



INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL TERRENO EN LA RESPUESTA DE LOS PASTOS A LA APLICACIÓN DE FÓSFORO

Sara Morales Rodrigo*, Óscar Santamaría Becerril, María José Poblaciones Suárez-Bárcena, Teodoro García-White y Leopoldo Olea Márquez de Prado¹

Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal. Escuela de Ingenierías Agrarias. Universidad de Extremadura. Avda. Adolfo Suárez s/n, 06007, Badajoz (España)

¹ Fallecido

INFLUENCE OF SOIL QUALITY IN THE RESPONSE OF PASTURES TO THE PHOSPHORUS APPLICATION

Historial del artículo:

Recibido: 09/10/15

Revisado: 10/12/15

Aceptado: 18/04/16

Disponible online: 14/11/2016

* Autor para correspondencia:

saramoro@unex.es

ISSN: 2340-1672

Disponible en: <http://polired.upm.es/index.php/pastos>

Palabras clave:

Biomasa, mejora, superfosfato de cal, digestibilidad, proteína.

Keywords:

Biomass, improvement, superphosphate of lime, digestibility, protein.

RESUMEN

En el suroeste extremeño los pastos son de producción muy irregular y escasa calidad nutritiva. Tradicionalmente los ganaderos de esta área clasifican las zonas de su finca en *malas* y *buenas*, realizando fertilización fosfórica únicamente en parte de las *buenas*. Con el fin de evaluar la influencia de la calidad del terreno en la respuesta del pasto a la fertilización fosfórica, se diseñó un experimento en dos fincas de la comarca de La Serena (Badajoz) consistente en la aplicación o no de 250 kg ha⁻¹ de superfosfato de cal al 18% en dos zonas diferenciadas según la pendiente, la profundidad y la pedregosidad del terreno. En tres campañas agrícolas, se analizó la composición botánica, la producción, proteína bruta y digestibilidad de materia orgánica del pasto, tanto en invierno como en primavera. La proteína y la digestibilidad del pasto invernal mejoró en la zona *mala* por la fertilización fosfórica (aumentó de 15% a 16%), así como el porcentaje de leguminosas que aumentó de 20% a 30%. Por tanto, existe respuesta positiva a la aportación de fósforo en zonas clasificadas por los ganaderos como *malas*, mostrando potencial de mejora de calidad y composición botánica.

ABSTRACT

In the southwest of Extremadura pastures show a very irregular production and low nutritional value. In this zone, farmers classified their farm's areas in *bad* and *good*, and fertilization with phosphate is made only in *good* areas. In this study we evaluated the soil quality influence on the pasture improvement when phosphoric fertilizer was used. The experiment was conducted in two farms in the region of La Serena (Badajoz), where the main plot was the quality of the soil differentiated based on slope, depth and stoniness, and the sub-plot was the fertilization. Superphosphate of lime to 18% at a rate of 250 kg ha⁻¹ was applied, having a control area without fertilization. This experiment was replicated in three different agricultural years, and the botanical composition of pasture, the production in dry matter, the crude protein and the organic matter digestibility of grass in winter and spring were analyzed. Protein and digestibility of winter grass in *bad* areas were improved by phosphorus fertilization (increasing from 15% to 16%) and the percentage of legumes changed from 20% to 30%. There is, therefore, a positive contribution of phosphorus in classified areas as *bad* by farmers, showing them an improvement potential regarding to pasture quality and botanical composition.



FIGURA 1. Afloraciones rocosas de pizarra características de los suelos de la comarca de La Serena, en Badajoz (izquierda). Situación de las jaulas de exclusión en una de las zonas de toma de muestras (derecha).



FIGURE 1. Rocky outcrops of slate characteristic of the region soil of La Serena in Badajoz (left). Situation of exclusion cages in one of the sampling areas (right).

© Sara M. Rodrigo

INTRODUCCIÓN

La comarca de La Serena comprende, según datos de la Junta de Extremadura, algo más de 280.000 ha del noroeste de la provincia de Badajoz, suponiendo cerca de un 7% de la superficie regional (www.redex.org).

La principal actividad de los habitantes de esta comarca es la ganadería extensiva de ovino. Los pastos de esta zona presentan una escasa e irregular productividad, ya que lo que más abunda en esta comarca son amplias áreas de suelos poco profundos, jalonados por las características afloraciones rocosas de pizarra conocidas como *dientes de perro* (Figura 1).

La erosión a la que está sometido este tipo de suelo hace que esté fuertemente degradado, mostrando un escaso espesor y contenidos en nutrientes fuertemente degradados, provocando unos bajos espesores y contenidos en nutrientes (Serrano *et al.*, 2011). Este hecho agrava aún más el problema de baja fertilidad que ya de por sí sufren los suelos del suroeste de la Península Ibérica. Estos suelos se caracterizan por tener pH ácido, texturas ligeras (arenosas o francas), bajo contenido en materia orgánica y nutrientes como nitrógeno y fósforo (Olea *et al.*, 2003), así como por su deficiencia en calcio y potasio (Fernández *et al.*, 2007). No obstante, estas características de suelo no son homogéneas en todo el espacio que comprende la explotación, habiendo zonas con suelos más profundos y fértiles y zonas sin prácticamente suelo y de baja fertilidad. Esta variabilidad hace que las producciones de las diferentes zonas sean distintas, y que el propietario de la explotación diferencie entre zonas *buenas* y *malas* dentro de su finca.

La situación general de los suelos de estas áreas, unida a las severas condiciones climáticas de la práctica totalidad del S.O. de la Península Ibérica, con veranos secos y muy calurosos e inviernos un tanto fríos (Olea y San Miguel-Ayanz,

2006), ha penalizado el desarrollo de la agricultura intensiva dando paso a la vocación pecuaria de estas zonas, donde prima el aprovechamiento del pasto natural mediante pastoreo del ganado (Gallego *et al.*, 1995).

En esta zona, los pastos herbáceos son el componente vegetal principal, siendo florísticamente variados, y abundando en ellos especies herbáceas anuales, con reducida o nula presencia de perennes (Olea *et al.*, 1989). Estos pastos destacan por su porte pequeño y carácter efímero debido a un agostamiento precoz (Fernández y Porras, 1998).

