

RESPUESTA DE UNA PASTURA DE ALFALFA AL ENCALADO Y FERTILIZACIÓN CON FÓSFORO Y MOLIBDENO

N. G. BOSCHETTI¹, C. QUINTERO¹, C. LUCCA² y E. QUINODOZ³

RESUMEN

La alfalfa constituye una de las principales plantas forrajeras, sin embargo, presenta serias limitaciones para su crecimiento tanto en suelos ácidos como con bajos niveles de P. En la provincia de Entre Ríos, se han observado aproximadamente un millón y medio de hectáreas con suelos ácidos. En suelos ácidos, la disponibilidad de molibdeno disminuye considerablemente a medida que desciende el pH, afectando principalmente la fijación biológica de nitrógeno. Ante esta problemática se realizó un ensayo con el objetivo de evaluar el efecto del encalado y su interacción con fósforo y molibdeno sobre el pH, la disponibilidad de fósforo en el suelo y la producción de materia seca de una pastura mixta en base a alfalfa.

El agregado de cal permitió incrementar el pH del suelo desde 5,74 a un nivel que varió entre 6,2 y 6,9. Con la adición de 3.000 kg ha⁻¹ de cal se elevó el pH a 6,5 considerado óptimo para el crecimiento de la alfalfa. El agregado de fertilizante fosfatado incrementó la disponibilidad de P extraíble con un consecuente aumento de la producción (30%) con respecto al testigo. El molibdato de sodio produjo un incremento en la producción del 35% cuando se lo combinó con superfosfato triple de calcio y de 10% cuando se aplicó solo.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el encalado se presenta como una práctica adecuada para la corrección de la acidez de los suelos, logrando con el efecto combinado de la cal y el fertilizante, mejorar las condiciones del suelo y potenciar el desarrollo del cultivo. La combinación que se presentó como la más adecuada fue la de 3.000 kg ha⁻¹ de cal y 150 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio, con la cual se logró un incremento en la producción de materia seca cercano al 50% sobre el testigo.

Palabras clave. encalado, alfalfa, fertilización, fósforo, molibdeno

ALFALFA MEADOW RESPONSE TO LIME AND FERTILIZATION WITH PHOSPHORUS AND MOLYBDENUM

SUMMARY

The alfalfa constitutes one of the principal plants foragers, however presents serious limitations for its growth in acid soils as well as with low levels of P. In Entre Ríos province, they have been observed approximately 1,5 million of hectares with acid soils. In acid soils, the availability of Mo reduces considerably while descends the pH, affecting mainly of nitrogen the biological fixing in the one which active has participation. In the presence of this problems was carried a field trial with the objective of to evaluate the effect of lime and its interaction with phosphorus and molybdenum on pH, availability of phosphorus in soil and dry matter production of a mixed meadow of alfalfa.

The lime permitted to increase pH of the soil from 5,74 at a level that varied among 6,2 and 6,9. With the addition of 3.000 kg ha⁻¹ of lime was increased the soil pH to 6,5 considerate optimum for the growth of the alfalfa. The fertilizer aggregate increased the availability of soil P with a consequent increase in the production (30%) with respect to the control. The sodium molybdatum of produced an increase in the production of the 35% when was combined with triple superphosphate (TSP). The results permit to conclude that lime is a practice adapted for the amelioration of the acidity of soils, achieving with the combined effect of the lime and the fertilizer, to improve the conditions of soil and improve the plants growth. The best combination was of 3.000 kg ha⁻¹ of lime and 150 kg ha⁻¹ of SFT, its caused an increase in production close to 50 % on the control.

Key words. lime, alfalfa, fertilization, phosphorus, molybdenum

¹Cátedra Edafología, Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER, CC 24 (3100) Paraná- Entre Ríos. E-mail: gboschet@arnet.com.ar

²Egresado Facultad Ciencias Agropecuarias UNER. Parte de su Trabajo Final de Graduación.

³Cátedra de Forrajicultura, Pastizales y Praderas Cultivadas, Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER.

INTRODUCCIÓN

El proceso de acidificación de los suelos se ha presentado en los últimos años como uno de los principales problemas en la producción de pasturas en base a alfalfa y de ciertos cultivos como trigo y soja (Melgar, 1996). La acidez del suelo produce alteración en la disponibilidad de nutrientes y en la fijación biológica del nitrógeno atmosférico. Se reconoce que tanto el Al^{3+} como el H^+ , junto con la pérdida de cationes básicos tales como el Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^+ , están implicados en el desarrollo de suelos ácidos (Tisdale y Nelson, 1970). Salvo muy pocas excepciones, no es el pH o la concentración de hidrogeniones en el suelo, la causa de la falta de fertilidad de los suelos ácidos, sino la toxicidad del aluminio o manganeso o las inadecuadas cantidades de calcio, magnesio, fósforo o molibdeno (Alley y Zelazny, 1989; Bohn, *et al.*, 1993).

