

**MEJORA DEL VALOR PASTORAL Y MEDIO-AMBIENTAL DE ZONAS
SEMIÁRIDAS DEGRADADAS MEDIANTE TÉCNICAS DE
REVEGETACIÓN, REMICORRIZACIÓN Y ACOLCHADO:
II. APLICACIÓN EN SUELOS MARGOSOS (*Calcaric Regosol*)**

David BADIA VILLAS*

Clara MARTÍ DALMAU*

RESUMEN.—Se ponen en práctica diferentes técnicas de rehabilitación de suelos carbonatados degradados: siembra de herbáceas, remicorrización y acolchado. Se analiza cómo estas técnicas, aplicadas en cuatro parcelas de 120 m² de superficie, influyen la erosión edáfica (medida con trampas *Gerlach*), así como la cantidad y calidad vegetal (recubrimiento, materia fresca y seca, valor pastoral, contenido mineral). La siembra de herbáceas incrementó la cobertura vegetal total de los suelos carbonatados degradados y redujo su tasa de erosión. La materia vegetal fresca, así como su valor pastoral, aumentaron con este tratamiento mientras el contenido de proteínas, ceras y fibras apenas se modificó. La remicorrización no afectó significativamente ni a la cantidad ni a la calidad del conjunto de la vegetación. El acolchado de paja fue el tratamiento más efectivo contra la erosión e indujo a algunas mejoras tanto de la cantidad como de la calidad (mayor peso seco, más elevado valor pastoral) del material vegetal.

ABSTRACT.—Calcareous soils rehabilitation in semiarid degraded lands was studied. Sowing, remycorrhization and mulching techniques were applied on four experimental plots of 120 m² in surface. These techniques of revegetation were

* Departamento de Agricultura. Escuela Universitaria Politécnica. Ctra. Zaragoza, km. 67. E-22071 HUESCA.

prepared to assess its influence on soil erosion (measured with *Gerlach* boxes) and plant quantity and quality (vegetal recovery, fresh and dry matter, pastoral value, mineral content). Sowing increased total plant recovery in calcareous soils and reduced soil erosion. Fresh plant matter and pastoral value increased with sowing but little variations were reflected on its proteins, fats or fibre's content. Remycorrhization neither affected these parameters nor modified mineral content of harvested plants. Straw mulching was effective reducing soil erosion and increasing significantly plant dry matter in reference at sowing treatment.

KEY WORDS.—Environmental rehabilitation techniques, pastoral value, calcareous soils, Bajo Cinca.

INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales suelo, vegetación y agua forman un sistema complejo en el que cualquier acción se deja sentir. Así, la pérdida del recubrimiento vegetal y de las capas de mantillo, por ejemplo, por sobrepastoreo o quema incontrolada, pueden dejar totalmente desprotegido el suelo frente a la acción de agentes externos como la precipitación hídrica. Las gotas de lluvia impactan directamente sobre la superficie alterando su estructura, ya modificada por el calor y el aporte de sustancias hidrófobas en el caso de una quema o por el pisoteo en el caso de sobrepastoreo, con lo cual se reduce la infiltración y aumenta la escorrentía (FERRAN *et al.*, 1991; GIOVANNINI *et al.*, 1990). Por ello, un acolchado del suelo, aplicado de forma inmediata tras una de estas perturbaciones, puede constituirse en una técnica útil en la rehabilitación de zonas degradadas (BOODT *et al.*, 1977; VALLEJO *et al.*, 1993). Por otro lado, la recuperación vegetal puede verse limitada, junto a la escasez hídrica, por la pérdida de nutrientes, por la escasez de semillas o la pobreza biológica de los suelos degradados (JARSTFER y SYLVIA, 1993; MOLINA *et al.*, 1994; SOTO *et al.*, 1990). En este último aspecto, las micorrizas arbusculares (MA) desempeñan un importante papel en ecología y nutrición vegetal (ALLEN, 1988; BAREA y HONRUBIA, 1993; NICOLSON y JOHNSTON, 1979; WHIPPS y LUMSDEN, 1989).

El objetivo de este trabajo consiste en experimentar con técnicas de revegetación, remicorrización y acolchado en suelos degradados. Se trata de conservar los recursos edáficos e hídricos, al mismo tiempo que se recupera y mejora la calidad de la vegetación. Estas experiencias se llevan a cabo en suelos desarrollados sobre margas (*Calcaric Regosol*), suelos ampliamente representados tanto en la comarca del Bajo Cinca (BADIA, 1989a) como en el conjunto de la Depresión Central del Ebro Medio (ALBERTO *et al.*, 1984; NIEVES y GÓMEZ, 1992).

METODOLOGÍA

El área de estudio

El área de estudio se localiza en la comarca del Bajo Cinca (sur de la provincia de Huesca), característica zona semiárida, tal y como hemos descrito previamente (BADIA, 1989a; BADIA y MARTÍ, 1994).

Para reflejar la variabilidad espacial de la zona de estudio se escogieron cuatro parcelas diferentes de manera que todas las técnicas de rehabilitación se contrastaron por cuatuplicado. El conjunto de las parcelas experimentales fueron localizadas entre las coordenadas: 41° 30'-31' long E y 0° 18'-19' lat N, todas ellas en pendientes de unos 20°, con orientación norte y a unos 200 m de altitud (s.n.m.). El dominio de vegetación en estas corresponde a la asociación *Rhamno-Quercetum cocciferae* Br.-Bl. et Bolòs (1954) 1957, maquia de coscoja (*Quercus coccifera* L.) y escambrón (*Rhamnus lycioides* L.), en un avanzado estado de degradación por incendios y pastoreo. Más información sobre la vegetación de esta zona ha sido publicada previamente (BADIA, 1989b; BADIA *et al.*, 1993).

Los suelos presentan un perfil tipo A/C desarrollado sobre margas (calcilutitas); taxonómicamente pertenecen al subgrupo *Calcaric Regosol* de la leyenda FAO (1989), equivalente al *Xeric Torriorthent* de la clasificación americana (SSS, 1990). Los suelos de cada una de las parcelas experimentales han sido exhaustivamente analizados (Tabla I), según la metodología oficial (MAPA, 1994).

