN & OKSANEN, 2013).

4. Resultados

Los dos primeros ejes del análisis de ordenación DCA (aplicado sobre la matriz de coberturas de las principales familias en los 40 inventarios) explican, respectivamente, el 47% y 10% de la varianza total (**Figura 3**). La función “envfit”, aplicada sobre la ordenación, nos permite comprobar que el patrón descrito, de segregación de los inventarios a lo largo del DCA1 por su diferente composición de familias responde a una influencia significativa de los factores de variación. En concreto, se encuentra una influencia altamente significativa de la presencia/ausencia de matorral ($R^2=0,4352$; $p<0,0001$) y de la identidad de la especie de matorral ($R^2=0,5220$; $p<0,0001$) en la ordenación. Sin embargo, la presencia/ausencia de ganado no resulta ser significativa ($R^2=0,0271$; $p=0,3393$).

La función “ordiellipse” nos permite dibujar, sobre la ordenación, las elipses de desviación estándar (nivel de confianza del 95%) que agrupan los inventarios con mayor similitud florística a lo largo del primer eje del DCA (DCA1), en función de que estén debajo o fuera de matorral y de cuál sea la especie de matorral dominante (factores de variación significativos).

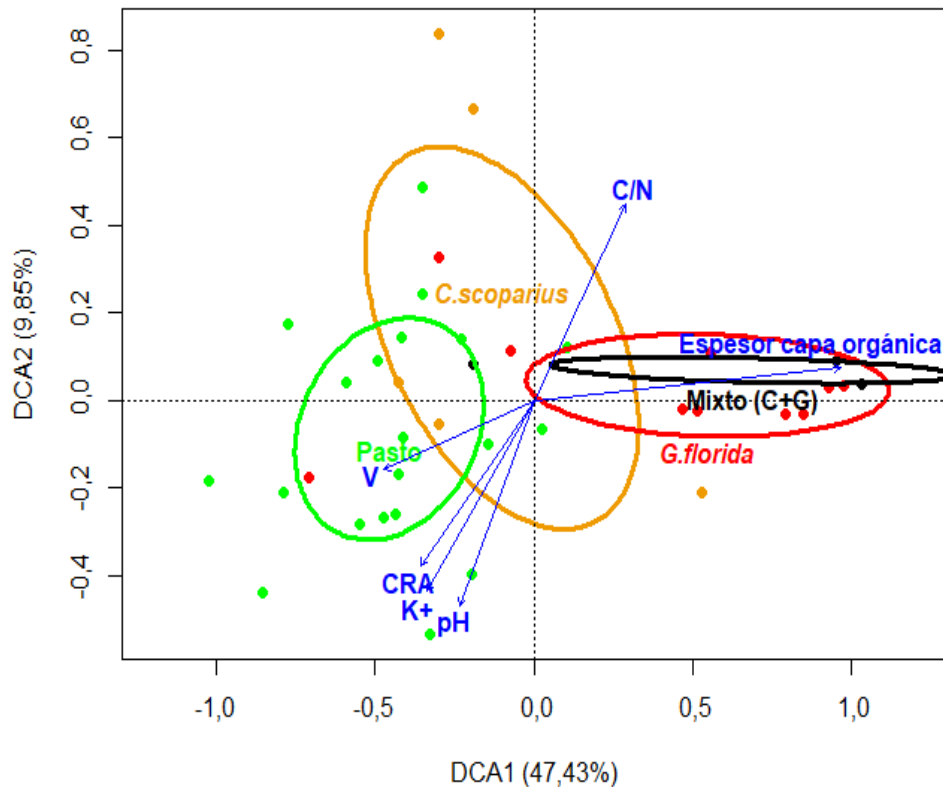


Figura 3. Análisis de ordenación DCA de los 40 inventarios (círculos) en función de su composición por familias. Las elipses de desviación estándar (95% de confianza) ilustran la agrupación de los inventarios según la presencia/ausencia de matorral y la identidad de la especie dominante. Los vectores muestran los parámetros edáficos significativos. Abreviaturas como en tabla 1.

Se observa cómo los inventarios localizados en pasto abierto tienen una composición relativa de familias claramente diferente del resto (mayor cobertura de leguminosas), agrupándose hacia la izquierda del DCA1. También se observan diferencias en la composición de familias entre los inventarios que cuentan con la presencia de matorral, de modo que los inventarios bajo *G.florida* o bajo la mezcla de ésta con *C. scoparius*, se localizan en el extremo derecho del DCA1 (mayor cobertura de gramíneas), y los inventarios bajo *C. scoparius* ocupan una posición intermedia respecto a los que no tienen matorral, y cuentan con mayor cobertura de “otras familias”.