En la Argentina y más precisamente en la región pampeana, la alfalfa ha sido la principal forrajera, destacándose por su alta producción y calidad, así como por su aporte de nitrógeno al suelo por medio de la fijación simbiótica.

Si bien en general todas las leguminosas son exigentes en calcio y responden al encalado cuando el pH del suelo es inferior a 6, la alfalfa es una de las especies más sensibles a la acidez (Shaw Reid, 1996). El impacto del encalado sobre la productividad de pasturas base alfalfa se atribuye principalmente al mejor ambiente logrado para la simbiosis de la alfalfa con el rizobio específico (Melgar, 1996). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la baja disponibilidad de P en el suelo puede ser más importante que una ligera acidez. Como resultado de 14 ensayos de fertilización fosfatada de pasturas consociadas en campos de productores de Entre Ríos, Quintero *et al.*, (1995) observaron que el efecto del pH no fue significativo cuando la producción estuvo limitada por la baja disponibilidad

de fósforo pero los máximos rendimientos con fertilización fosfatada se alcanzaron alrededor de pH 7.

Entre los macronutrientes, el nitrógeno y el fósforo aparecen como los más influenciados por las alteraciones del pH, mientras que el Mo lo sería dentro de los micronutrientes, por ser un elemento que disminuye su disponibilidad a medida que desciende el pH (Ruiz, 1988). Sims (1996) observó que a pH alto, el Mo se asocia al Ca en formas disponibles para las plantas; en cambio en suelos ácidos se une en las cargas positivas de los óxidos de Fe y Al quedando no disponible.

La aplicación de enmiendas cálcicas es una alternativa para la corrección de la acidez del suelo, ya que los iones aportados por la adición de la cal neutralizan la acidez del suelo y elevan su pH. Este es el efecto principal, aunque también se incrementan las cantidades de Ca y Mg solubles e intercambiables, que son subproductos de la cal, de esta manera la enmienda se comporta como fertilizantes (Bohn *et al.*, 1993).

Los objetivos de este trabajo fueron evaluar el efecto de la adición de correctivo calcáreo y su interacción con el fósforo y el molibdeno, sobre el pH y la producción de materia seca de una pastura mixta base alfalfa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se instaló un ensayo sobre un suelo Argiudol vértico, el cual presentaba una leve acidez y baja disponibilidad de fósforo (Cuadro N° 1). Se aplicaron 10 tratamientos consistiendo en 4 dosis de cal de 0, 1.500, 3.000 y 6.000 $kg\ ha^{-1}$, las mismas dosis en combinación con 150 $kg\ ha^{-1}$ de superfosfato triple de calcio (SFT- 20 % de P) y 2 tratamientos con Mo, consistentes en 2 $kg\ ha^{-1}$ de molibdato de sodio (Na_2MoO_4 - 39 % de Mo) solo y en combinación con 150 $kg\ ha^{-1}$ de SFT. El material utilizado tuvo un poder relativo de neutralización de 115, considerado de calidad superior. Además, se aplicaron 2

Cuadro N° 1. Caracterización edáfica inicial del lote

pH	MO (%)	Pe ($mg\ kg^{-1}$)	CIC ($cmol_{(c)}\ kg^{-1}$)	Na ($cmol_{(c)}\ kg^{-1}$)	K ($cmol_{(c)}\ kg^{-1}$)	Ca + Mg ($cmol_{(c)}\ kg^{-1}$)
5,74	3,13	10,5	24,17	0,38	1,15	17,5

pH: relación suelo:agua 1:2,5; MO: materia orgánica (Walkley y Black); Pe: fósforo extraíble (Bray Kurtz 1); CIC: capacidad de intercambio catiónico ($AcNH_4$ 1 N pH7- Jackson, 1976); Na: sodio intercambiable y K: potasio intercambiable ($AcNH_4$ 1 N pH 7- Jackson, 1976); Ca + Mg: suma de calcio y magnesio intercambiable ($AcNH_4$ 1 N pH 7- Jackson, 1976).

medición (4 meses después de aplicada la cal) mientras que en las evaluaciones posteriores se mantuvieron sin variaciones significativas. Ensayos realizados en la región pampeana sugieren una disminución de alrededor a 0,4 a 0,6 unidades de pH por año, según el nivel de encalado y el material utilizado (Melgar, 1996). En este experimento, los valores de pH al año no llegaron a alcanzar tales diferencias, lo que demuestra que este aspecto requiere de mayor información específica proveniente de ensayos de campo donde están contempladas las características particulares de los suelos.

