



INFORMACIONES AGRONOMICAS

del Cono Sur



Instituto de la Potasa y el Fósforo

Potash & Phosphate Institute

Potash & Phosphate Institute of Canada

Alfalfa: Fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay

Alejandro Morón
Sección Suelos - INIA La Estanzuela
C.C. 39173 – Colonia, Uruguay
moron@inia.org.uy

La alfalfa es una leguminosa que viene despertando creciente interés en los sistemas de producción animal intensiva. Este interés está dado por tener alta producción total combinada con alta calidad, con elevadas tasas de crecimiento primavero-estival (Díaz Lago et al, 1996). Los últimos periodos de sequía han resaltado su capacidad de producción frente a otras leguminosas.

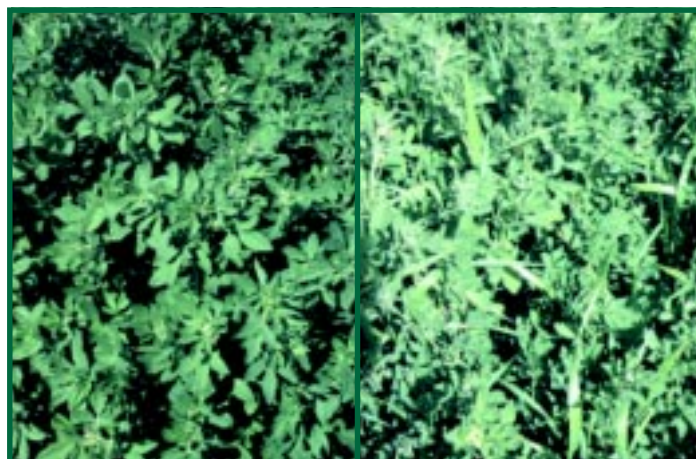
Uno de los requisitos para la obtención de altos rendimientos son las condiciones de fertilidad y drenaje del suelo. En el presente artículo serán desarrollados los principales aspectos relacionados a los requerimientos de fertilidad de suelos y el estado nutricional de la alfalfa.

Acidez

Los suelos ácidos presentan diversos problemas para el crecimiento del cultivo de la alfalfa, pudiendo mencionarse como los más importantes: a) efectos sobre la nutrición fosfatada de las plantas, b) toxicidad de aluminio y/o manganeso, c) deficiencia de algunos minerales como magnesio (Mg), potasio (K) y molibdeno (Mo), d) inhibición del proceso de fijación biológica de nitrógeno (N), y e) restricciones y deformaciones en el crecimiento radicular (Marschner, 1995). Estos efectos se traducen en dificultades de implantación, mermas de rendimiento y menor persistencia.

La acidificación de los suelos es un proceso que consiste en la sustitución de las

bases calcio (Ca), Mg, K y sodio (Na) del complejo de intercambio catiónico del suelo y su sustitución por hidrogeno y/o aluminio. La acidificación puede en algunos casos formar parte del proceso natural de formación del suelo. También existen factores de uso y manejo del suelo que inducen o promueven la acidificación del suelo. Dentro de estos últimos deben destacarse dos: a) la utilización de fertilizantes nitrogenados que contengan o generen amonio (ejemplo: urea, fosfato de amonio), y b) la utilización de leguminosas que adquieran su N principalmente vía fijación biológica. Los suelos tienen mecanismos capaces de oponerse a los cambios de acidez (poder buffer). Los suelos arenosos y con bajo contenido de materia orgánica son los suelos que presentan la menor capacidad para amortiguar los procesos de acidificación.