La función “envfit” también nos permite comprobar la significación de la influencia de las variables edáficas en la ordenación DCA (**Tabla 1**). Se observa cómo hacia el extremo derecho del DCA1, donde predomina el matorral de *G.florida* o la mezcla *G.florida*-*C.scoparius*, los suelos cuentan con una capa orgánica más espesa y mayor relación C/N (**Figura 3**). Sin embargo, hacia el extremo izquierdo del DCA1, en las zonas de pasto abierto (sin matorral), los suelos tienen mayor capacidad de retención de agua (CRA), y valores más altos de pH, K⁺ y

porcentaje de saturación de bases (V).

Tabla 1. Valores de R^2 y significación de las variables edáficas significativas tras usar la función “envfit” sobre la ordenación DCA. CRA = Capacidad de retención de agua; V= porcentaje de saturación de bases.

Variables edáficas	R ²	p
0,6540		0,0001
2	0,1878	0,0272
0,1919		0,0185
0,1975		0,0151
+	0,2115	0,013
0,1739		0,0292

Tras modelizar el patrón de respuesta de las principales familias a lo largo del gradiente asociado al DCA1, se observa que la cobertura de gramíneas sigue un modelo II de HOF con tendencia creciente hacia el extremo positivo, donde se ubican los inventarios cubiertos por matorral, cuyo suelo tiene una capa orgánica más espesa y mayor C/N (**Figura 4**).

La cobertura de leguminosas muestra la tendencia opuesta, siguiendo también un modelo II de HOF, pero ahora con tendencia decreciente, por tanto, siendo más abundantes en el pasto abierto, donde los suelos tienen mayor capacidad de retención de agua (CRA), mayor porcentaje de saturación de bases (V) y valores más altos de pH y K⁺.

La cobertura de compuestas sigue un modelo III de HOF con tendencia decreciente hacia los inventarios cubiertos por *G. florida* o por la mezcla *G.florida-C.scoparius*, mientras que el grupo “otras familias” alcanza mayor cobertura en la zona media del gradiente asociado al DCA1, siguiendo un modelo unimodal simétrico (Modelo IV de HOF).