En un ensayo de encalado, que se condujo sobre un suelo Hapludol éntico, Carlos *et al.* (1993) obtuvieron valores cercanos a 7 con una dosis de 3000 kg ha⁻¹, lo que evidencia la influencia de las propiedades físico-químicas de los suelos sobre el efecto del encalado, puesto que en este experimento para obtener un pH similar fue necesario agregar 6.000 kg ha⁻¹.

Si bien los incrementos del pH fueron paulatinos y, con todas las dosis, se logró elevarlo por encima de 6, los 3.000 kg ha⁻¹ de cal fueron suficiente para que el pH alcance un valor considerado óptimo para el desarrollo de la alfalfa.

Respuesta forrajera a los diferentes tratamientos

La producción total fue limitada por la distribución de las lluvias, ya que en los primeros 7 meses del ensayo llovieron sólo 303 mm, mientras que en los siguientes 7 meses la precipitación fue de 1.142 mm. El escaso rendimiento obtenido en los cinco cortes fue atribuido a las abundantes precipitaciones ocurridas durante el verano, y la consecuente predisposición de las plantas a ser atacadas por enfermedades de la hoja por las condiciones ambientales propicias. También se produjo una gran muerte de plantas de alfalfa y trébol rojo que, a la llegada del otoño – invierno, favoreció el desarrollo del trébol blanco.

El agregado de cal estimuló el crecimiento de las plantas como consecuencia de la mejora en las condiciones del suelo, lo que se evidenció por el aumento en la producción de materia seca. Las diferencias más importantes en los rendimientos

Cuadro N° 3. Producción de materia seca total e incremento porcentual respecto al testigo para todos los tratamientos.

Tratamientos Cal - SFT - Mo	M. S. (kg ha ⁻¹)	Incremento %
0 - 0 - 0	2669 b	-
1.500 - 0 - 0	3102 a b	16
3.000 - 0 - 0	3113 a b	17
6.000 - 0 - 0	3649 a	37
0 - 150 - 0	3413 a b	28
1.500 - 150 - 0	3360 a b	26
3.000 - 150 - 0	3943 a	48
6.000 - 150 - 0	3535 a b	32
0 - 0 - 2	2927 a b	10
0 - 150 - 2	3613 a	35

Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$). Cal: kg ha⁻¹ de carbonato de calcio; T: kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio; Mo: kg ha⁻¹ de Na₂MoO₄ (39% de Mo); M.S.: materia seca.

respecto al testigo (37 %) se registraron con la dosis de 6.000 kg ha⁻¹ de cal (Cuadro N° 3).

Como era de esperar, para estos suelos con bajo contenido de fósforo, el agregado de fertilizante permitió incrementar la disponibilidad de P extraíble a valores adecuados para el normal desarrollo de la pastura (Quintero *et al.*, 1995), con un consecuente aumento de la producción de 30% con respecto al testigo, lo que muestra la influencia de este nutriente sobre la producción de la pastura. Analizando los resultados obtenidos para el resto de los tratamientos, se puede apreciar que el mayor incremento de materia seca correspondió a la combinación de 3.000 kg ha⁻¹ de cal y 150 kg ha⁻¹ de SFT, donde la producción de forraje aumentó casi un 50% (Cuadro N° 3 y Figura 1).

La aplicación de molibdato de sodio produjo sólo un leve incremento en la producción de MS con respecto al testigo, siendo mayor el aumento cuando se lo agregó en forma conjunta con el fertilizante fosfatado (Figura 1).

Evidentemente, las buenas condiciones de pH para el crecimiento de las plantas sumado a una fertilización fosfatada suficiente, producen los mayores aumentos en la producción de forraje (Cuadro N° 3, Figura 1).

kg ha⁻¹ de molibdato de sodio sólo y en combinación con 150 kg ha⁻¹ de SFT, configurando 10 tratamientos (Cuadro N° 3).