Como podemos observar, todos los suelos estudiados (muestra compuesta de cuatro submuestras para cada parcela experimental) son altamente carbonatados, de reacción básica y, en general, medianamente ricos en materia orgánica y nitrógeno total, en su fracción más superficial. Los iones alcalino-térreos, especialmente el calcio soluble, son abundantes; al contrario sucede con el fósforo asimilable, que es bajo. La humedad a saturación puede considerarse alta para este tipo de suelos (BADIA, 1989a; PORTA y JULIA, 1983). Más información sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de estos suelos, así como sobre las características de sus factores formadores, ha sido previamente publicada (BADIA, 1989a; BADIA y ALCAÑIZ, 1994).

Diseño experimental

Se dispone de cuatro parcelas (de 120 m²), bloques o repeticiones, lo que nos permite integrar la variabilidad espacial de la zona estudiada. El diseño

Parcela	M1		M2		M3		M4		Media			
	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30	0-15	15-30		
Color Munsell (seco)	10YR5/4	10YR5/4	10YR6/4	10YR6/4	10YR6/3	10YR6/3	10YR5/4	10YR5/4	10YR5/4	10YR6/4	10YR5/4	10YR6/4
Color Munsell (húm.)	10YR4/4	10YR4/4	10YR4/4	10YR5/4	10YR4/4	10YR5/4	10YR5/4	10YR5/4	10YR4/4	10YR5/6	10YR4/4	10YR5/4
Humedad a sat. (%)	54,50	52,76	48,85	41,65	49,09	56,59	47,24	48,59	49,6	49,9	49,9	49,9
Agua útil (%)	14,2	13,7	11,8	12,7	11,2	11,8	10,9	10,8	12,0	12,2	12,2	12,2
Densid. ap. (Mg m ⁻³)	1,07	1,22	1,07	1,17	1,04	1,19	1,04	1,22	1,06	1,20	1,20	1,20
Element. gruesos (%)	26,4	34,2	41,4	29,6	41,5	18,9	17,4	21,6	31,7	26,1	26,1	26,1
pH (1:2,5) en agua	8,16	8,38	8,26	8,36	8,24	8,20	7,96	7,91	8,15	8,21	8,21	8,21
pH (1:2,5) en CLK	7,56	7,64	7,55	7,65	7,55	7,67	7,59	7,60	7,56	7,64	7,64	7,64
ΔpH	0,60	0,74	0,71	0,71	0,69	0,53	0,37	0,31	0,59	0,57	0,57	0,57
Carbonatos (%)	29,43	31,86	27,40	29,49	28,64	29,41	27,43	19,12	28,22	27,47	27,47	27,47
Caliza activa (%)	9,97	11,79	10,15	8,47	9,77	10,61	9,08	4,76	9,74	8,91	8,91	8,91
C orgánico (%)	2,271	1,585	2,067	1,465	2,514	1,645	1,817	0,970	2,167	1,416	1,416	1,416
Materia orgánica (%)	3,91	2,73	3,56	2,53	4,33	2,84	3,13	1,67	3,73	2,44	2,44	2,44
Nitrógeno total (%)	0,237	0,208	0,234	0,185	0,276	0,202	0,212	0,139	0,240	0,183	0,183	0,183
Relación C/N	9,58	7,62	8,83	7,92	9,11	8,14	8,57	6,98	9,02	7,66	7,66	7,66
P (Olsen, ppm)	5,8	4,2	4,5	3,1	4,9	3,8	5,2	2,1	5,1	3,3	3,3	3,3
Ca ⁺⁺ sol. (meq l ⁻¹)	8,51	3,78	8,15	5,37	9,01	5,73	10,62	15,04	9,07	6,37	6,37	6,37
Mg ⁺⁺ sol. (meq l ⁻¹)	1,19	0,42	1,14	0,53	0,90	0,56	1,48	2,16	1,18	0,92	0,92	0,92
Na ⁺ sol. (meq l ⁻¹)	1,18	0,84	5,08	1,07	0,92	0,66	0,87	0,61	2,01	0,79	0,79	0,79
CEc (25°C) (dS m ⁻¹)	1,75	1,01	2,29	1,02	1,39	1,41	2,20	2,76	1,91	1,55	1,55	1,55
RAS (meq l ⁻¹) ^{1/2}	0,54	0,58	2,36	0,62	0,41	0,37	0,35	0,21	0,91	0,45	0,45	0,45
Yeso (%)	5,94	5,62	5,26	5,82	6,40	5,37	7,00	17,96	6,15	8,69	8,69	8,69

Tabla I. Características físico-químicas de los suelos de las parcelas experimentales, a dos profundidades.

experimental ha englobado el tratamiento de siembra de herbáceas, la introducción de micorrizas comerciales (remicorrización) y la de un acolchado de paja. En cada una de las parcelas (se indican con las referencias 1, 2, 3 y 4 por situarse en otras tantas laderas), convenientemente valladas para evitar la depredación de herbívoros, se dispusieron los indicados tratamientos (entre paréntesis se indican las abreviaturas que se utilizarán en el resto del texto):

- control o testigo (MC),
- siembra de herbáceas (MS),
- siembra con micorrizas (MSM) y
- siembra con micorrizas y acolchado (MSMA).

Las especies introducidas en la siembra fueron: *Medicago sativa* L., *Medicago truncatula* Gaertn., *Onobrychis viciifolia* Scop., *Vicia villosa* Roth, *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Dactylis glomerata* L., *Lolium rigidum* Gaud. y *Phalaris canariensis* (L.). La densidad de siembra, efectuada a finales de octubre, fue de 30 g m⁻² total, con pesos equivalentes por especie. La siembra de la mezcla de herbáceas se realizó en línea, siguiendo la perpendicular a la máxima pendiente. El inóculo esporal introducido se compuso de dos especies de micorrizas arbusculares (*Glomus* sp.) y material inerte de soporte, en una dosis de 120 mg/semilla. Las micorrizas se aplicaron superficialmente tras la siembra otoñal de la mezcla de herbáceas indicada. Con respecto al acolchado, se aportó una dosis elevada de paja de cebada (10 Mg ha⁻¹), cubriendo tanto el material fúngico como las semillas. Es de destacar que las especies introducidas no actuaron como invasoras en los alrededores de las parcelas experimentales.