Alfalfa deficiente en fósforo (derecha) y sin limitaciones (izquierda)



Editor: Dr. Fernando O. García
 INPOFOS Cono Sur
 Av. Santa Fe 910
 (B1641ABO) Acassuso – Argentina
 Tel/Fax (54) (011) 4798-9939
 E-mail fgarcia@ppi-ppic.org
 Internet www.ppi-ppic.org



La alfalfa entra dentro de la categoría de las leguminosas muy sensibles a la acidez, pudiendo decirse que el pH (agua) óptimo se encuentra entre 6.0 y 6.5 (Sinclair et al, 1984; McLean & Brown, 1984). Valores de pH (agua) inferiores a 5.5 serían especialmente críticos. Valores excesivamente altos, superiores a 7.5, pueden inducir desbalances nutricionales entre las bases (relaciones K / Ca y K / Mg) así como disminuir la disponibilidad de algunos micronutrientes. En la Figura 1 puede observarse que existe una estrecha relación entre el porcentaje de saturación en bases y el pH del suelo. Los pH 6.0 y 6.5 corresponden aproximadamente con porcentajes de saturación en bases de 80% y 90%, respectivamente. Werner et al (1996) recomiendan 80% de saturación en bases para la implantación y mantenimiento de la alfalfa. Una alternativa para superar las limitaciones que impone

la acidez del suelo es su corrección por vía de aplicar calcáreo. Una de las formas de calcular las necesidades de calcáreo que se deben aplicar se basa en la relación mencionada anteriormente:

$$\text{ton CaCO}_3 / \text{ha} = (V2 - V1) \text{CIC} / 100$$

donde: V2 = % saturación en bases deseado

V1 = % saturación en bases actual

CIC = capacidad de intercambio catiónico, meq/100 g suelo

Esta fórmula nos proporciona la cantidad de calcáreo puro que se debe agregar para obtener el pH deseado en una hectárea de suelo a 20 cm de profundidad y con una densidad aparente de 1 g / cm³. Por tanto, el valor obtenido deberá ser corregido por la calidad (composición química y granulometría) del calcáreo que se pretende utilizar así como por el valor medido o estimado de la densidad aparente del suelo.

Existen otros aspectos que deben ser mencionados referentes a la acidez:

- 1) Del relevamiento de lotes de alfalfa realizado por INIA La Estanzuela en 1997 (Morón, 1998) sobre un total de 97 chacras se obtuvo un valor promedio de pH (agua) de 6.5 con un desvío estándar de 0.6, un mínimo de 5.5 y un máximo de 7.9. No se registraron valores críticos de pH, o sea inferior a 5.5.
- 2) Trabajos experimentales en alfalfa realizados por la Cátedra de Fertilidad Suelos de la Facultad de Agronomía en suelos moderadamente ácidos (pH 5.5) presentaron respuesta a la corrección

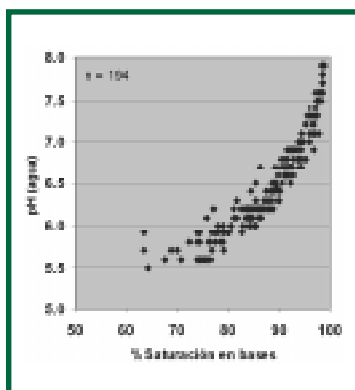


Figura 1. Relación entre el % de saturación en bases y el pH del suelo en 97 chacras de alfalfa del Uruguay.

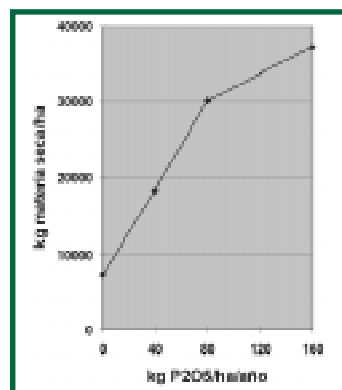


Figura 2. Producción total de alfalfa en 4 años con distintos niveles de fertilización fosfatada.

de la acidez mediante la utilización de calcáreo (Cambra Liscano, 1987). Paralelamente, se observó una importante respuesta a la fertilización fosfatada que permitía alcanzar los mismos rendimientos que se obtenían mediante el uso de calcáreo. Esta sustitución de fósforo (P) por calcáreo tal vez no sea posible en condiciones de pH inferiores.

3) Si se piensa en utilizar calcáreo debe recordarse que su aplicación debe ser realizada por lo menos con 2 a 3 meses de anticipación a la siembra.