Respecto a la productividad del pasto en estas zonas, existen en la bibliografía grandes diferencias en los valores proporcionados por los diferentes autores. Así, Olea *et al.* (2004) indicaron valores de 2000 kg MS ha⁻¹ al año, en el intervalo de 2030-2390 kg MS ha⁻¹ propuesto por González y Maya (2013) y dentro del rango 600 - 3500 kg MS ha⁻¹ establecidos por Martín Bellido (1996). Como ya se ha indicado anteriormente, las condiciones de suelos pobres explicarían la baja productividad de estas zonas de pasto frente a otras, y la variabilidad pluviométrica intra e interanual explicaría las fuertes diferencias productivas entre las estaciones del año y entre los años, siendo un común denominador que el máximo crecimiento de las plantas, y por tanto habitualmente la máxima producción, se dé en primavera y aparezcan momentos de escasez en invierno y verano (Viguera *et al.*, 2007).

Los pastos de estas zonas también se caracterizan por su baja calidad nutritiva, con valores medios de proteína alrededor de 10,3% y de digestibilidad de entre 49 y 55%. La baja e irregular producción de la biomasa herbácea y su escasa calidad bromatológica condicionan la producción animal y el sistema de manejo, teniendo que adaptar la carga ganadera de un área de pastoreo al momento y según la calidad de los pastos (Olea *et al.*, 1989).

Dado el coste, siempre creciente, de los suplementos alimenticios para el ganado, uno de los principales objetivos del ganadero, es tender al autoabastecimiento, para así poder reducir costes y maximizar los beneficios de su explotación. La mejora de la producción y calidad de los pastos puede contribuir a conseguir el autoabastecimiento en materia de alimento para el ganado. Entre las estrategias de mejora de los pastos naturales en el suroeste de la península, destaca la fertilización. Con todo lo expuesto anteriormente, dada la baja fertilidad de los suelos de La Serena, y la necesidad de aumentar la producción y calidad de la biomasa herbácea, la fertilización, de entre las estrategias de mejora, se ha convertido en una práctica relativamente habitual en la zona.

Dentro de los diferentes tipos de fertilización, la fosfórica es la más practicada, por su gran efecto sobre la producción y calidad. El fósforo es importante para el establecimiento y mantenimiento de leguminosas, y para una correcta fijación del nitrógeno atmosférico (Bellows *et al.*, 2001), lo que aumentaría el contenido de nitrógeno en el suelo de manera natural. Esta variación en la composición botánica, debido a que aumenta la presencia de leguminosas, ya se reflejó en anteriores estudios (Hejzman *et al.*, 2007; Klaudivsová *et al.*, 2009), siendo ésta atribuida al fósforo residual del suelo tras años de aplicaciones, ya que al haber mayor contenido de P en el suelo, se potencia el establecimiento de las leguminosas en el área.

Es sabido que en el suroeste español, a parte de la disponibilidad de agua en el suelo, que es distinta en función de la distribución de las precipitaciones y la pendiente del suelo, el fósforo es uno de los principales factores limitantes de la producción de los pastos, pudiéndose lograr un aumento en la producción herbácea de más del 50% a través de la fertilización fosfórica (Olea *et al.*, 2005; Barradas, 2009). Dicha fertilización puede aumentar la cantidad de biomasa más que otras como la potásica (Jiménez y Martínez, 1980), y mejorar su calidad más que la nitrogenada (Nesic *et al.*, 2006). No obstante, sus efectos pueden tardar varios años en ser observados (Santamaría *et al.*, 2010), y esto puede deberse, según Quelhas dos Santos (2002), a que el fósforo en el suelo forma combinaciones químicas de reducida solubilidad o a la escasez de lluvia que impida que el P se disuelva y esté disponible para las plantas.

Por tanto, a la hora de valorar la efectividad de una mejora realizada, se debe tener en cuenta que el efecto buscado puede conseguirse a medio o largo plazo y que el coste de su implementación sea rentable (Almoguera, 2007). Es decir, que el aumento de producción que se consiga debe compensar los costes de su aplicación. Es por ello, que en muchas de las explotaciones de la comarca de La Serena, en las que se realiza fertilización fosfórica como mejora de los pastos, ésta se realice solo en las zonas consideradas como *buenas* por el propietario. La idea es que en estas zonas *buenas* el potencial

productivo del pasto sería mayor y por tanto la aplicación de fertilizante más rentable.

Sin embargo, debido a lo complejo, tremendamente variable y particular del ambiente y el suelo en los pastizales de la comarca de La Serena, y teniendo en cuenta la gran importancia económica del ganado extensivo en dicha área, la aplicación de fertilización fosfórica, especialmente en las zonas *buenas* de las explotaciones, como estrategia de mejora, merece una revisión en detalle que determine la idoneidad o no de su aplicación tanto en las zonas *buenas* como *malas* en función a la respuesta del pasto a la aplicación de P. Para ello, se inició en 2012 un proyecto de investigación en la comarca de La Serena con el objetivo de evaluar la influencia de la calidad de los suelos sobre la respuesta a la fertilización fosfórica de los pastos herbáceos, en términos de producción, composición botánica y calidad, ya que si bien la mejora de la producción y la calidad de los pastos a través de fertilización fosfórica puede ser más lenta o menor, se entiende que puede existir en zonas de suelos de mala calidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se planteó durante tres años agrícolas, (2012-2013, 2013-2014 y 2014-2015), en dos fincas con las coordenadas siguientes según el sistema geodésico de referencia WGS84: Gamonital (GA) 38° 52' 20,5" N y 5° 30' 20,6" O y Fuente de los Romeros (FR) 38° 58' 16,18" N y 5° 35' 28,51" O, representativas de la comarca de La Serena (Badajoz), en los términos municipales de La Coronada y Campanario, respectivamente. La dedicación de las fincas es la de producción de pastos y su aprovechamiento por ganado ovino de raza Merina para la producción de carne. Estos pastos de producción exigua y calidad muy pobre, compuestos por gramíneas muy frugales y una baja proporción de leguminosas, son lo que se conoce como "pastos finos". Las características meteorológicas (según la estación de Don Benito) de los tres años de estudio se presentan en la Figura 2.