Análisis de la vegetación

En cada una de las cuatro subparcelas experimentales se obtuvo la cobertura vegetal mediante la proyección de una malla cuadrículada (con luz de 5 cm y 1 m² de tamaño) sobre la superficie del suelo (*point quadrat method*). Se tomaron, en cada subparcela, dos medidas de 100 puntos cada una; se ofrece en este trabajo el valor medio de ambas (en porcentaje). Se diferencié entre suelo sin cobertura, pedregosidad superficial, hojarasca y recubrimiento de cada especie vegetal. Estas medidas se efectuaron siete meses después de la siembra, en la fase final del periodo vegetativo de las especies herbáceas (mayo de 1993). La denominación de las especies vegetales se establece siguiendo la taxonomía de Bolòs *et al.* (1990).

Inmediatamente después de las medidas de cobertura se realizó la siega del conjunto de material vegetal (especies sembradas y autóctonas). La hierba se

segó manualmente, con tijeras, a 1 cm de altura respecto al suelo. La hierba recogida se pesó en verde y se secó (24 h a 105°C) para así obtener una medida de la producción. Además de la producción, se obtuvieron las características químico-bromatológicas de la hierba, tales como el contenido en proteína, grasa, fibra y carbohidratos, así como el calcio, fósforo y potasio. Estos análisis fueron realizados en el laboratorio del departamento de Agricultura y Economía Agraria de la Universidad de Zaragoza, según la metodología estándar (AMELLA y FERRER, 1990), que ha sido detallada previamente (BADIA y MARTÍ, 1994).

Se evaluó el valor que el material cosechado podía tener como forraje, según el método del Valor Pastoral (DAGET y POISSONET, 1972), consistente en el cálculo del siguiente índice:

$$VP=0,2\sum[C_s \cdot I_s]$$

donde C_s es la contribución específica o abundancia de cada una de las especies vegetales, en porcentaje, e I_s , un índice de la calidad forrajera de cada una de estas especies. El valor de la C_s fue obtenido a partir de la cobertura vegetal y el del I_s a partir de la bibliografía; el valor de este parámetro para cada planta ha sido ofrecido previamente (BADIA y MARTÍ, 1994).

Análisis de la erosión del suelo

Para contrastar el efecto del incendio sobre la erosividad de los suelos se utilizaron trampas de sedimentos o *Gerlachs*, que ofrecen una medida continua de la erosión del suelo. Se instaló un *Gerlach* (de dimensiones de 50 x 16 x 16 cm) para cada subparcela y tratamiento. La superficie de recogida potencial de sedimentos (de 4 m²) se limitó con una lámina metálica de 1 m de longitud. Los sedimentos se recogieron cada 30 días aproximadamente, si bien en este trabajo se ofrece únicamente el total recogido durante el período de estudio (noviembre de 1993 a mayo de 1994, inclusive).

Tanto los datos de erosión como los de la vegetación son evaluados, estadísticamente, con el programa StatView 512 (versión 1.1), de Abacus Concepts, Inc. Se utiliza el análisis de varianza de las diferencias mínimas cuadráticas (con una $p < 0,05$) para contrastar la significatividad de las diferencias entre medias de los distintos tratamientos. Se ofrece también la matriz de correlación entre los parámetros obtenidos del análisis químico-bromatológico de las plantas (con $p < 0,05$ y $p < 0,01$).

RESULTADOS

En las parcelas margosas hay una especie dominante y que, en algunos casos, llega a aportar casi el 50% del recubrimiento total; se trata de *Brachypodium retusum*. El resto de plantas autóctonas representa aportes muy inferiores, heterogéneos aunque también apreciables, como sucede con *Helianthemum marifolium*, *Centaurea linifolia* y diversos terófitos (Tabla II). Existe gran variabilidad en cuanto al porcentaje de recubrimiento total entre parcelas, la cual también se pone de manifiesto en experiencias similares realizadas en la Comunidad Valenciana (FERRAN, 1994). Del recubrimiento total, las plantas autóctonas aportan un 40% mientras que las herbáceas suponen un 30% del total, valor similar al encontrado para suelos yesosos de la misma zona (BADIA y MARTÍ, 1994) y algo superior al de suelos margosos del Levante español (FERRAN, 1994).

El desarrollo vegetal observado en las zonas control, sin tratamientos y después de dos años desde la última quema del matorral, es semejante al observado en la Catalunya Central (FERRAN *et al.*, 1991), en Andalucía Oriental (MAY, 1991) o en Israel (KUTIEL y KUTIEL, 1989) y menor al de zonas del litoral catalán (PAPIÓ y TERRADAS, 1984), litoral valenciano (VALLEJO, 1993) o sur de Francia (TRABAUD y PAPIÓ, 1987).

En relación con la erosión hídrica, existe una negativa y significativa ($p < 0,01$) correlación entre erosión y cobertura vegetal ($r = -0,69$). El tratamiento de siembra de herbáceas disminuyó la erosión laminar del suelo, aunque ésta no puede considerarse estadísticamente significativa ($p < 0,05$), dada la gran variabilidad espacial observada. La aplicación del acolchado de paja sí logró una reducción más importante, de más de una tercera parte con respecto al control. Esto se interpreta como que la vegetación autóctona, con casi un 50% de recubrimiento de la superficie edáfica, ya supone un importante freno a la pérdida de suelo. Estudios simultáneos constataban que ésta no es una regla general para la zona; así, por ejemplo, en suelos desarrollados sobre yesos la vegetación autóctona no logró frenar por sí misma la erosión laminar y fue clave la siembra de herbáceas (BADIA y MARTÍ, 1994). En ningún caso las tasas de erosión pueden calificarse de preocupantes (LÓPEZ *et al.*, 1991).

La introducción de una mezcla de semillas de herbáceas ha supuesto, junto a un mejor control de la erosión laminar, algunas modificaciones en la cantidad y, aunque en menor grado, en la calidad de la vegetación (Tabla III).