Fósforo

Sin lugar a dudas, el fósforo (P) es un macronutriente que tiene alto impacto en la productividad, calidad y persistencia de la alfalfa.

Los estudios de respuesta al agregado de fertilizante fosfatado (superfosfato) realizados en INIA La Estanzuela cuantifican importantes incrementos de producción cuando se parte de niveles bajos de disponibilidad de P en el suelo (Figura 2). Contabilizando el fertilizante utilizado durante un periodo de 4 años y el incremento de producción de alfalfa producido por esos tratamientos, la eficiencia fue de un mínimo de 47 kg de materia seca/ kg P_2O_5 para la dosis más elevada (160 kg P_2O_5 / ha/ año) a un máximo de 70 kg de materia seca / kg P_2O_5 tanto para las dosis de 40 como la de 80 kg P_2O_5 / ha/ año (Figura 3). La rentabilidad del uso del fertilizante fosfatado parece contundente. Esto se reafirma más aun si se consideran los siguientes beneficios adicionales: a) la residualidad del N fijado biológicamente por la asociación rizobio-leguminosa, y b) la residualidad de la aplicación anual de fertilizante fosfatado durante 4 años.

En animales en crecimiento y, especialmente, en vacas lecheras en lactación es importante la concentración de P en el forraje consumido. A los efectos de ejemplificar los cambios producidos en la productividad y paralelamente en la concentración de P en las plantas de alfalfa se presenta la Figura 4. Debe mencionarse que las concentraciones de P en la planta de alfalfa requeridas para vacas en lactación se alcanzaron solamente con las dosis más elevadas de aplicación de fertilizante fosfatado. Otra característica

importante desde el punto de vista de la calidad del forraje es la concentración de N. En la Figura 5 se puede observar la relación existente entre la concentración de P en la planta de alfalfa y el contenido de N. Los mayores niveles de N en planta lo obtienen las alfalfas que presentan las mayores concentraciones de P.

La persistencia de la alfalfa al igual que la de otras leguminosas depende de diversos factores bióticos y abióticos cuyo abordaje escapa al objetivo de este trabajo. Simplemente, se debe mencionar que las dosis de fertilizante utilizadas tienen un efecto importante en la persistencia de la alfalfa como se presenta en la Figura 6.

Respecto de las herramientas para diagnosticar y realizar las recomendaciones de fertilización fosfatada, existen dos aproximaciones no excluyentes: a) análisis de suelo y b) análisis de planta.

En la Figura 7 puede observarse la relación existente entre el valor de análisis de P disponible en el suelo (0-15 cm) determinado por el método de resinas y el rendimiento de la alfalfa en el segundo año. Considerando este tipo de relación y los aspectos de calidad comentados anteriormente podría establecerse en forma tentativa que los valores óptimos de P en el suelo determinados por el método de resinas se encontrarían en el entorno de 18-20 mg P / kg de suelo.

Debe tenerse presente que la profundidad de la toma de muestra de suelo es un factor de alto impacto en los resultados de los análisis y que si no se realiza correctamente puede conducir a interpretaciones y recomendaciones erróneas. Esto es especialmente válido cuando se realizan y se acumulan las fertilizaciones en cobertura. Para ejemplificar se presenta la Figura 8.

Respecto de los análisis de planta para P debemos mencionar que a partir de 1993 la Sección Suelos de INIA La Estanzuela trabajó en el desarrollo de un método rápido para diagnosticar las necesidades de P en las refertilizaciones de las leguminosas más utilizadas en Uruguay, incluyendo a la alfalfa (Morón, 1997). Esta metodología fue concretada en un equipo denominado Kit Fosforapid. Este equipo permite realizar un análisis rápido de P en planta (savia), semi-cuantitativo de apreciación visual. Puede ser realizado

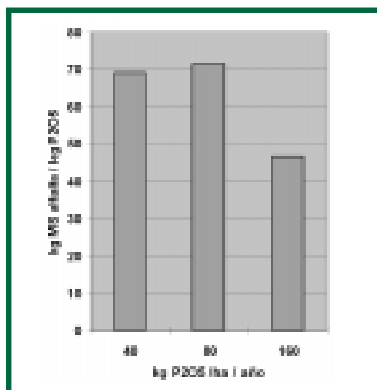


Figura 3. Eficiencia del fertilizante fosfatado.