En cada finca, se seleccionaron dos zonas de 800 m² de superficie, con calidad del terreno diferenciada, denominadas como *buenas* y *malas*. Aunque separadas (aproximadamente 300 m), las zonas *buenas* y *malas* estuvieron lo suficientemente próximas para que las condiciones meteorológicas fueran las mismas. El criterio principal para designar cada zona fue la pendiente, ya que hay zonas de ladera y zonas llanas, la profundidad aparente del suelo (según la experiencia del propietario) y su pedregosidad. La pendiente en las zonas del ensayo fue de más de 10% en las zonas *malas* y menos del 5% en las *buenas*. Al inicio del experimento (otoño de 2012), se tomaron cuatro muestras por zona y finca y se analizaron los suelos de las parcelas experimentales, determinando los principales parámetros químicos y su textura (por el método granulométrico), siendo ésta franco-arcillosa. Ninguna de las

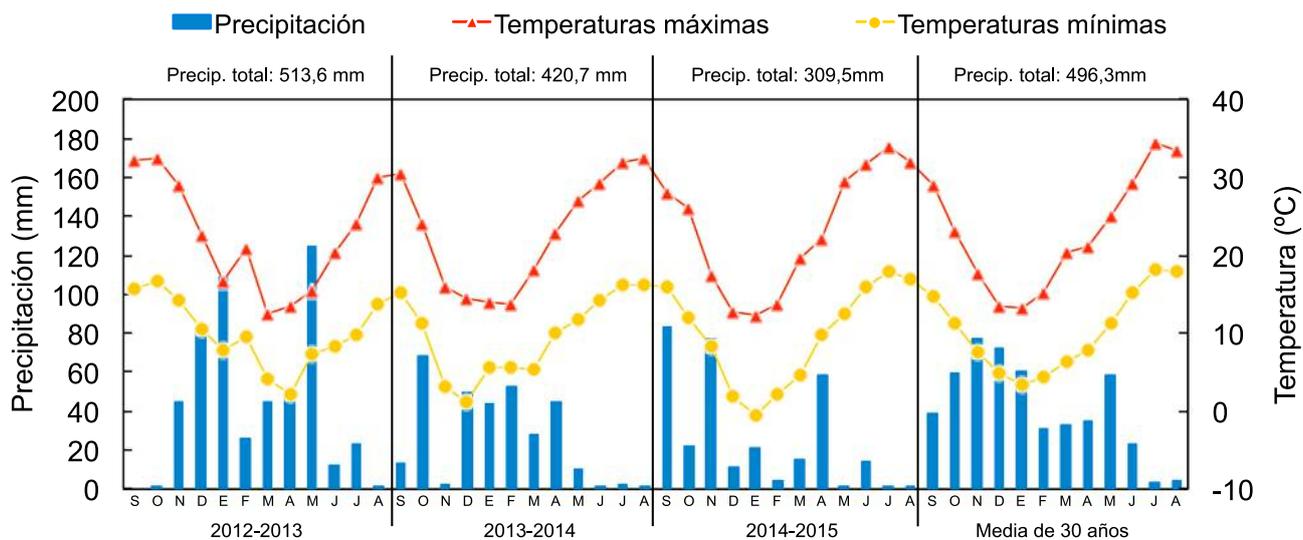


FIGURA 2. Precipitación anual y mensual y temperatura (media de máximas y mínimas mensuales) de las campañas agrícolas 2012-13, 2013-2014, 2014-2015 y la media de los últimos 30 años en la zona de estudio. (Datos AEMET).

FIGURE 2. Annual and monthly precipitation and temperature (monthly mean maximum and minimum) of the seasons 2012-13, 2013-2014, 2014-2015 and the average of the last 30 years in the study area. (Data AEMET).

zonas de las dos fincas había sido fertilizada previamente. Los métodos utilizados para las determinaciones químicas fueron los siguientes: pH, mediante pH-metro y electrodo combinado en una relación suelo/agua de 1:25; materia orgánica por el método Walkley y Black (1934), con ácido crómico y determinación colorimétrica; fósforo asimilable por el método Olsen (Olsen *et al.*, 1954); el calcio, magnesio, potasio y sodio se extrajeron con acetato amónico 1N tamponado a pH 7, posteriormente el calcio y magnesio se determinaron por absorción atómica y el potasio y el sodio por electrodo selectivo; finalmente, el nitrógeno total se determinó por el método Kjeldhal (oficial: RD 2257/1994 n°6).

En cada zona se fertilizó la mitad de la superficie de la parcela experimental (40 m × 10 m) con 250 kg ha⁻¹ de superfosfato de cal al 18% (18% P₂O₅ granulado) cada año a principio del otoño, después de las primeras lluvias, dejando la otra mitad sin fertilizar y por tanto, como tratamiento control. Las zonas eran pastoreadas siguiendo las prácticas habituales en la zona, donde los animales pastorean la finca fraccionada en parcelas siendo movidos de una a otras según la disponibilidad de alimento en cada una.

La estimación de la producción, composición y calidad del pasto herbáceo, se realizó mediante el empleo de cuatro jaulas de exclusión de 1 × 1 m² de superficie en cada tratamiento (fertilización vs control) y en cada finca, colocándolas aleatoriamente. Cada año se cambiaba la localización de las jaulas para evitar efectos acumulados de la falta de presencia animal, pero se mantenían en los dos cortes del mismo año para estimar la cantidad total de pasto aprovechable.