El porcentaje de materia vegetal fresca y seca aumenta con el tratamiento de siembra y todavía más con el de siembra acolchada; la micorrización parece

PLANTA / N.º DE CONTACTO	MC1	MC2	MC3	MC4	MS1	MS2	MS3	MS4	MSM1	MSM2	MSM3	MSM4	MSMA1	MSMA2	MSMA3	MSMA4
Suelo sin cobertura	28	39	15	38	18	17,5	13	19	15,5	19,5	15,5	14	0	0	0	1
Pedregosidad superficial	10,5	23,5	29	31,5	10,5	7	12,5	17	9	9	9	19	4,5	2	3,5	4
Hojarasca, ramas	1	2,5	2	2	1	2	0,5	1	0	3	1	1	30,5	12	41	27,5
Medicago sativa L.					4	0,5	1	2	0,5	0	0,5	2	2	3	1,5	1
Medicago truncatula Gaertn.					1,5	2,5	1	6,5	3,5	6,5	1,5	4	0	0,5	0,5	1
Onobrychis vicifolia Scop.					5	2	2,5	6,5	2	4	1,5	5,5	9,5	1	3	6
Vicia villosa Roth					4,5	2,5	5,5	5	1,5	6	4	5	6	26	7,5	8
Agropyron cristatum (L.) Gaertn.					0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dactylis glomerata L.	1,5		1,5		8	1	1	2	4,5	2	0	2	1,5	0,5	2,5	0,5
Lolium rigidum Gaud.					7	11	16,5	9,5	14,5	13	12,5	7,5	20,5	12,5	11,5	6,5
Phalaris canariensis L.					2,5	3	3,5	4,5	2,5	3	0	3	2	4,5	1,5	1,5
Hordeum vulgare L.													3,5	20	3,5	12,5
Allium sphaerocephalon L.			3,5				1				0,5				1,5	
Agyriolobium zanonii (Turra) P. W. Ball							0,5									
Asterolinon linum-stellatum (L.) Duby	4	0,5	2,5	1	3	0,5	1	1,5		0,5	0,5					
Astragalus turoleensis Pau				3												1
Attractylis humilis L.									0,5	0,5	0,5					
Bombacilaena erecta (L.) Smolj.					0,5											
Brachypodium retusum (Pers.) Beauv.	14	10	37,5	20	13	40	37,5	23,5	28,5	25,5	44,5	27	12,5	3	21,5	24,5
Bromus sterilis L.					1							2,5		9		1
Bupleurum baldense Turra	4			1	1				0,5				0,5			
Carduus tenuiflorus Curtis		3								0,5						
Centaurea linifolia L.	9				4				9,5				0,5			
Cistus clusii Dunal								0,5								
Crepis vesicaria (L.)							0,5		1,5			4				
Echinops ritro L.	0,5		0,5	1		1			1		0,5			1		
Eruca vesicaria (L.) Cav.		1	1,5	2		1			0,5	0,5		0,5				
Erucastum nasturtifolium (Poiret) O. E.									0,5							
Euphorbia exigua L.			0,5	1						0,5	1				1	
Filago pyramidata L.	0,5	1	1	1	1				1	0,5	0,5	0,5				
Fumana ericoides (Cav.) Gandg.																

Tabla II. Porcentaje de cobertura ocupada por suelo, pedregosidad, hojarasca y cada una de las especies sembradas y autóctonas en las subparcelas experimentales.

PLANTA / N.º DE CONTACTO	MC1	MC2	MC3	MC4	MS1	MS2	MS3	MS4	MSM1	MSM2	MSM3	MSM4	MSMA1	MSMA2	MSMA3	MSMA4
<i>Fumaria thymifolia</i> (L.) Spach	4															
<i>Galium parisiense</i> L.	4,5	3			3				1	1,5						
<i>Genista scorpius</i> (L.) DC.	0,5	0,5		0,5					0,5		0,5			2,5		0,5
<i>Helysarum confertum</i> Desf.																3
<i>Helianthemum hirtum</i> (L.) Mill.		1				0,5										
<i>Helianthemum marifolium</i> (L.) Mill.		13,5	1			2	0,5	1,5		0,5	4,5		0,5			
<i>Helianthemum squamatum</i> (L.) Pers.																
<i>Helianthemum sylvaticum</i> (Jacq.) Dum.-Cours.		0,5														
<i>Herniaria fruticosa</i> L.																
<i>Hippocrepis comosa</i> L.						5										0,5
<i>Hippocrepis multistyligosa</i> L.			0,5													
<i>Lithospermum fruticosum</i> L.							1									
<i>Malva aegyptia</i> L.		0,5											0,5			
<i>Medicago minima</i> (L.) L.	1				0,5											
<i>Narcissus assoanus</i> Duf.	2				2,5		0,5		1,5	0,5	1,5		3,5		1	
<i>Neostema apulum</i> (L.) I. M. Johnston	5				0,5				0,5							
<i>Ononis tridentata</i> L.																
<i>Picris hispanica</i> (Willd.) P. D. Sell	9,5				7								0,5			
<i>Polygala rupestris</i> Pourr.																
<i>Quercus coccifera</i> L.																
<i>Reseda lutea</i> L.										2						
<i>Rosmarinus officinalis</i> L.													0,5			
<i>Stipa offineri</i> Breistr.																
<i>Stipa parviflora</i> Desf.												2				
<i>Teucrium polium</i> L.										0,5						
<i>Thymelaea tinctoria</i> (Pourr.) Endl.																
<i>Thymus vulgaris</i> L.	0,5				0,5	0,5	0,5					0,5	0,5	1		0,5
C OBERTURA TOTAL (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Cobertura vegetación (%)	62	35	55,5	28,5	70,5	73,5	74	63	75,5	68,5	74,5	66	65	86	58,5	67,5
Vegetación sembrada (%)	0	0	0	0	33	22,5	31	36	29	34,5	20	29	41,5	48	28	24,5

Tabla II. (Cont.)

ejercer cierto efecto sobre estos parámetros, si bien la variabilidad espacial limita la significatividad de los resultados. La relación entre materia fresca y seca se ve ligeramente influenciada por los tratamientos efectuados y de forma homogénea para todos ellos. Así, se pasa de una relación de 2,2 (tratamiento MC) a la de 2,4 (MS) y de 2,5 (MSM, MSMA).