La pastura se sembró el 08 de abril de 1997, a los 60 días de aplicados los tratamientos, teniendo como leguminosa principal a la alfalfa, acompañada de trébol blanco y trébol rojo en menor proporción. Las dosis de cal utilizadas fueron estimadas en función de los requerimientos para la saturación del complejo de cambio, que fue de aproximadamente 3.000 kg ha⁻¹ de cal. La cantidad de SFT agregado fue la necesaria para que la disponibilidad del fósforo no sea limitante para el crecimiento de las plantas en este tipo de suelo (Quintero, *et al.*, 1995). En cuanto al molibdato de sodio (Na₂MoO₄ 40 % Mo) se aplicaron 2 kg ha⁻¹, los que representan 800 gr ha⁻¹ de Mo. Dosis de entre 100 y 500 gr ha⁻¹ de Mo son consideradas normales, no encontrándose problemas de toxicidad hasta los 300 kg ha⁻¹ (Martens y Weisemann, 1991).

Se utilizó un diseño factorial en bloques completamente aleatorizados, con 3 repeticiones, en parcelas de 15 m² dentro del gran cultivo, que recibieron el mismo manejo que el resto del lote. Se evaluó la biomasa aérea de forraje en una superficie de 4,5 m², antes de la entrada de los animales, realizándose un total de cinco cortes. El número de plantas forrajeras se determinó a los 238 y 406 días después de la siembra. El periodo de evaluación fue de un año y medio. En el suelo se midió el pH, la disponibilidad de fósforo extraíble por Bray I al inicio, a los 140 y 238 días después de la siembra.

Para el procesamiento estadístico de los datos se utilizó el programa SAEG (Sistema de Análisis Estadístico y Genético, Universidad Federal de Viçosa, Minas Gerais). Se realizó un análisis de varianza y un test de medias (Tukey). Se analizó el efecto del agregado de cal, SFT, Mo y sus interacciones sobre la materia seca producida y el pH del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó un efecto significativo del encalado sobre la materia seca producida ($P < 0,06$) y el pH

del suelo ($P < 0,001$), no siendo significativo su efecto sobre el fósforo disponible ni sobre el número de plantas de la pastura. Como era de esperar para suelos con bajos valores de fósforo extraíble, el agregado del fertilizante fosfatado produjo un efecto significativo sobre el rendimiento de materia seca ($P < 0,01$) y la disponibilidad de P ($P < 0,001$).

Efecto del encalado sobre la disponibilidad de fósforo

La elevación del pH, como resultado del agregado del correctivo, no produjo diferencias significativas en la disponibilidad del fósforo extraíble (Pe). Este es un aspecto donde se han obtenido resultados variables. Ceriani *et al.* (1998) registraron resultados semejantes a los de este trabajo, mientras que Carlos *et al.* (1993), encontraron que el agregado de cal en un suelo arenoso poco evolucionado (Hapludol éntico) produjo un aumento importante del Pe. Con 2.000 kg ha⁻¹ de cal lograron un incremento notable del Pe, pasando de un suelo con marcada deficiencia de P a uno bien provisto (17 mg kg⁻¹ de Pe). Estos resultados, sugieren que el comportamiento del fósforo estaría relacionado con las características propias de cada suelo y sus interacciones con la cal agregada.

Efecto del encalado sobre el pH del suelo

En lo que respecta al pH se obtuvieron incrementos importantes, que variaron en función de las dosis de cal aplicadas. De esta manera, se logró que un suelo con serias limitantes para el desarrollo de leguminosas llegue a tener un pH apropiado (Cuadro N° 2).

Como se puede apreciar en el Cuadro N° 2, los valores más altos de pH se registraron en la primera

Cuadro N° 2. Efecto del encalado sobre el pH del suelo a través del tiempo

Tratamientos Cal (kg ha ⁻¹)	pH 26/08/97	pH 02/12/97	pH 19/05/98
0	5,56 d	5,51 d	5,44 d
1.500	6,22 c	6,16 c	6,17 c
3.000	6,56 b	6,4 b	6,49 b
6.000	6,97 a	6,87 a	6,88 a

Letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$)