Se realizaron dos muestreos al año en las jaulas de exclusión: uno en invierno (febrero) y otro en primavera (mayo), si-

mulando un pastoreo con dos aprovechamientos que, como se ha indicado es lo habitual en la zona, ya que al ir rotando en diferentes parcelas los animales para llevar a cabo el aprovechamiento, cada parcela se pastorea dos veces al año. Estos muestreos de las jaulas se hicieron coincidir con el momento de pastoreo del ganado en las parcelas del ensayo. La producción de pasto herbáceo se estimó mediante el corte (primero en invierno y luego el rebrote de primavera) de la totalidad de la superficie de cada jaula de exclusión, cortando la hierba a aproximadamente un centímetro de altura sobre el suelo y secando la muestra primero al aire durante 48 horas y luego en estufa a 65 °C hasta pesada constante. Previo a los análisis químicos de calidad la muestra se molió. En cada una de las jaulas de exclusión se determinó además de la cobertura y composición botánica, la producción de biomasa (MS en kg ha⁻¹), la proteína bruta (PB en %) por el método Kjeldahl y la digestibilidad de materia orgánica calculada con la fórmula %DMO = 102,56 - (%FAD × 1,14) para pastos polifitos según indica Gómez de Barreda (2005). La fibra ácido detergente (FAD) fue calculada gracias al método oficial (AOCS, 2005). La composición botánica se estimó mediante medida visual por dos personas (para hallar la media) del porcentaje de gramíneas, leguminosas y otras familias, sin determinar especies o número de plantas, sólo estimación de la cobertura de la zona muestreada (jaula) en primavera.

Los datos obtenidos de las variables producción, proteína y digestibilidad de materia orgánica, se analizaron mediante el procedimiento de análisis de la varianza (ANOVA) de cuatro vías con cuatro repeticiones, considerando los factores: año, finca, zona y tratamiento fertilizante, así como las interacciones entre dichos factores. Se analizaron de manera independiente, los resultados correspondientes al pasto de invierno y al pasto

de primavera. Cuando los requisitos de normalidad y/o homocedasticidad no se cumplían en los datos obtenidos, se utilizó la transformación $\text{Ln}(x+1)$; no obstante, los datos mostrados son siempre los datos sin transformar, para una mejor interpretación. Cuando se detectaron diferencias significativas en el ANOVA, la comparación entre medias se realizó utilizando el test de Fisher de mínima diferencia significativa (MDS) a $p \leq 0,05$. El paquete estadístico utilizado fue STATISTIX 8.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de los análisis de suelo se presentan en la Tabla 1, diferenciando entre fincas y zonas dentro de cada finca. En la zona denominada como *buena* en ambas fincas (menor pendiente y pedregosidad y mayor profundidad),

existía significativamente mayor contenido en suelo de P respecto a la zona *mala*. Además, en la Tabla 1, se observa que el pH de los suelos de ambas fincas es ácido, con mayor materia orgánica (MO) y P en la zona buena, mostrándose sólo diferencias entre zonas en FR en el K y siendo mayor el contenido en la zona buena, mientras que para Ca y N, las diferencias entre zonas sólo se vieron en GA, siendo de nuevo la zona buena la de mayor contenido en ambos nutrientes.

En la Tabla 2, se muestran los resultados de los análisis estadísticos, observándose en ella las significaciones de las variables principales. Las interacciones (entre las variables) que mostraron significación se presentan posteriormente.

La zona de estudio (*buena* o *mala*) influyó significativamente (Tabla 2) en la producción de materia seca (MS) en invierno y primavera, y la digestibilidad de materia orgánica (DMO) en

	GA		FR	
	B	M	B	M
pH*	6,20±0,03A	6,10±0,11A	5,80±0,06B	5,80±0,05B
MO (%)***	2,90±0,30a	2,20±0,11b	3,10±0,15a	2,60±0,30b
Ca (meq 100g ⁻¹)***	9,70±0,44a	6,40±0,44b	6,30±0,93b	6,60±0,18b
K (meq 100g ⁻¹)*	0,80±0,002bc	0,80±0,007c	0,87±0,014a	0,83±0,002b
Mg (meq 100g ⁻¹)	2,49±0,25	2,46±0,26	1,65±0,19	1,55±0,16
N (%)***	0,20±0,002a	0,15±0,001b	0,21±0,002a	0,22±0,008a
Na (meq 100g ⁻¹)	0,16±0,013	0,15±0,005	0,16±0,003	0,15±0,006
P Olsen (ppm)**	5,50±1,12α	3,20±0,11β	7,10±1,02α	6,40±0,95β

* significativo al 0,05; ** significativo al 0,01; *** significativo al 0,001

TABLA 1. Medias y errores estándar de las variables edáficas en las fincas Gamonital (GA) y Fuente de los Romeros (FR) en ambas zonas estudiadas (*buena* y *mala*). Dentro de cada variable, letras diferentes minúsculas muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para la interacción de las medias según test LSD de Fisher; letras diferentes mayúsculas muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre fincas; letras griegas muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre zonas.

TABLE 1. Means and estándar errors of the variables for the soil parameters in the fields Gamonital (GA) and Fuente de los Romeros (FR) in both studied areas (*good* and *bad*). For each variable, different low letters mean significant differences ($p \leq 0,05$) for the interaction of the means according to Fisher's LSD; different capital letters means significant differences ($p \leq 0,05$) between fields; different greek letters show significant differences ($p \leq 0,05$) between the areas.

Fuente de variación	Biomasa invernal			Biomasa primaveral		
	MS (kg ha ⁻¹)	PB (%)	DMO (%)	MS (kg ha ⁻¹)	PB (%)	DMO (%)
Año	*	**	***	***	*	**
2013	855,8±94,9b	16,6±2,5a	65,3±2,5b	3821,5±325,5a	8,7±0,1b	63,3±0,3a
2014	1146,0±145,9a	14,7±4,1b	71,9±2,2a	284,8±23,0c	8,5±0,4b	65,8±1,2a
2015	989,1±144,5ab	14,9±4,0b	71,9±2,2a	1642,9±148,2b	9,7±0,6a	60,2±0,4b
Finca	***	***				
GA	1305,3±124,0a	16,2±0,5a	70,1±0,6	1998,2±233,1	8,6±0,3	62,4±0,3
FR	688,6±74,5b	14,6±0,4b	69,3±1,3	1834,6±302,8	9,4±0,4	62,9±0,9
Zona	***		***	**		
Buena	1210,8±119,1a	15,3±0,5	71,4±0,7a	2493,9±336,5	8,9±0,4	63,4±0,9
Mala	783,2±94,0b	15,5±0,5	68,0±1,2b	1339,0±139,2	9,1±0,2	62,9±0,4
Fertilización	*					
Fertilizado	1098,8±120,2	15,9±0,5a	70,2±1,2	1915,8±253,5	8,8±0,4	63,7±0,9
No fertilizado	895,1±100,4	14,9±0,5b	69,3±0,8	1917,0±287,3	9,2±0,3	62,5±0,3
Media	996,9±78,6	15,4±0,3	69,7±0,7	1916,4±190,6	9,0±0,2	63,1±0,5

* significativo al 0,05; ** significativo al 0,01; *** significativo al 0,001

TABLA 2. Producción (kg MS ha⁻¹), proteína (%) y digestibilidad de materia orgánica (%) [MS, PB y DMO] (medias y error estándar) por zona, año, finca y fertilización en las muestras de pasto analizadas en invierno y primavera. Dentro de cada factor y parámetros, letras diferentes muestran diferencias significativas ($p \leq 0,05$) para las medias según test LSD de Fisher.