Debe remarcarse que, con la siembra de las herbáceas, se ha incrementado el valor pastoral de la vegetación puesto que pasa de 4,9 en el testigo (MC) a 17,9 en el tratamiento de siembra (MS) y a 16,6 en la siembra micorrizada (MSM) para alcanzar el valor de 27,0 con el acolchado (MSMA). Este gradiente de tratamientos va acompañado de un cierto incremento de la proteína bruta (Pb) y los extractivos no nitrogenados (ENN) y de un decremento de la fibra (tanto de la fibra bruta como la fibra ácido y neutro detergente). Así, la proteína bruta pasa de un 8,9% del testigo a un valor medio de 9,4%, como media de los tratamientos efectuados; de igual forma, los glúcidos no estructurales (ENN) pasan del 44% del control al 47% (como media de los tres tratamientos restantes). La gran variabilidad entre las parcelas (laderas distintas) utilizadas como réplicas limita la significatividad de estas diferencias. En valor absoluto, los datos de producción vegetal aquí obtenidos pueden representar valores del 0,5% al 2,5% de lo que producen los pastos pirenaicos o pre-pirenaicos (ASCASO, 1990; FERRER *et al.*, 1980). Además, la proporción de proteínas puede considerarse baja, al contrario de lo que sucede con la fibra. El contenido en fósforo y potasio es muy bajo, a diferencia del calcio, reflejo de la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo. El contenido total de cenizas, del 11,1% en el testigo, disminuye hasta un 9,2% con la introducción de las herbáceas y hasta un 7,8% con la del acolchado.

El tratamiento con micorrizas (MSM) no afectó a ninguno de los parámetros vegetales aquí analizados. De hecho, estudios paralelos mostraron que el porcentaje de micorrización de la vegetación no se vio incrementado con la remicorrización de este tipo de suelo, a diferencia de lo que sucedía con los suelos yesosos (BARCELÓ *et al.*, 1994). Hay que constatar que al inicio de esta experiencia, un año después de producirse el incendio, el *status* de micorrizas arbusculares, aunque algo inferior, se aproximaba al existente antes de dicha perturbación. Así, el número de esporas de estas micorrizas representaba el 78,4% en suelos margosos con respecto a controles no quemados y en la misma época. Por otro lado, su diversidad equivalía a 3/4 partes de la original (BARCELÓ *et al.*, 1994). Estos datos pondrían en evidencia la resiliencia de las micorrizas arbusculares (PUPPI y TARTAGLINI, 1991; TARTAGLINI y PUPPI, 1992) frente al comportamiento general de los hongos después de un incendio (ARCARA y LULLI, 1972; VÁZQUEZ *et al.*, 1991), remarcando que se trata de un grupo trófico distinto al

Parámetro	SE	RVT	RVS	MVF	MVS	VP	Pb	Pd	(Pd/Pb)100	Gb	Fb	FND	FAD	LAD	ENN	CEN	Ca	P	K
	g m ⁻²	%	%	g m ⁻²	g m ⁻²	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MC1	75,40	62,0	0	284,80	122,00	4,4	8,83	5,31	60,1	1,89	33,79	63,53	38,92	6,82	44,22	11,26	1,18	0,083	0,663
MC2	79,26	35,0	0	298,40	136,00	2,0	9,18	6,68	72,8	1,30	35,01	73,91	38,86	5,45	43,85	10,66	1,21	0,069	0,576
MC3	63,04	55,5	0	278,52	122,60	8,7	9,42	6,92	73,5	2,05	35,38	73,36	39,38	6,15	44,54	10,57	0,67	0,072	0,639
MC4	164,30	28,5	0	224,40	103,36	4,6	8,51	6,50	76,4	1,58	35,97	71,94	39,72	5,63	41,90	12,03	1,34	0,061	0,940
Media	95,50a	45,2a	0a	271,50a	120,99a	4,9a	8,98a	6,35a	70,7a	1,70a	35,04a	70,68a	39,22a	6,01a	43,63a	11,13a	1,10a	0,071a	0,705a
MS1	46,85	70,5	33,0	355,60	144,20	19,2	10,90	8,32	76,3	3,02	28,39	53,29	30,47	5,33	48,79	8,90	1,44	0,094	0,898
MS2	60,73	73,5	22,5	338,60	136,00	16,3	8,31	6,19	74,5	1,75	34,41	68,06	35,85	5,14	47,37	8,16	0,78	0,069	0,738
MS3	41,72	74,0	31,0	296,28	132,76	17,2	8,58	5,85	68,2	1,86	32,77	69,69	34,58	10,17	47,95	8,83	1,15	0,062	0,847
MS4	87,56	63,0	36,0	369,00	162,48	18,8	8,29	5,74	69,2	1,55	35,87	68,33	38,67	5,96	43,45	10,83	0,93	0,062	0,847
Media	59,21a	70,2b	30,6b	339,87b	143,86a	17,9b	9,02	6,52a	72,0	2,04a	32,86a	64,84a	34,89a	6,65a	46,89a	9,18b	1,07a	0,072a	0,833a
MSM1	45,92	75,5	29,0	362,80	131,32	16,2	10,66	7,70	72,2	2,07	30,91	55,71	34,31	5,97	45,77	8,62	1,50	0,095	1,261
MSM2	69,73	68,5	34,5	417,76	149,60	17,3	10,81	8,21	75,9	1,97	29,93	58,50	32,52	4,98	48,02	9,26	1,39	0,101	0,903
MSM3	30,75	74,5	20,0	351,04	151,68	14,8	8,12	4,65	57,3	1,82	35,16	61,01	34,67	6,79	45,82	9,08	1,25	0,069	0,802
MSM4	81,77	66,0	29,0	470,76	209,48	18,1	8,49	5,72	67,4	1,28	38,20	74,98	42,10	7,17	42,99	9,04	0,61	0,055	0,767
Media	57,04a	71,1b	28,1b	400,59b	160,52a	16,6b	9,52a	6,57a	68,2a	1,78a	33,55a	62,55a	35,90a	6,23a	45,65a	9,00b	1,19a	0,080a	0,933a
MSMA1	16,69	65,0	41,5	308,90	126,76	21,0	9,70	6,47	66,7	1,79	34,37	68,44	36,26	6,24	46,03	8,10	1,01	0,081	1,233
MSMA2	41,30	86,0	48,0	784,76	310,90	39,2	7,62	5,63	73,9	1,77	30,85	74,99	31,35	6,50	53,19	6,58	0,77	0,092	0,878
MSMA3	25,37	58,5	28,0	377,64	172,52	19,0	8,98	5,89	65,6	1,80	34,83	75,23	38,60	5,87	46,17	8,22	0,61	0,069	0,889
MSMA4	34,10	67,5	24,5	582,12	202,56	28,2	11,98	6,88	57,4	2,37	31,87	59,36	33,68	7,13	45,58	8,19	0,98	0,107	0,759
Media	29,36b	69,2b	35,5b	513,35b	203,18b	16,8c	9,57a	6,22a	65,9a	1,93a	32,98a	69,50a	34,97a	6,18a	47,74b	7,77c	0,84a	0,087a	0,940a