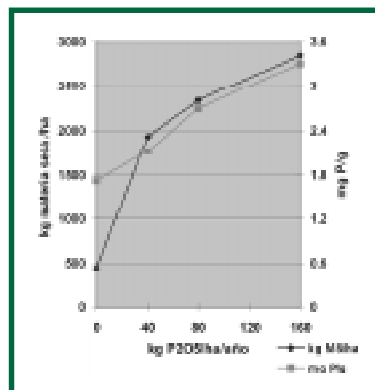


Figura 4. Respuesta en producción y en contenido de fósforo de alfalfa en primavera del 2° año.

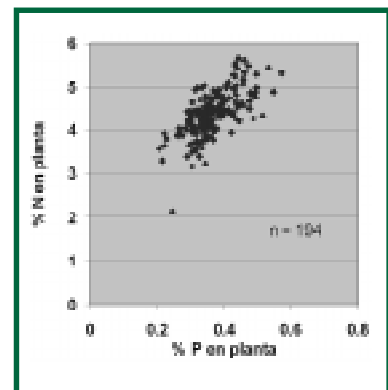


Figura 5. Relación entre el contenido de nitrógeno y fósforo en los primeros 15 cm de alfalfa (Relevamiento 1997)

en el propio campo por técnicos debidamente entrenados en su utilización e interpretación. Según los resultados experimentales, la capacidad de predecir las necesidades de refertilización fosfatada en alfalfa por medio del uso del Kit Fosforapid puede catalogarse como altamente confiable (Figura 9). Es posible establecer 3 zonas sobre la base de la respuesta en materia seca: a) zona de alta respuesta: valores de análisis rápido iguales o inferiores a 30 mg P / ml; b) zona de respuesta intermedia: con valores superiores a 30 e inferiores a 90 mg P / ml; y c) zona sin respuesta: valores iguales o superiores a 90 mg P / ml. Del estudio de diversas regresiones que relacionan el valor de análisis rápido con los kg P_2O_5 /ha /año agregados como fertilizantes surge un valor promedio de 0.67 kg P_2O_5 / ha para aumentar una unidad (1 mg P / ml) el valor de análisis rápido. Esta relación permite calcular las cantidades de fertilizante fosfatado que se deben agregar para alcanzar los valores deseados.

Otro aspecto de interés es la capacidad de respuesta de la alfalfa a la refertilización fosfatada. Han existido en nuestro país algunas dudas respecto a la capacidad de respuesta de la alfalfa a la refertilización fosfatada dado su sistema radicular profundo y al hecho de que las aplicaciones de fertilizantes en cobertura concentran el P cerca de la superficie. Ensayos realizados recientemente por INIA La Estanzuela (Figura 10) y por la Cátedra de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía (Cambra Liscano, 1987) presentan importantes respuestas a la refertilización fosfatada. La respuesta a la refertilización es dependiente del nivel de disponibilidad de P en el suelo.

Potasio, Azufre y Magnesio

El K es un macronutriente que cumple diversas funciones en las plantas: a) mantener el nivel de agua en las plantas, la presión osmótica y controlar la apertura y cierre de los estomas; b) acumulación y translocación de los hidratos de carbono sintetizados; y c) activador de una gran cantidad de enzimas. Según Lanyon & Griffith (1988), la necesidad de mantener adecuados niveles de disponibilidad de K es más importante en mezclas de alfalfa con gramíneas que en