TABLE 2. Biomass yield (kg MS ha⁻¹), crude protein (%) and organic matter digestibility (%) [MS, PB and DMO] (means and standard errors) in both areas, years, fields and fertilization treatments in the analyzed samples in winter and spring. For each factor and parameter, different letters show significant differences ($p \leq 0,05$) for the means according to Fischer's LSD test.

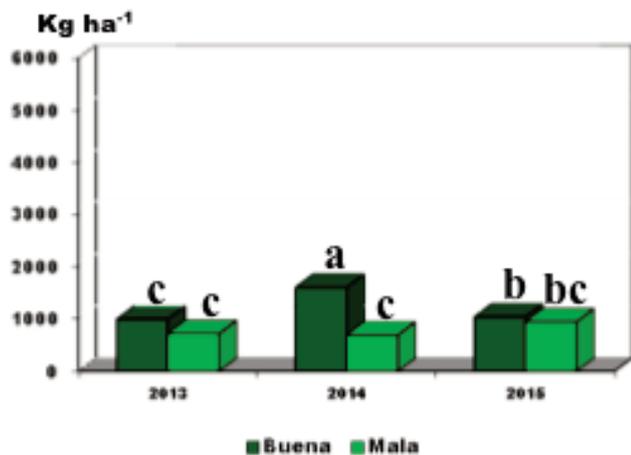


FIGURA 3. Efecto del año y la zona sobre la producción (kg MS ha⁻¹) invernal (izquierda) y primaveral (derecha). Letras diferentes muestran diferencias significativas entre las seis medias analizadas.

el pasto invernal (Tabla 2). Por su parte la fertilización aportada, sólo tuvo efecto en la variable proteína (PB) de la biomasa cosechada en invierno. La finca influyó en la MS y la PB del pasto invernal. El año de estudio mostró diferencias significativas para todos y cada uno de los parámetros estudiados en ambos momentos. Respecto al año, la menor producción invernal en el primer y tercer año, podrían deberse a un enero especialmente lluvioso en 2013 (más de 100 mm en el mes), donde el encharcamiento del suelo podría haber dificultado el desarrollo correcto de las plantas tras la parada invernal, y un diciembre de 2014 y enero de 2015 especialmente secos, donde la precipitación apenas sumó 30 mm (Figura 2).

El hecho de que el tratamiento fertilizante sólo tuviera influencia significativa en la calidad de la biomasa invernal podría deberse a la mayor disponibilidad del P en invierno, ya que con las primeras lluvias, el superfosfato de cal aplicado en superficie, se disuelve para entrar en el suelo, quedando a disposición momentánea de las plantas, para posteriormente desaparecer ese agua y el P quedar retenido en el complejo coloidal del suelo (Quelhas dos Santos, 2002) de manera que ya no esté fácilmente disponible para la planta. Eso explicaría la falta de efecto del tratamiento fertilizante sobre la biomasa primaveral. Estos resultados apoyan la teoría de la necesidad de una aplicación continuada de P durante varios años para observar el efecto en el pasto por el aumento en el suelo de este nutriente; dicha afirmación ya fue descrita por Santamaría *et al.* (2010) en su ensayo en suelos de dehesa deficitarios de P. En dicho ensayo, sólo en el 3^{er}-4^o año comenzaron a observarse diferencias significativas en biomasa. Los suelos donde se realizó el presente trabajo mostraron unos contenidos iniciales más bajos de P que los mostrados por dichos autores, y sólo tres años han sido estudiados, lo que podría indicar que en años posteriores podría observarse el deseado aumento de producción.

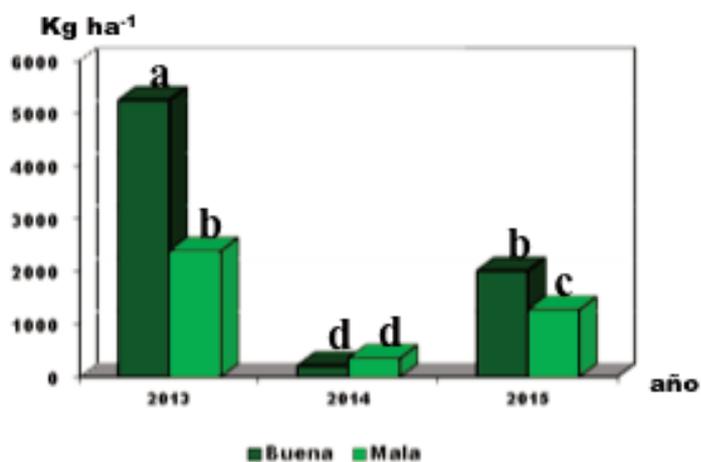


FIGURE 3. Year and area effect on winter (left) and spring (right) biomass production (kg DM ha⁻¹). Different letters show significant differences for the six studied means.

En los datos del presente trabajo, el año 2014 muestra mayor producción de MS en invierno y significativamente menor en primavera. Estas diferencias pueden explicarse debido al manejo del ganado de esa campaña, y no a la aplicación de fertilizante, ya que ese año, las altas lluvias acaecidas en invierno no permitieron al ganadero hacer el aprovechamiento en su momento justo, retrasándose éste y, por tanto, estando más avanzado el estado fenológico de las plantas, aportando una mayor biomasa invernal. Precisamente ese retraso y el hecho de aprovechar con el ciclo más avanzado, pudo comprometer el rebrote de algunas especies, no generando biomasa primaveral. Especialmente en gramíneas, hacer un aprovechamiento con el ciclo avanzado parece comprometer el rebrote y la producción de semillas (Llera *et al.*, 1997).