Tabla III. Parámetros medidos en las parcelas experimentales: suelo erosionado (SE), recubrimiento vegetal total (RVT) y de las especies sembradas (RVS), materia vegetal fresca (MVF) y seca (MVS), valor pastoral (VP), contenido en proteína bruta (Pb), proteína digerible (Pd), digestibilidad proteica [(Pd/Pb) x 100], grasa bruta (Gb), fibras (Fb, fibra bruta; FND, fibra neutro detergente; FAD, fibra ácido detergente), lignina ácido detergente (LAD), extractivos no nitrogenados (ENN), cenizas (CEN) y minerales (Ca, calcio; P, fósforo; K, potasio). Letras diferentes en cada columna (parámetro) indican que las medias de los distintos tratamientos son significativamente diferentes, según análisis de la varianza ($p < 0,05$).

resto de la biomasa microbiana edáfica. Por ello, la experiencia de remicorrización apenas ha aportado modificación alguna de la vegetación.

La realización de la matriz de correlación entre los parámetros derivados del análisis químico-bromatológico de la vegetación pone en evidencia sus interrelaciones (Tabla IV).

Es de destacar que el valor pastoral se ha correlacionado, significativa y positivamente ($p < 0,01$), con la cantidad de materia vegetal fresca y seca y el porcentaje de extractivos no nitrogenados (glúcidos de tipo no estructural) y, negativamente, con el porcentaje de fibra ácido detergente (celulosa y lignina) y cenizas. Esto implica que, para este trabajo, al comparar el valor pastoral entre los diferentes tratamientos, se está utilizando un parámetro que integra cantidad y calidad de la vegetación. Por otro lado, la fibra obtenida por el método Weende (fibra bruta) se ha correlacionado positivamente con las fracciones de fibra neutro y ácido detergente obtenidas por el método Van Soest (FND y FAD, respectivamente). A su vez, estas medidas de la fibra se han correlacionado negativamente con las proteínas bruta y digerible y con la grasa bruta, a pesar de que las diferencias de contenido entre tratamientos eran escasas. En cuanto a los minerales, el calcio se correlacionó negativamente con las fibras bruta y ácido detergente, mientras que el fósforo se correlaciona positivamente con la proteína digerible, grasa bruta (ceras, cutinas, resinas) y glúcidos no estructurales. El potasio no mostró correlación alguna con el resto de los parámetros analizados. La mayor parte de las correlaciones expuestas coinciden con las de trabajos previos (FERRER *et al.*, 1976).

CONCLUSIONES

La introducción de una mezcla de herbáceas para rehabilitar suelos margosos (*Calcaric Regosol*) degradados de la Depresión Central del Ebro Medio ha supuesto:

- Un incremento de la cobertura vegetal, con la correspondiente reducción de la erosión de dichos suelos, en todos casos reducida.
- Un incremento significativo de la cantidad de materia vegetal fresca y seca producida por hectárea.
- Un incremento de la calidad de la vegetación reflejada en un aumento del valor pastoral, el cual se correlaciona positivamente con la cantidad de glúcidos no estructurales (hemicelulosas, almidón) y negativamente con el porcentaje de cenizas.

	MVF	MVS	VP	Pb	Pd	Pd/Pb	Gb	Fb	FND	FAD	LAD	ENN	CEN	Ca	P	K
MVF	1	0,96**	0,87**	0,03	-0,07	-0,09	0,08	-0,33	0,05	-0,45	0,09	0,63**	-0,69**	-0,33	0,46	0,01
MVS	0,96**	1	0,82**	-0,18	-0,24	-0,08	-0,07	-0,16	0,25	-0,30	0,15	0,57*	-0,64**	-0,46	0,24	-0,07
VP	0,87**	0,82**	1	0,08	-0,02	-0,08	0,26	-0,41	-0,06	-0,59*	0,13	0,72**	-0,84**	-0,31	0,44	0,32
Pb	0,03	-0,18	0,08	1	0,79**	-0,04	0,67**	-0,58*	-0,68**	-0,40	-0,20	0,01	-0,11	0,41	0,75**	0,24
Pd	-0,07	-0,24	-0,02	0,79**	1	0,58*	0,57*	-0,63**	-0,52*	-0,41	-0,43	0,14	-0,02	0,46	0,58*	0,30
Pb/Pd	-0,09	-0,08	-0,08	-0,04	0,58*	1	0,02	-0,25	0,13	-0,13	-0,44	0,22	0,07	0,15	-0,02	0,16
Gb	0,08	-0,07	0,26	0,67**	0,57*	0,02	1	-0,77	-0,73**	-0,69**	-0,06	0,41	-0,25	0,36	0,68**	0,19
Fb	-0,33	-0,16	-0,41	-0,58*	-0,63**	-0,25	-0,77**	1	0,68**	0,91**	0,09	-0,72	0,42	-0,53	-0,84**	-0,31
FND	0,05	0,25	-0,06	-0,68**	-0,52*	0,13	-0,73**	0,68	1	0,63**	0,14	-0,16	0,08	-0,72*	-0,67**	-0,32
FAD	-0,45	-0,30	-0,59*	-0,40	-0,41	-0,13	-0,69**	0,91**	0,63**	1	0,01	-0,83	0,60*	-0,43	-0,74**	-0,32
LAD	0,09	0,15	0,13	-0,20	-0,43	-0,44	-0,06	0,09	0,14	0,01	1	0,07	-0,10	-0,11	-0,24	-0,17
ENN	0,63**	0,57*	0,72**	0,01	0,14	0,22	0,41	-0,72**	-0,16	-0,83**	0,07	1	-0,78**	-0,01	0,51*	0,18
CEN	-0,70**	-0,64**	-0,85**	-0,11	-0,02	0,07	-0,25	0,42	0,08	0,60*	-0,10	-0,78**	1	0,28	-0,40	-0,35
Ca	-0,33	-0,46	-0,31	0,41	0,46	0,15	0,36	-0,53*	-0,72**	-0,43	-0,11	-0,01	0,28	1	0,38	0,34
P	0,46	0,24	0,44	0,75	0,58*	-0,02	0,68**	-0,84**	-0,67**	-0,74**	-0,24	0,51*	-0,40	0,38	1	0,27
K	0,01	-0,07	0,32	0,24	0,30	0,16	0,19	-0,31	-0,32	-0,32	-0,17	0,18	-0,35	0,34	0,27	1