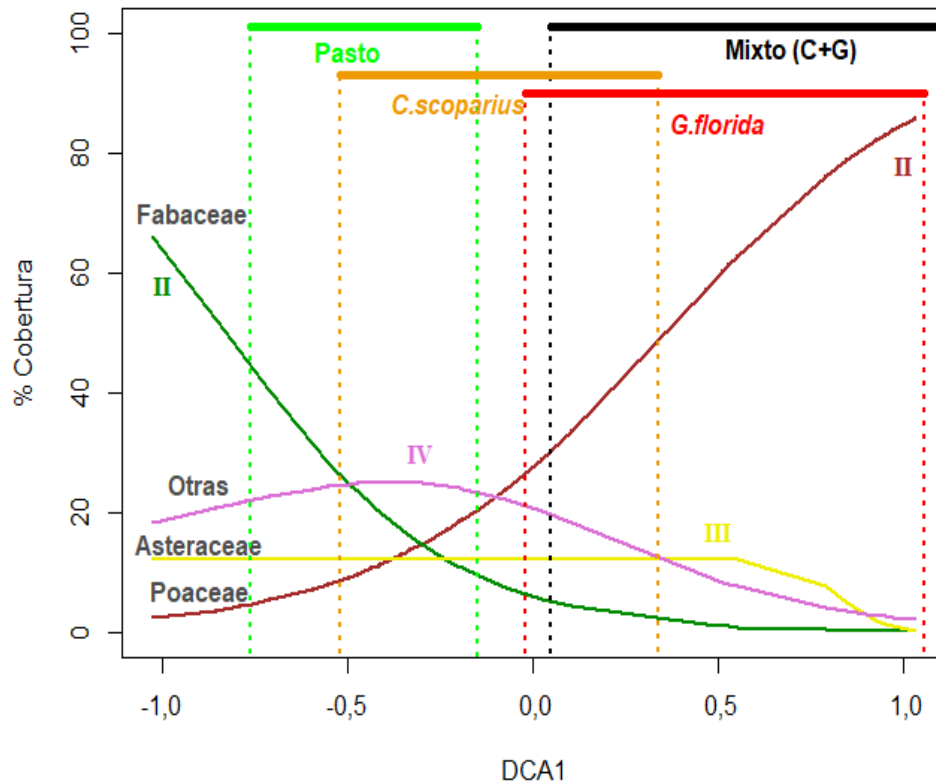


Figura 4. Modelos de HOF de la cobertura de las principales familias a lo largo del gradiente asociado al primer eje del DCA determinado por la presencia/ausencia de matorral y la identidad de la especie de matorral dominante. Las flechas muestran las variables edáficas significativas. Abreviaturas en tabla 1.

5. Discusión

Nuestros resultados indican que existe una fuerte influencia del matorral y de la identidad de la especie arbustiva dominante sobre la composición de familias de la comunidad herbácea subyacente, independientemente de la presencia o no de ganado, y que algunas variables edáficas se pueden relacionar con esas diferencias en la composición de familias.



Estudios previos, llevados a cabo en pastizales posmineros del norte peninsular muy cercanos al área de estudio, muestran que los parches arbustivos dispersos en los pastos posmineros determinan composiciones florísticas diferentes en las comunidades herbáceas debajo y fuera de ellos, tanto a nivel de especies herbáceas (MANSO-ARRIBAS, 2024a) como a nivel de familias (MANSO-ARRIBAS, 2024b). Los arbustos generan heterogeneidad microambiental (PUGNAIRE et al., 1996a, 1996b; TEWKSBURY & LLOYD, 2001; DOMÍNGUEZ et al., 2015) que explican, en gran medida, la diferente abundancia de las especies herbáceas o grupos funcionales en los pastizales posmineros, debido a que los arbustos actúan como islas microclimáticas (VALLADARES et al., 2008) e islas de fertilidad (MUÑOZ-CERRO et al., 2023). Las herbáceas pueden beneficiarse de una mayor disponibilidad de agua debajo de los arbustos (WENT, 1942; MÜLLER, 1953), así como de una mayor disponibilidad de nutrientes (ROSTAGNO et al., 1991; GUTIÉRREZ et al., 1993).

Pero no todas las especies arbustivas ejercen el mismo efecto sobre la comunidad herbácea. Así, ALDAY et al. (2014) encontraron un importante efecto positivo del volumen de los arbustos de *Cytisus scoparius* y *Genista florida* (activos colonizadores de las minas de carbón rehabilitadas a pastizales del noroeste de Palencia) en algunas condiciones microambientales, como el espesor de la capa de materia orgánica del suelo y la cobertura de briófitos (indicativo del grado de humedad), contribuyendo a generar mayor heterogeneidad ambiental bajo los arbustos más grandes y siendo posible relacionar el gradiente de volumen de los arbustos con la composición de las especies herbáceas. PISTÓN et al. (2016) encontraron que *Cytisus galianoi* y *Genista versicolor* generan diferentes microclimas y, por tanto, albergan diferentes comunidades de especies de plantas, por lo que subrayan la importancia de la identidad de la especie de matorral para la riqueza y abundancia de plantas subyacentes.

En nuestro estudio, las gramíneas alcanzan mayor cobertura bajo matorral, especialmente de *Genista florida* o mezclado con *Cytisus scoparius*, pero no parece deberse a la mayor humedad edáfica, ya que bajo estos matorrales la capacidad de retención de agua del suelo minero es menor. También VALLADARES et al. (2008) encontraron menor humedad edáfica bajo los arbustos en ambientes mediterráneos debido a la mayor intercepción del agua de lluvia y a la transpiración. Por otro lado, además de la sombra, los arbustos generan un microambiente con menor temperatura del aire durante el día y déficit de presión de vapor, y temperaturas nocturnas más altas (VALLADARES et al., 2008), condiciones que pueden ayudar al establecimiento de las gramíneas bajo su cubierta, como se ha visto en otros estudios (PUGNAIRE et al., 1996b; MORO et al., 1997a; FERNÁNDEZ-SANTOS et al., 2004; ECHAVARRÍA, 2008).

Además de los cambios en el microclima y el agua del suelo, los arbustos promueven la fertilidad del suelo en los pastizales al aumentar la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico (COSTA et al., 2017; MUÑOZ-CERRO et al., 2023) y la disponibilidad de nutrientes (ROSTAGNO et al., 1991; GUTIÉRREZ et al., 1993; MUÑOZ-CERRO et al., 2023), entre otros parámetros.