En lo referente a las interacciones entre factores para cada variable analizada, la MS mostró significación en la interacción año × zona (Figura 3), tanto para la biomasa invernal como para la cosechada en primavera. Para la invernal, sólo el segundo año (2014) mostró diferencias entre zonas, mientras que para la primaveral ese fue el único año del estudio que no mostró diferencias, deduciéndose por tanto que el año influye menos en la producción de las zonas en invierno y que su influencia sobre las zonas es mayor en primavera.

Aunque las producciones obtenidas en la mayoría de los casos se encuentran dentro del rango señalado por Martín Bellido (1996), entre 600 a 3500 kg MS ha⁻¹ año⁻¹, cuando hubo diferencias significativas, la MS de la zona *buena*, fue superior a la de la zona *mala*, tanto en invierno como en primavera, pudiendo llegar a duplicar la cantidad de biomasa producida (en 2014 en invierno y en 2015 en primavera). Obviamente, la mayor cantidad de nutrientes en suelo en la zona *buena* (K, N y P especialmente), su mayor profundidad (permitiendo un mayor desarrollo radicular) y su menor pendiente (mayor disponibilidad de agua al limitarse las pérdidas por escorrentía),

entre otras razones, posibilitan mayores crecimientos y la instauración de plantas más exigentes en nutrientes pero con mayor potencial productivo. Hay que destacar sin embargo, que no existió significación para la interacción zona × fertilización, lo cual significaría que la respuesta del pasto al fósforo sería independiente de la calidad general del suelo de la zona. Es decir, que con una aportación prolongada de fósforo, la mejora podría aparecer en alguna de las zonas o en ambas. Lo que sí hay que plantearse es si la respuesta al fósforo compensa los gastos de su aplicación. En este caso en ambas fincas, la fertilización aportó más de 200 kg MS ha⁻¹ en la biomasa invernal, aunque los datos no fueron estadísticamente significativos. Como se ha indicado anteriormente, en una aportación prolongada de fósforo, podrían aparecer diferencias significativas, y esto puede ser interesante, ya que el precio de producir un kg extra de pasto puede estar cerca de 0,15 €, estando el precio del kg de paja alrededor de 0,1 €. La diferencia podría compensar, ya que el pasto es un alimento más completo que la paja en términos de energía.

En relación con la calidad del pasto obtenido, la interacción zona × tratamiento fertilizante fue significativa en la PB en invierno. En la zona *mala*, aumentó con la aplicación de P, incrementándose el valor de 14,4% a 16,6%, no viéndose esa diferencia significativa entre las zonas *buenas* fertilizadas y no fertilizadas (15,5% y 15,2% respectivamente) (Tabla 3).

Fertilización	Zona	
	Buena	Mala
Fertilizado	15,5±0,81	16,6±0,52a
No fertilizado	15,2±0,58	14,4±0,68b

TABLA 3. Efecto de la zona y del tratamiento de fertilización sobre el contenido medio de proteína bruta (%) de la hierba de invierno. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p \leq 0,01$) para las medias según test LSD de Fisher.

TABLE 3. Effect of area and fertilization on the average crude protein content (%) of winter grass. Different letters show significant differences ($p \leq 0,01$) for the means according to Fisher's LSD test.

Respecto a la PB de la biomasa primaveral no se observaron diferencias significativas en la interacción zona × tratamiento fertilizante, no obstante sí que se observó como el pasto fertilizado presentó significativamente una mayor proporción de leguminosas con respecto al pasto no fertilizado, alcanzándose casi el 30% de leguminosas en las primeras zonas y apenas superando el 20% en las segundas (Tabla 4), aunque este aumento no tuvo efecto para que apareciera una diferencia significativa en las zonas fertilizadas frente a las no fertilizadas. Esta respuesta positiva de la cantidad de leguminosas con la aplicación de P ya fue referida por Bellows *et al.* (2001), quienes indicaban un fomento de las leguminosas de un pasto natural gracias a la fertilización fosfórica. En un medio pobre en fósforo y en nitrógeno, está limitado el crecimiento de todos los grupos. Sin embargo, un aporte de fósforo claramente favo-

rece al grupo que es capaz de suministrarse su propio N gracias al *Rhizobium* de las raíces, es decir a las leguminosas. Esto es muy importante, ya que como se sabe que la biomasa de leguminosas presenta un contenido proteico mayor que el de otros grupos de plantas (Vázquez de Aldana *et al.*, 2000), el tratamiento continuado con P, podría conseguir la abundancia suficiente de leguminosas para que se incremente el contenido en PB de manera patente.

	% Leguminosas	% Gramíneas	% Otras familias
Zona			
Buena	29,8±3,6	42,2±3,7	38,8±3,1
Mala	20,9±2,3	39,0±2,9	27,8±3,1
Fertilización			
Fertilizado	29,3±3,4a	43,0±3,5	26,4±2,8b
No fertilizado	21,4±2,6b	38,2±3,1	40,3±2,6a

TABLA 4. Efecto de zona y del tratamiento de fertilización sobre la composición botánica del pasto. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p \leq 0,01$) para las medias según test LSD de Fisher.

TABLE 4. Effect of area and fertilization on the botanical composition of the pasture. Different letters show significant differences ($p \leq 0,01$) for the means according to Fisher's LSD test.

Finalmente, la DMO de la biomasa aprovechada en invierno mostró significación en la interacción triple año × zona × tratamiento fertilizante, (Figura 4).