Tabla IV. Matriz de correlación entre los parámetros de la analítica vegetal: materia vegetal fresca (MVF) y seca (MVS), valor pastoral (VP) y contenido en proteína bruta (Pb), proteína digerible (Pd), digestibilidad proteica (Pd/Pb x 100), grasa bruta (Gb), fibras (Fb, fibra bruta; FND, fibra neutro detergente; FAD, fibra ácido detergente), lignina ácido detergente (LAD), extractos no nitrogenados (ENN), CEN (cenizas) y minerales (Ca, calcio; P, fósforo; K, potasio). La significatividad del coeficiente de correlación viene indicada con un asterisco para una $p < 0,05$ o con dos asteriscos para una $p < 0,01$, con un tamaño de muestra de $n=16$.

La remicorrización no ha supuesto ninguna modificación en cuanto a la calidad ni cantidad de la vegetación debido a la rápida recuperación de los hongos micorrízicos autóctonos tras la perturbación sufrida por los suelos estudiados. El acolchado ha comportado un aumento significativo de la producción de la vegetación (en seco) y del valor pastoral.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado parcialmente por el Instituto de Estudios Altoaragoneses, de la Excma. Diputación Provincial de Huesca.

Queremos agradecer la colaboración de Sergio Galindo, Eduardo Royes, Pedro Durán, Raúl Cristóbal y José Azorín, por participar en el montaje de las parcelas experimentales, en la recogida de sedimentos y vegetación; al Dr. Enric Gràcia, de la empresa Micología Forestal y Aplicada, por suministrarnos el inóculo fúngico; a los Dres. Joaquín Ascaso, Rosa M.^a Maestre y Jesús Terreros, de la Universidad de Zaragoza, por sus sugerencias en la discusión de los resultados referentes a las características bromatológicas de la vegetación; a Melchor Maestro, del CSIC, por su colaboración en las determinaciones analíticas edáficas. Finalmente, a la Fundación Ramón Areces y a Caja de Madrid queremos manifestar nuestro agradecimiento por su colaboración en el equipamiento experimental.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBERTO, F.; GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, J.; MACHÍN, J.; PEÑA, J.L.; POCOVÍ, A. y RODRÍGUEZ, J., 1984. *El Cuaternario de la Depresión del Ebro en la región aragonesa. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes*. Universidad de Zaragoza-Estación Experimental de Aula Dei. Zaragoza.
- AMELLA, A. y FERRER, C., 1990. *Explotaciones de pastos en caseríos guipuzcoanos*. Ed. Amalca. Zaragoza.
- ALLEN, E. B., 1988. Some trajectories of succession in Wyoming Sagebrush Grassland: Implications for restoration. En: *The reconstruction of disturbed arid lands*. Allen, E. B. (ed.), pp. 89-112. Westview Press. Boulder, Colorado.
- ARCARA, P. G. y LULLI, L., 1972. Effetto dell'incendio sulle caratteristiche microbiologiche di un suolo forestale (rendzina). *Annali I.S.S.D.S.*, III: 157-167.
- ASCASO, J., 1990. *Estudio fitocenológico y valoración de los recursos pastorales de las zonas forestales y arbustivas del Prepirineo aragonés*. Institución Fernando El Católico. Zaragoza. 152 pp.

- BADIA, D., 1989a. *Los suelos de Fraga: cartografía y evaluación*. Colección de Estudios Altoaragoneses, n.º 30. Ed. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca. 208 pp.
- BADIA, D., 1989b. *Arbres i arbusts del Vedat de Fraga*. I.E.F. Huesca. 68 pp.
- BADIA, D.; MARTÍ, C.; ROYES, E. y GALINDO, S., 1993. La sucesión vegetal post-incendio en el dominio del coscojar. *Actas XI Bienal de la R.S.E.H.N.* Jaca.
- BADIA, D. y ALCAÑIZ, J. M.^a, 1994. Basal and specific microbial activity in semiarid agricultural soils: organic amendment and irrigation management effects. *Geomicrobiology Journal*, 11: 261-274.
- BADIA, D. y MARTÍ, C., 1994. Mejora del valor pastoral y medio-ambiental de zonas semiáridas degradadas mediante técnicas de revegetación, remicorrización y acolchado: I. Aplicación en suelos yesosos (*Gypsic Regosol*). *Lucas Mallada*, 6: 17-36. Huesca.
- BARCELÓ, M.; BADIA, D.; GRACIA, E. y MARTÍ, C., 1994. Aplicación de endomicorrizas en la revegetación de suelos semiáridos afectados por incendios. *Studia Oecologica*, X-XI: 119-126.
- BAREA, J. M. y HONRUBIA, M., 1993. Micorrizas y revegetación. *Ecosistemas*, 4: 46-47.
- BENITO, E.; SOTO, B. y DÍAZ-FIERROS, F., 1991. Soil erosion in NW Spain. En: *Soil erosion studies in Spain*. Sala, M.; Rubio, J. L. y García-Ruiz, J. M. (coord.). Geoforma Ediciones. Logroño. 228 pp.
- BOODT, M. DE; GABRIELS, D. y LENVAIN, J., 1977. Mulching as protection against erosion. *Proc. I.A.E.A.*, vol. I: 177-121.
- BOLÒS, O. DE; VIGO, J.; NINOT, J. M.^a; MASALLES, R., 1990. *Flora manual dels Països Catalans*. Ed. Pòrtic. Barcelona. 1.247 pp.
- DAGET, P. y POISSONET, J., 1972. Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des fourrages. *Fourrages*, 49: 31-39.
- FAO, 1989. *Soil map of the world*. Revised legend. World Resources Report, n.º 60. Roma. 138 pp.
- FERRAN, A., 1994. La restauración de la cubierta vegetal en condiciones mediterráneas. *ITEA*, 15: 327-334.
- FERRAN, A.; CASTELL, C.; FARRÀS, A.; LÓPEZ, L. y VALLEJO, V. R., 1991. Els efectes del foc en pinedes de la Catalunya Central. *Bull. Inst. Cat. Hist. Nat.*, 59 (sec. Bot., 8): 129-143.
- FERRER, C.; AMELLA, A. y MAESTRO, M., 1976. *Relación entre la composición florística y la ecología de pastos estivales pirenaicos, con su valor nutritivo*. Trabajos del I.E.P.G.E., n.º 24. Zaragoza. 26 pp.
- FERRER, C.; AMELLA, A.; MAESTRO, M.; OCAÑA, M., 1980. *Explotaciones de pastos en caseríos guipuzcoanos: I. La producción de hierba*. Trabajos del I.E.P.G.E., n.º 46. Zaragoza. 50 pp.
- GIOVANNINI, G.; LUCHESI, S. y GIACHETTI, S., 1989. Beneficial and detrimental effects of heating on soil quality. En: *Fire in Ecosystem Dynamics. Mediterranean and Northern Perspective*. Goldammer, J. G. y Jenkins, M. J. (eds.), pp. 95-102. SPB Academic Publishing. The Hague.