En nuestro estudio, encontramos mayor espesor de la capa orgánica del suelo y de



la relación C/N bajo matorral, que parece beneficiar a las gramíneas frente a otros grupos taxonómicos. La mayor relación C/N bajo matorral se explica por el tipo de materia orgánica más recalcitrante y menos lábil del matorral, que tarda más en descomponerse (WANG et al., 2016a, 2016b; DEVI & SHERPA, 2019; KUMAR et al., 2021) y hace que la materia orgánica del suelo tenga un mayor contenido de carbono y la relación C/N sea mayor (LÓPEZ-MARCOS et al., 2020; MUÑOZ-CERRO et al., 2023).

Por el contrario, la cobertura de leguminosas es mayor fuera de la influencia de los arbustos, en el pasto abierto, como también se ha encontrado en otros pastos mediterráneos (FERNÁNDEZ-SANTOS et al., 2004; PALLAVICINI et al., 2015), posiblemente por el efecto negativo de la sombra sobre ellas (MONTSERRAT, 1961; HENKIN et al., 2006). Además, en nuestro estudio, la mayor cobertura de leguminosas se relaciona con valores de pH más altos, ya que los arbustos leguminosos reducen el pH del suelo (COSTA et al., 2017) por el mayor aporte de materia orgánica (ZAREKIA et al., 2012; MUÑOZ-CERRO et al., 2023). Los valores de K⁺, obtenidos de la caracterización de los primeros 5 centímetros del suelo, también son mayores donde no hay matorral, lo cual no es consistente con lo observado por MUÑOZ-CERRO et al. (2023) en el mismo dispositivo experimental 5 años antes, cuando se analizó todo el primer horizonte mineral del suelo posminero de unos 15 cm de profundidad. Posiblemente, la controversia esté precisamente en el diferente espesor de suelo recolectado. Podría deberse a que los arbustos y la vegetación asociada exploran más volumen de suelo y/o ayudan a movilizar K⁺ mineral (como sugiere el menor pH en los suelos bajo arbustos) pero lo retienen, sobre todo en superficie, para su uso, de ahí que nuestros resultados parezcan contradictorios con los de MUÑOZ-CERRO et al. (2023). Puesto que el porcentaje de saturación de bases (V) incluye los cationes de cambio, entre ellos el K⁺, también encontramos un valor más alto de V en el pasto abierto, que si concuerda con lo encontrado por MUÑOZ-CERRO et al. (2023).

Las compuestas mantienen su cobertura tanto en el pasto abierto como bajo *Cytisus scoparius*, pero disminuye bajo *Genista florida* o en mezcla con *Cytisus scoparius*. En minas próximas al área de estudio, se ha detectado un efecto facilitador del matorral de *C. scoparius* sobre la cobertura de especies del grupo de las compuestas (MANSO-ARRIBAS, 2024a), como también bajo la cubierta de *C. multiflorus* en pastos adehesados de la provincia de Salamanca bajo condiciones de mayor disponibilidad de agua y nutrientes bajo su cubierta (ECHAVARRÍA, 2008). El hecho de disminuir el efecto positivo del matorral al mezclarse con *G. florida* puede deberse a la arquitectura de la planta, de mayor porte, que puede tener un mayor efecto de interceptación del agua de lluvia durante periodos de sequía pronunciada, como sucede con otros arbustos en ambientes desérticos (TIELBÖRGER & KADMON, 2000).

El último grupo que consideramos, al estar formado por una amplia variedad de familias con múltiples estrategias, e incluyendo también familias raras, alcanza una mayor cobertura en ambientes intermedios, bajo la cobertura de *Cytisus scoparius*.



6. Conclusiones

La presencia de parches arbustivos y la identidad de las especies arbustivas tienen un efecto significativo en la composición de familias de los pastos posmineros del norte peninsular, que parece estar mediado por diferencias en algunas propiedades edáficas, como la profundidad de la capa orgánica, la relación C/N, la capacidad de retención de agua del suelo, el pH, el K⁺ y el porcentaje de saturación de bases.