En la Figura 4, se puede observar que el pasto de las zonas *malas*, la fertilización aumentó significativamente la DMO en el pasto invernal los años segundo y tercero del ensayo. Además se puede ver que la DMO el primer año de estudio fue significativamente mayor en las zonas *buenas* que en las

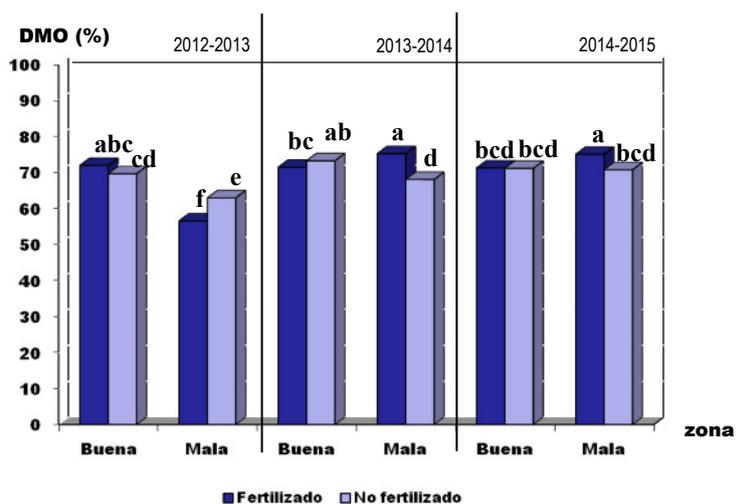


FIGURA 4. Digestibilidad de la materia orgánica (%) por zona y tratamiento fertilizante para cada año de estudio en el pasto invernal. Letras diferentes muestran diferencias significativas ($p \leq 0,001$) para las medias según test LSD de Fisher en la interacción triple.

FIGURE 4. Organic matter digestibility (%) in each area and fertilization treatment for each year in the winter biomass. Different letters show significant differences ($p \leq 0,01$) for the means according to Fisher's LSD test.

malas (Figura 4), debido probablemente a que la mayor profundidad provocó una mayor infiltración de agua, lo que supondría una reserva en el suelo y por tanto un alargamiento del ciclo de la planta, puesto que la falta de reserva de agua en zonas donde el suelo es más esquelético acelera la senescencia y acorta el ciclo vital (Malinowski *et al.*, 2003). Esto supondría que en el momento del aprovechamiento, las plantas de la zona buena estarían en un estadio de menor madurez de su ciclo vital, y existen estudios (Olea *et al.*, 2005) que han mostrado como según avanza el ciclo de la planta se reducen los valores de proteína y se aumentan los de fibra (reduciéndose por tanto los de DMO).

Como apunte final, y respecto a los datos de cobertura (datos no mostrados) y composición botánica, hay que destacar que de nuevo no se encontró, para ninguna de ellas, significación para la interacción zona \times tratamiento fertilizante, lo que de nuevo indica que hay efecto positivo sobre alguna de las variables analizadas en la zona *mala* tras la fertilización. Se informa además que la cobertura vegetal del suelo siempre superó el 73% (datos no mostrados) que Muñoz Robles *et al.* (2011) establecieron como umbral para la disminución de la erosión hídrica, y que el aumento de la proporción de leguminosas en las zonas fertilizadas se hizo en detrimento de las plantas pertenecientes a otras familias, quienes vieron disminuido su porcentaje de más del 40% a menos de 27% (Tabla 4), que aunque no tuvo un efecto significativo en la PB o la DMO, generalmente, la palatabilidad de estas especies es peor que la de gramíneas o leguminosas, y los animales las aprovechan peor. Finalmente, el porcentaje de gramíneas fue el único que no mostró diferencias significativas en lo referente a la fertilización, siendo el porcentaje de leguminosas, gramíneas y otras familias, igual estadísticamente en ambas zonas (*buena* y *mala*) en el estudio de las medias.

CONCLUSIONES

El hecho de que no aparezca significación para los datos de producción en la interacción zona \times fertilización y de que sí exista una respuesta positiva de la fertilización en la PB y DMO en la zona *mala*, indica que la mejora en las zonas consideradas por los ganaderos como *malas*, es posible a través de la fertilización fosfórica, ya que el porcentaje de leguminosas aumenta, disminuyendo el porcentaje de plantas pertenecientes a otras familias. Por tanto, la fertilización fosfórica durante los tres años de estudio, aunque no ha tenido grandes efectos en los pastos de las zonas buenas, sí que los ha tenido en los de las zonas malas (efectos cualitativos pero no cuantitativos). No obstante, en zonas de alta deficiencia en P en suelo, es necesaria la aplicación continuada de superfosfato de cal durante varios años (más de tres) para aumentar el contenido de P en el suelo y equilibrar las entradas y salidas del sistema; quizás así podrían verse efectos sobre la producción de materia seca y la calidad de los pastos de

forma más patente y en qué medida afecta la fertilización continuada a cada zona.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación de referencia PCJ1009 del programa Generación del Conocimiento del IV Plan Regional de I+D+i, cofinanciado por la Comunidad Autónoma de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Los autores quieren agradecer a Javier Sánchez Llerena y Carlos García-Latorre Nieto su contribución a la redacción de este documento.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMOGUERA, J. (2007) Modelo dehesa sobre las relaciones pastizal-encinar-ganado. Trabajo fin de carrera. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY (AOCS) Ba 6a-05 (2005).
- BARRADAS, A. (2009) Efecto de la mejora de pastos naturales en cuatro tipos de suelos mediterráneos. Tesis Doctoral. Badajoz, España: Universidad de Extremadura.
- BELLOWS, A. (2001) *Nutrient cycling in pastures*. California, EEUU: ATTRA.
- FERNÁNDEZ, P., LECHUGA, M.P., CARBONERO, M.D. Y BLÁZQUEZ, A. (2007) Efecto a largo plazo del pastoreo en las características químicas de un suelo arenoso de dehesa. En: Neiker (ed.) *Los sistemas forrajeros entre la Producción y el Paisaje*, pp. 721-727. Vitoria-Gasteiz, España: SEEP
- FERNÁNDEZ, P. Y PORRAS, C.J. (1998) *La dehesa. Algunos aspectos de la regeneración del arbolado*. Sevilla, España: Dirección General de Investigación y Formación Agraria, Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- FUENTES YAGÜE, J. L. (1994) *El suelo y los fertilizantes*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- GALLEGO, F.L., URBAN, F.P. Y GONZÁLEZ, L.G. (1995) Model of animal production integrated in the programme of rural tourism, in "La Serena" region (Extremadura, Spain). Évora, Portugal: FAO.
- GÓMEZ DE BARREDA, D. (2005) *Practicultura*. Valencia, España: Editorial de la UPV.
- GONZÁLEZ LÓPEZ, F. Y MAYA BLANCO, V. (2013) Los pastos y su importancia en la comunidad de Extremadura. Métodos de mejora. Badajoz, España: SEEP.
- HEJCMAN, M., KLAUDISOVA, M., STURSA, J., PAVLU, V., SCHELLBERG, J., HEJCMANOVA, P., HAKL, J., RAUCH, O. Y VACEK, S. (2007) Revisiting a 37 years abandoned fertilizer experiment on *Nardus* grassland in the Czech Republic. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 231-236.