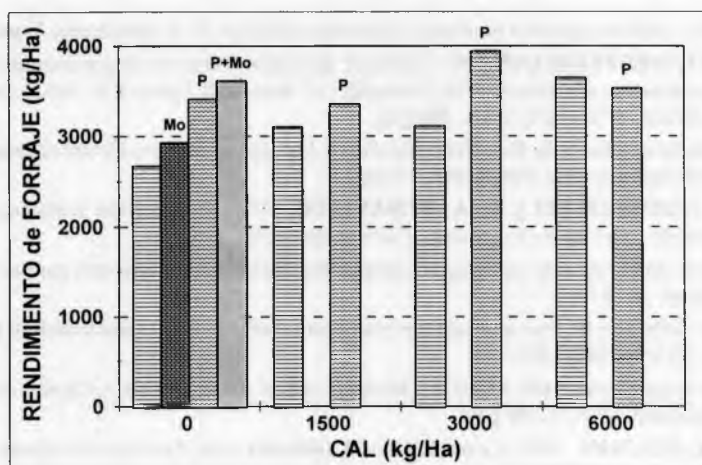


Figura 1. Producción de materia seca de la pastura, suma de cinco cortes. Mo. Molibdato de Na (2 kg ha^{-1}); P: Superfosfato triple de calcio (150 kg ha^{-1})

CONCLUSIONES

La práctica del encalado se presenta como una alternativa adecuada para corregir problemas de acidez, cuando ésta actúa como limitante para el correcto desarrollo del cultivo, en un suelo Argiudol vértico de la provincia de Entre Ríos. La elevación del pH del suelo por el encalado no afectó la disponibilidad de fósforo (P).

Los rendimientos de materia seca de la pastura aumentaron con el agregado de cal, evidenciándo-

se claramente el efecto combinado de la cal que mejora las condiciones del suelo y del fertilizante que potencia el desarrollo del cultivo. La combinación más apropiada fue la de 3.000 kg ha^{-1} de cal y 150 kg ha^{-1} de SFT, con la cual se logró un incremento en la producción de casi el 50% sobre el testigo.

No hubo diferencias significativas en la producción de materia seca respecto al testigo por el agregado de Molibdeno, aunque cuando se lo agregó combinado con superfosfato triple de calcio

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEY, M. M.; and L. W. ZELAZNY. 1989. Soil acidity: Soil pH and lime needs, pp. 65-72. In: Soil Testing: Sampling, Correlation, Calibration, and Interpretation, J. R. Brown (ed.). *Soil Science Soc. of Am.*, Madison, 784 pág.
- BOHN, H.; B. McNEAL y G. O'CONNOR. 1993. Suelos Acidos. (233-258). En: *Química del suelo*. Editorial Limusa S.A. México, 320 pág.
- BRAY, R. A. and L. T. KURTZ. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- CARLOS, L.A.; L. A. VENTIMIGLIA y J. O. BASAIL. 1993. Corrección de la acidez del suelo: su efecto sobre la productividad de la alfalfa. *Boletín de extensión N°6, Extensión Agropecuaria del INTA*. Pergamino, 26 pág.
- CERIANI, J. C.; J. L. TORELLA; R. M. INTRUCASO; E. WASINGER y J. M. GUECAIMBURU; F. FERNANDEZ. 1988. Estimación de los efectos del encalado sobre parámetros químicos del suelo en condiciones controladas. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Asociación Argentina de la Ciencias del Suelo. Villa Carlos Paz, Córdoba. Pág. 159-160.

- JACKSON, M. L.** 1976. Análisis químico de suelos. *Ediciones OMEGA, S. A.* Barcelona, España. 662 pág.
- MARTENS, D. C. y D. T. WESTERMANN.** 1991. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. (549--592). In *Micronutrients in Agriculture*. Ed. Committee: J.J. Mortvedt, Chair; F.R. Cox; L.M. Shuman; R.M. Welch. P. SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 760 pág.
- MELGAR, R.** 1996. Boletín de Encalado. Rev. Fertilizar. *Editor Ing. Agr. R. Melgar.* Centro regional Bs. As. Norte. Estación Experimental Agropecuaria. Pergamino, 14 pág.
- QUINTERO, C.; N. G. BOSCHETTI y R. A. BENAVIDEZ.** 1995. Fertilización fosfatada de pasturas en implantación en suelos de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del suelo*, 13:60-65.
- RUIZ, H. A.** 1988. Efecto do pH do solo em relação à disponibilidade de macronutrientes para as plantas. *Revista Cultural UFES*. Victoria, 38: 37-43.
- SHAW REID, W.** 1996. Influence of lime and calcium:magnesium ratio on alfalfa and birdsfoot yields. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27(5-8): 1887-1900.
- SIMS, T. J.** 1996. Lime requirement. (491-5149). In. *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemicals methods.. Nº 5 SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 1.388 pág.
- TISDALE, S. L. y W. L. NELSON.** 1970. La adición de cal. (444-481). En: *Fertilidad de Suelos y Fertilizantes*. Ed. Mundi Prensa. Barcelona, 760 pág.
- WALKLEY, A. and I. A. BLACK.** 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.