En concreto, el dosel de *G. florida* o un dosel mixto (*G. florida* + *C. scoparius*) promueven la cobertura de gramíneas y los suelos tienen una capa orgánica más espesa y mayor C/N, pero reducen la cobertura de leguminosas, que predominan en el pasto abierto, donde los suelos tienen mayor capacidad de retención de agua, pH, K⁺ y saturación de bases. La cobertura más alta del grupo “otras familias” se encuentra bajo el dosel de *C. scoparius*, y la cobertura de compuestas se reduce bajo el dosel arbustivo mixto.

El conocimiento de estas relaciones es esencial para comprender la dinámica de los pastizales posmineros, colonizados de forma natural por arbustos desde el borde del bosque adyacente, y contribuir a optimizar su gestión y restauración favoreciendo procesos naturales (soluciones basadas en la naturaleza) como la facilitación arbusto-herbáceas y la mejora edáfica.

7. Agradecimientos

Esta investigación se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Generación de Conocimiento 2022, RESTORMINE (MICIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE) y con el respaldo del contrato predoctoral asociado (PREP2022-000580) concedido a Ana deTorre-Sáez; contrato post-doctoral UVa-María Zambrano (CONVREC-2021-11), concedido a Juan García-Duro, y contrato INVESTIGO-SEPE 2023 (CP23/178) concedido a Miguel Manso-Arribas, ambos financiados por la Unión Europea-NextGenerationEU; y contratos predoctorales UVa2022 (CONTPR-2022-400) y UVa-2019 (113-2019PREUVA27), cofinanciados por el Banco de Santander, concedidos a Herminia Alonso-Zaldívar y Elena Muñoz-Cerro.

8. Bibliografía

AGUIAR, M.R.; SALA, O.E.; 1999. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends Ecol. Evol.* 14, 273–277

AKAIKE, H.; 1973. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle, pp. 267–281. In: BRILLINGER, D.; GANI, J.; HARTIGAN, J. (eds.): Second international symposium on information theory. Akademiai Kiado, Budapest



(Hungary)

ALDAY, J.G.; MARRS, R.H; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2010. The importance of topography and climate on short-term revegetation of coal wastes in Spain. *Ecol. Eng.* 36, 579–585

ALDAY, J.G.; MARRS, R.H.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2012. Soil and vegetation development during early succession on restored coal wastes: a six-year permanent plot study. *Plant Soil* 353, 305–320

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

ALLEN, S.E.; 1989. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell. Oxford

BADANO, E.I.; CAVIERES, L.A.; 2006. Impacts of ecosystem engineers on community attributes: effects of cushion plants at different elevations of the Chilean Andes. *Divers. Distrib.* 12, 388–396

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S.; 1982. Nitrogen-Total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (eds.): Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 595-624. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison

CALLAWAY, R.M.; WALKER, L.R.; 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78, 1958–1965

CAVIERES, L.A.; BROOKER, R.W.; BUTTERFIELD, B.J.; COOK, B.J.; KIKVIDZE, Z.; LORTIE, C.J.; MICALET, R.; PUGNAIRE, F.I.; SCHÖB, C.; XIAO, S.; ANTHELME, F.; BJÖRK, R.G.; DICKINSON, K.J.M.; CRANSTON, B.H.; GAVILÁN, R.; GUTIÉRREZ-GIRÓN, A.; KANKA, R.; MAALOUF, J.P.; MARK, A.F.; NOROOZI, J.; PARAJULI, R.; PHOENIX, G.K.; REID, A.M.; RIDENOUR, W.M.; RIXEN, C.; WIPF, S.; ZHAO, L.; ESCUDERO, A.; ZAITCHIK, B.F.; LINGUA, E.; ASCHEHOUG, E.T.; CALLAWAY, R.M.; 2014. Facilitative plant interactions and climate simultaneously drive alpine plant diversity. *Ecol. Lett.* 17, 193–202

COSTA, A.; VILLA, S.; ALONSO, P.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, J.A.; MARTÍN, F.J.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; 2017. Can native shrubs facilitate the early establishment of contrasted co-occurring oaks in Mediterranean grazed areas? *J. Veg. Sci.* 28, 1047–1056

DEVI, S. B.; SHERPA, S.S.S.S.; 2019. Soil carbon and nitrogen stocks along the altitudinal gradient of the Darjeeling Himalayas, India. *Environ. Monit. Assess.* 191,



DOMÍNGUEZ, M.T.; PÉREZ-RAMOS, I.M.; MURILLO, J.M.; MARAÑÓN, T.; 2015. Facilitating the afforestation of Mediterranean polluted soils by nurse shrubs. *J. Environ. Manage.* 161, 276–286