- JIMÉNEZ MOZO, J. Y MARTÍNEZ, T. (1980) Respuestas al calcio y molibdeno en pastos anuales basados en trébol subterráneo en la región extremeña. Badajoz, España: INIA-CRIDA.
- KLAUDISOVA, M., HEJCMAN, M. Y PAVLU, V. (2009) Long-term residual effect of short-term fertilizer application on Ca, N and P concentrations in grasses *Nardus stricta* L. and *Avenella flexuosa* L. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 85, 187-193.
- LLERA CID, F., PÉREZ ROJAS, F Y AYUSO MATEOS, A. (1997) Fertilización de triticale para forraje y grano. *Vida Rural*, 12, 42-43.
- MALINOWSKI, D.P., HOPKINS, A.A., PINCHAKA, W.E., SIJA, J.W. Y ANSLEY, R.J. (2003) Productivity and survival of defoliated wheatgrasses in the rolling plains of Texas. *Agronomy Journal*, 95 (3), 614-626
- MARTÍN BELLIDO, M. (1996) La Dehesa. *Agricultura*, 762, 44-49.
- MUÑOZ ROBLES, C., REID, N., TIGHE, N., BRIGGS, S.V. Y WILSON, B. (2011) Soil hydrological and erosional responses in areas of woody encroachment pasture and woodland in semi-arid Australia. *Journal of Arid Environments*, 75, 936-945.
- NESIC, Z., TOMIC, Z., VUCKOVIC, S. Y ZUJOVIC, M. (2006) Yield and botanical composition of pure alfalfa and alfalfa-orchardgrass mixtures at different levels of nitrogen. *Grassland Science in Europe*, 11, 273-275.
- OLEA, L., COLETO, L., LÓPEZ BELLIDO, R., VIGUERA, J., FERRERA, E. Y POBLACIONES, M.J. (2003) Efecto de la aplicación de yeso y fósforo en los pastos mejorados sobre suelos de rañas y rañizos de la Siberia Extremeña (Badajoz). En: Robles Cruz *et al.* (eds) *Pastos, desarrollo y conservación*, pp. 167-172. Granada, España: SEEP.
- OLEA L., LÓPEZ-BELLIDO R.J. Y POBLACIONES, M.J. (2005) Europe types of silvopastoral systems in the Mediterranean area: Dehesa. En: Mosquera-Losada M. (ed) *Silvopastoralism and Sustainable Land Management*, pp. 30-35. Oxfordshire, Reino Unido: CABI Publishing.
- OLEA, L., PAREDES, J. Y VERDASCO, M.P. (1989) Características productivas de los pastos de la dehesa del S.O. de la Península Ibérica. En: Olea *et al.* (eds) *II Reunión de pastos y forrajes. Pastos, forrajes y producción animal en condiciones extensivas*, pp. 147-172. Badajoz, España: SEEP.
- OLEA, L., POBLACIONES, M.J. Y VIGUERA, J. (2004) Distribución de la oferta de bellota (cantidad y calidad) de encinas (*Quercus ilex* Lam. Ssp. Ballota) en montanera en dehesas del S.O. de Extremadura. En: García Criado *et al.* (eds.) *Pastos y ganadería extensiva*, pp. 751-756. Salamanca, España: SEEP.
- OLEA, L. Y SAN MIGUEL-AYANZ, A. (2006). The Spanish dehesa. A traditional Mediterranean silvopastoral system linking production and nature conservation. En: Olea *et al.*, (eds.) *21st General Meeting of the European Grassland Federation*. Badajoz, Spain: EDGG.
- OLSEN, S.R., COLE, C.V., WATANABLE, F.S. Y DEAN, L.A. (1954) *Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate*. Washington, USA: U.S. Department of Agriculture.
- QUELHAS DOS SANTOS, J. (2002) *Fertilização. Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos*. Lisboa, Portugal: Pub. Europa-América.
- SANTAMARÍA, O., POBLACIONES, M.J., OLEA, L., RODRIGO, S., GUERRA, J., VIGUERA, F.J. Y GARCÍA-WHITE, T. (2010) Influencia del aporte durante cuatro años consecutivos de fósforo, potasio y otros nutrientes sobre la producción, composición botánica y calidad de pasto de dehesa. En: López Carrasco *et al.* (eds.) *Pastos, paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del S XXI*, pp. 361-367. Toledo, España: SEEP.
- SERRANO, J., PEÇA, J., MARQUES, J., SHAHIDIAN, S. Y CARVALHO, M. (2011) Phosphorus dynamics in permanent pastures: differential fertilizing and the animal effect. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 90, 63-74.
- VÁZQUEZ DE ALDANA, B., GARCÍA CIUDAD, A., PÉREZ CORONA, M. Y GARCÍA CRIADO, B. (2000) Pastos de dehesa: calidad nutritiva. En: Chocarro *et al.* (eds.) *Producción de pastos, forrajes y céspedes*, pp. 463-468. Lérida, España: SEEP.
- VIGUERA, F.J., SANTAMARÍA, O., POBLACIONES, M.J., OLEA, L., FERRERA, M.E. (2007) Calidad nutritiva de los pastos de dehesa en el sur-oeste de Extremadura. En: Neiker (ed.) *Los sistemas forrajeros entre la Producción y el Paisaje*. Pp. 521-526. Vitoria-Gasteiz, España: SEEP.
- WALKLEY, A. Y BLACK, I.A. (1934) An examination of the Deytareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chemic acid titration method. *Soil Science*, 3, 29-38.