- JARSTFER, A. G. y SYLVIA, D. M., 1993. Inoculum production and inoculation strategies for vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. En: *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management*. F. Blaine Metting Jr. (ed.). Marcel Dekker, Inc. New York. 646 pp.
- KUTIEL, P. y KUTIEL, H., 1989. Effects of a wildfire on soil nutrients and vegetation in an Aleppo Pine Forest on Mount Carmel. *Pirineos*, 134: 59-74.
- LÓPEZ-BERMÚDEZ, F.; ROMERO-DÍAZ, M. A. y MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J., 1991. Soil erosion in a semi-arid mediterranean environment. El Ardal Experimental field (Murcia, Spain). En: *Soil erosion studies in Spain*. Sala, M.; Rubio, J. L. y García-Ruiz, J. M. (coord.). Geoforma Ediciones. Logroño. 228 pp.
- MAPA, 1986. *Métodos oficiales de análisis*. Vol. III. Dirección General de Política Alimentaria. Madrid.
- MARTÍ, C. y BADIA, D., 1994. Germinación de Cistáceas en condiciones de laboratorio. *ITEA*, 15: 38-43.
- MAY, T., 1991. Observaciones y reflexiones sobre el comportamiento tras el fuego de algunas especies de la zona mediterránea de Andalucía Oriental. *Ecología*, 5: 125-134.
- MOLINA, F.; ARIL, H. y MARRODÁN, J. I., 1994. Proceso de restauración de escombreras en las explotaciones a cielo abierto de Endesa, en la cuenca minera de Teruel. *ITEA*, 15: 335-346.
- NICOLSON, T. H. y JOHNSTON, C., 1979. Mycorrhiza in the Gramineae. III. *Glomus fasciculatum* as the endophyte of pioneer grasses in a maritime sand dune. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 72: 261-268.
- NIEVES, M. y GÓMEZ, V., 1992. Mapa de suelos de España del Atlas Nacional. *Actas III Congreso Nacional de la S.E.C.S.*: 486-488. Pamplona.
- PAPIÓ, C.; TERRADAS, J., 1984. *La regeneració de la vegetació després de l'incendi de juliol de 1982 al Massís del Garraf*. Dep. Ecologia. U.A.B.
- PORTA, J. y JULIÀ, R., 1983. *Els sòls de Catalunya: àrea meridional de Lleida*. Ed. D.A.R.P. Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- PUPPI, G. y TARTAGLINI, N., 1991. Mycorrhizal types in three Mediterranean communities affected by fire to different extents. *Acta Oecologica*, 12 (2): 295-304.
- SMITH, S. E. y GIANINAZZI-PEARSON, V., 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 39: 221-244.
- SOIL SURVEY STAFF, 1990. *Keys to soil taxonomy*. 4.^a ed. SMSS tech monograph, n.º 6. Blacksburg. Virginia. 422 pp.
- SOTO, B.; BENITO, E.; PÉREZ, R.; BASANTA, R.; DÍAZ-FIERROS, F., 1990. Alterations in surface runoff due to forest fires. *Proceedings of Int. Conf. on Forest Fire Research*. Coimbra. Portugal.
- TARTAGLINI, N. y PUPPI, G., 1992. Root and mycorrhizal dynamics after fire. En: *Responses of forest ecosystems to environmental changes*; pp. 849-850. Edited by Teller, A.; Mathy, P. & Jeffers, J. N. R. Elsevier Science Publishers. London.

- TRABAUD, L.; PAPIÓ, C., 1987. Regeneració de les garrigues de Montpeller i Garraf. En: *Ecosistemes terrestres. La resposta als incendis i a d'altres perturbacions*. Quaderns d'Ecologia Aplicada, 10: 101-111.
- VALLEJO, R., 1993. Restauración de zonas afectadas por incendios forestales en la Comunidad Valenciana: ensayos de especies autóctonas y técnicas de revegetación. *IV Jornadas de la A.E.E.T.* Alicante.
- VALLEJO, R.; BELLOT, J.; FERRAN, A.; LLOVET, J.; GUARDIA, R.; BONET, A., 1993. Revegetación de áreas quemadas en la Comunidad Valenciana. *Ecosistemas*, 4: 41-43.
- VÁZQUEZ, F. J.; ACEA, M. J. y CARBALLAS, T., 1991. Microbial response to wildfire soil transformations. *Proceedings of Symposium on soil erosion and degradation as a consequence of forest fires*. Barcelona & Valencia. 31 pp.
- WHIPPS, J. M. y LUMSDEN, R. D., 1989. *Biotechnology of fungi for improving plant growth*. Cambridge University Press. Cambridge.