ECHAVARRÍA, M.; 2008. Efectos de *Cytisus multiflorus* (L'Hér) Sweet sobre las comunidades herbáceas, ante diferentes niveles de estrés hídrico en la penillanura salmantina. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca

FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; MARTÍNEZ, C.; ECHEVARRIA, M.; PUERTO, A.; GARCÍA, J.A.; 2004. Influencia de *Cytisus multiflorus* sobre la calidad y cantidad del pasto en formaciones adehesadas, pp. 185-189. En: GARCÍA-CRIADO, B. et al. (eds.), Pastos y Ganadería Extensiva. Sociedad Española para el Estudio de los pastos, Salamanca

GARRIDO-VALERO, M.S.; 1993. Interpretación de análisis de suelos. Guía práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis. Hojas divulgativas Núm. 5/93 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General de Estructuras Agrarias. Madrid

GÓMEZ-APARICIO, L.; ZAMORA, R.; CASTRO, J.; HÓDAR, J.A.; 2008. Facilitation of tree saplings by nurse plants: Microhabitat amelioration or protection against herbivores? *J. Veg. Sci.* 19, 161–172

GUTIÉRREZ, J.R.; MESERVE, P.L.; CONTRERAS, L.C.; VÁSQUEZ, H.; JAKSIC, F.M.; 1993. Spatial distribution of soil nutrients and ephemeral plants underneath and outside the canopy of *Porlieria chilensis* shrubs (Zygophyllaceae) in arid coastal Chile. *Oecologia* 95: 347–352

HENKIN, Z.; STERNBERG, M.; SELIGMAN, N.G.; NOY-MEIR, I.; 2006. Species richness in relation to phosphorus and competition in a Mediterranean dwarf-shrub community. *Agric. Ecosyst. Environ.* 113, 277–283

HUISMAN, J.; OLFF, H.; FRESCO, L.F.M.; 1993. A hierarchical set of models for species response analysis. *J. Veg. Sci.* 4, 37–46

JANSEN, F.; OKSANEN, J.; 2013. How to model species responses along ecological gradients – Huisman-Olff-Fresco models revisited. *J. Veg. Sci.* 24, 1108–1117

JOHNSON, J.B.; OMLAND, K.S.; 2004. Model selection in ecology and evolution. *Trend Ecol. Evol.* 19, 101–108

KUMAR, A.; KUMAR, M.; PANDEY, R.; ZHIGUO, Y.; CABRAL-PINTO, M.; 2021. Forest



soil nutrient stocks along altitudinal range of Uttarakhand Himalayas: An aid to Nature Based Climate Solutions. *Catena* 207, 749 105667

LÓPEZ-MARCOS, D.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; TURRIÓN, M. B.; JONARD, M.; TITEUX, H.; PONETTE, Q.; BRAVO, F.; 2018. Soil carbon stocks and exchangeable cations in monospecific and mixed pine forests. *Eur. J. For. Res.* 137, 831–847

LÓPEZ-MARCOS, D.; TURRIÓN, M.B.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2019a. Restauración en laderas mineras: una oportunidad para estudiar la sucesión ecológica en procesos de pendiente. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 45, 107-118

LÓPEZ-MARCOS, D.; TURRIÓN, M.B.; BRAVO, F.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2019b. Understory response to overstory and soil gradients in mixed versus monospecific Mediterranean pine forests. *Eur. J. For. Res.* 138:939–955

LÓPEZ-MARCOS, D.; TURRIÓN, M.B.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2020. Linking soil variability with plant community composition along a mine-slope topographic gradient: Implications for restoration. *Ambio* 49, 337–349

LÓPEZ-PINTOR, A.; ESPIGARES, T.; REY-BENAYAS, J.M.; 2003. Spatial segregation of plant species caused by *Retama sphaerocarpa* influence in a Mediterranean pasture: a perspective from the soil seed bank. *Plant Ecol.* 167, 107-1016

MACZKOWIAK, R.I.; SMITH, C.S.; SLAUGHTER, G.J.; MULLIGAN, D.R.; CAMERON, D.C.; 2012. Grazing as a post-mining land use: A conceptual model of the risk factors. *Agr. Syst.* 109, 76-89

MANSO-ARRIBAS, M.; 2024a. Papel de los arbustos nodriza en la conservación de la biodiversidad de pastizales posminería en la montaña palentina. Trabajo Fin de Máster de Ingeniería de Montes. Universidad de Valladolid

MANSO-ARRIBAS, M.; 2024b. Benefit of shrubs on the quality and quantity of pasture in coal mines rehabilitated for livestock use. Trabajo Fin de Máster DATAFOREST. Universidad de Valladolid

MAPA; 1994. Métodos oficiales de Análisis (vol. 3). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid

MARTÍNEZ-RUIZ, C.; MILDER, A.I.; LÓPEZ-MARCOS, D.; ZALDÍVAR, P.; FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; 2021. Effect of forest-mine boundary form on woody colonization and forest expansion in degraded ecosystems. *Forests* 12, 773

MICALET, R.; XIAO, S.; TOUZARD, B.; SMITH, D.S.; CAVIERES, L.A.; CALLAWAY,



R.M.; WHITHAM, T.G.; 2011. Phenotypic variation in nurse traits and community feedbacks define an alpine community. *Ecol. Lett.* 14, 433–443

MIHOČ, M.A.K.; GIMÉNEZ-BENAVIDES, L.; PESCADOR, D.S.; SÁNCHEZ, A.M.; CAVIERES, L.A.; ESCUDERO, A.; 2016. Soil under nurse plants is always better than outside: a survey on soil amelioration by a complete guild of nurse plants across a long environmental gradient. *Plant Soil* 408, 31–41

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

MILDER, A.I.; SALAZAR, E.; FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2013a. Regeneración natural de *Quercus petraea* en minas de carbón restauradas: influencia positiva de los matorrales autóctonos. En: Martínez Ruiz, C.; Lario Iza, F.J.; Fernández-Santos, B.; Avances en la restauración de sistemas forestales. Técnicas de implantación, pp. 89-94. AEET-SECF. Madrid

MILDER, A.I.; FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2013b. Colonization patterns of woody species on lands mined for coal in Spain: preliminary insights for forests expansion. *Land Degrad. Dev.* 24, 39-46

MONTSERRAT, P.; 1961. La sombra y sus efectos sobre el pasto. En: Actas II Reunión de la Sociedad Española para el estudio de los Pastos, Galicia

MORO M.J.; PUGNAIRE F.I.; HAASE P.; PUIGDEFÁBREGAS J.; 1997b. Effect of the canopy of *Retama sphaerocarpa* on its understorey in a semiarid environment. *Funct. Ecol.* 11 425–431

MORO M.J.; PUGNAIRE F.I.; PUIGDEFÁBREGAS J.; 1997a. Mechanism of interaction between *Retama sphaerocarpa* and its understorey layer in a semiarid environment. *Ecography* 20 175–184

MÜLLER, C.H.; 1953. The association of desert annuals with shrubs. *Am. J. Bot.* 40, 53–60

MUÑOZ-CERRO, E.; GARCÍA-DURO, J.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; LÓPEZ-MARCOS, D.; 2023. Soil amelioration induced by nurse shrubs in coal mines reclaimed to pastures and their synergistic effects with grazing. *Agric. Ecosyst. Environ.* 350, 108483

NAVARRO-CANO, J.A.; VERDÚ, M.; GOBERNA, M.; 2018. Trait-based selection of nurse plants to restore ecosystem functions in mine tailings. *J. Appl. Ecol.* 55, 1195–



OKSANEN, J.; BLANCHET, F.G.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.; SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.H.; WAGNER, H.; 2020. Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>

PALLAVICINI, Y.; ALDAY, J.G.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2015. Factors affecting herbaceous richness and biomass accumulation patterns of reclaimed coal mines. *Land Degrad. Dev.* 26, 211–217

PISTÓN, N.; SCHÖB, C.; ARMAS, C.; PRIETO, I.; PUGNAIRE, F.I.; 2016. Contribution of co-occurring shrub species to community richness and phylogenetic diversity along an environmental gradient. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 19, 30–39

PRIETO, I.; PADILLA, F.M.; ARMAS, C.; PUGNAIRE, F.I.; 2011. The role of hydraulic lift on seedling establishment under a nurse plant species in a semi-arid environment. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 13, 181–187

PUGNAIRE, F.I.; HAASE, P.; PUIGDEFÁBREGAS, J.; 1996a. Facilitation between higher plant species in semiarid environment. *Ecology* 77, 1420–1426

PUGNAIRE, F.I.; HAASE, P.; PUIGDEFÁBREGAS, J.; CUETO, M.; CLARK, S.C.; INCOLL, L.D.; 1996b. Facilitation and succession under the canopy of a leguminous shrub, *Retama sphaerocarpa*, in a semi-arid environment in south-east Spain. *Oikos* 76, 455–464

PUGNAIRE, F.I.; 2001. Balance de las interacciones entre plantas en ambientes mediterráneos, pp. 213–236. En: ZAMORA, R.; PUGNAIRE, F.I. (eds.), *Ecosistemas mediterráneos: análisis funcional*. Granada, CSIC-AEET

PUGNAIRE, F.I.; ARMAS, C.; VALLADARES, F.; 2004. Soil a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *J. Veg. Sci.* 15, 85–92

R CORE TEAM; 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

RHOADES, J.; 1982. Cation Exchange Capacity. En A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney (eds.): *Methods of Soil Analysis. Agronomy Monographs* 9, 149–157. American Society of Agronomy. Madison

RODRÍGUEZ-ECHEVERRÍA, S.; PÉREZ-FERNÁNDEZ, M.A.; 2003. Soil fertility and herb facilitation mediated by *Retama sphaerocarpa*. *J. Veg. Sci.* 14, 807–814



ROSELL, R.A.; GASPARONI, J.C.; GALANTINI, J.A.; 2001. Soil organic matter evaluation. En LAL, R. et al. (eds), Assessment Methods for Soil Carbon. 311–322. Serie Advances in Soil Science. Boca Raton: CRC Press. FL

ROSTAGNO, C.M.; DEL VALLE, H.F.; VIDELA, L.; 1991. The influence of shrubs on some chemical and physical properties of an aridic soil in north-eastern Patagonia, Argentina. *J. Arid Environ.* 20, 179-188

SCHOLLENBERGER, C.J.; SIMON, R.H.; 1945. Determination of Exchange capacity and exchangeable bases in soil—ammonium acetate method. *Soil Sci.* 9, 13–24

SIGCHA, F.; PALLAVICINI, Y.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2016. Efecto de la exclusión de grandes herbívoros en la vegetación y el suelo de minas de carbón restauradas. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 42, 141-154

SIGCHA, F.; PALLAVICINI, Y.; CAMINO, M.J.; MARTÍNEZ-RUIZ, C.; 2018. Effects of short-term grazing exclusion on vegetation and soil in early succession of a Subhumid Mediterranean reclaimed coal mine. *Plant Soil* 426, 197-209

TEWKSBURY, J.J.; LLOYD, J.D.; 2001. Positive interactions under nurse-plants: spatial scale, stress gradients and benefactor size. *Oecologia* 127, 425–434

TIELBÖRGER, K.; KADMON, R.; 2000. Indirect effects in a desert plant community: is competition among annuals more intense under shrub canopies? *Plant Ecol.* 150, 53-63

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

VALLADARES, F.; ZARAGOZA-CASTELLS, J.; SÁNCHEZ-GÓMEZ, D.; MATESANZ, S.; ALONSO, B.; PORTSMUTH, A.; DELGADO, A.; ATKIN, O.K.; 2008. Is shade beneficial for mediterranean shrubs experiencing periods of extreme drought and late-winter frosts? *Ann. Bot.* 102, 923-933

VAN BEMMELEN, J.M.; 1890. Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloidalen Silikaten gebundenen Kieselsäure, des Mangans u.s.w.im Ackerboden. Die Landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen 37, 279–290

WALKLEY, A.; 1947. A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 251–254



WANG, J.; WANG, H.; CAO, Y.; BAI, Z.; QIN, Q.; 2016b. Effects of soil and topographic factors on vegetation restoration in opencast coal mine dumps located in a loess area. *Sci. Rep.* 6

WANG, X.; MCCONKEY, B.G.; VANDENBYGAART, A.J.; FAN, J.; IWAASA, A.; SCHELLENBERG, M.; 2016a. Grazing improves C and N cycling in the Northern Great Plains: a meta analysis. *Sci. Rep.* 6, 33190

WENT, F.W.; 1942. The dependence of certain annual plants on shrubs in southern California deserts. *Bull. Torrey Bot. Club* 69, 100-114

ZAREKIA, S.; JAFARI, M.; ARZANI, H.; JAVADI, S.A.; JAFARI, A.A.; 2012. Grazing effects on some of the physical and chemical properties of soil. *World Appl. Sci. J.* 20, 205–212