el cultivo puro de alfalfa. Señalan que la invasión de gramíneas y malezas así como la baja persistencia de la alfalfa están asociados con bajos niveles de K. Debe mencionarse que la capacidad de suministro de este nutriente es muy heterogénea en los distintos suelos del país (Hernández et al, 1988). En el relevamiento de 97 chacras comerciales realizado en 1997 por INIA La Estanzuela se comprobó que existe un porcentaje significativo de chacras con posibles problemas. Esto puede variar entre un mínimo de 20 % hasta cerca de un 50% de las chacras con valores de K en planta inferior a lo que se puede considerar como nivel crítico de 2% o 2.5 % de K, respectivamente. Otros relevamientos realizados en maíz y trébol blanco también detectaron un importante porcentaje de casos con concentraciones de K en planta que pueden interpretarse como deficientes (Morón & Baethgen, 1996; Morón, 1999) Si bien el contenido de K intercambiable en el suelo puede ser un indicador de la capacidad de suministro de este nutriente, en la Figura 11 se presenta una asociación mas clara entre el contenido de K en las plantas de alfalfa y la relación del K con respecto al Ca y Mg en el complejo de intercambio catiónico del suelo. No existe información nacional clara respecto del comportamiento de la alfalfa al agregado de fertilizantes potásicos para suelos de diversa capacidad de suministro de este nutriente.

El azufre (S) es un elemento constituyente de los aminoácidos cisteína y metionina y por tanto de las proteínas. También es constituyente de otros compuestos orgánicos esenciales para los distintos procesos metabólicos de las plantas. La alfalfa es una leguminosa que presenta importantes requerimientos de S. A su vez son muy pocos los productores de alfalfa que aplican fertilizantes con S. No obstante esto, en el relevamiento de alfalfa antes mencionado no se registraron valores de S en planta que induzcan a pensar en déficits de este nutriente. Sin embargo, existió una asociación positiva y significativa entre el contenido de N y S en la planta de alfalfa. Las plantas con mayor concentración de S tenían mayor concentración de N. Lanyon & Griffith (1988) señalan que las concentraciones de S en planta para lograr máximos rendimientos de materia seca pueden ser diferentes

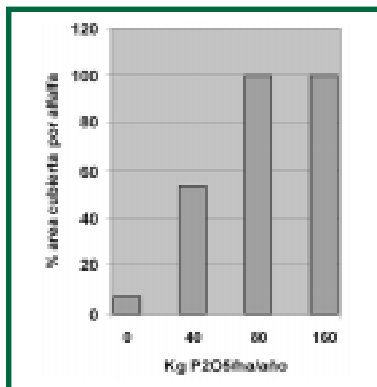


Figura 6. Estimación visual del porcentaje de area cubierta por alfalfa. Primera del tercer año

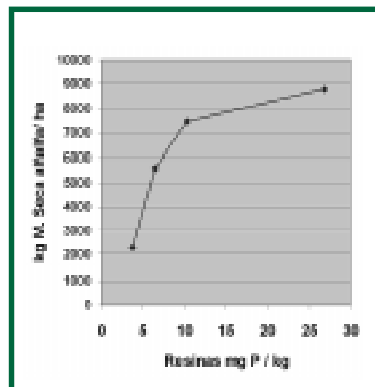


Figura 7. Relación entre rendimiento de alfalfa en el segundo año y el nivel de fósforo disponible en el suelo

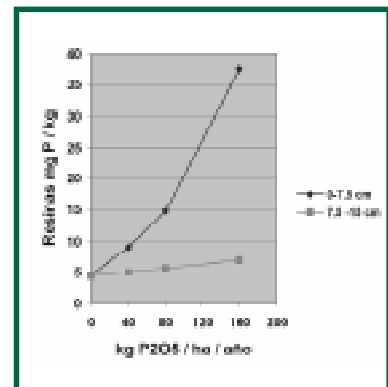


Figura 8. Disponibilidad de fósforo en el suelo según profundidades de muestreo después de tres refertilizaciones anuales en cobertura en alfalfa

de las necesarias para lograr máximo contenido de N. Por otra parte, en un relevamiento de maíz en zonas de producción lechera de Uruguay se detectó un porcentaje significativo de chacras con concentraciones de S por debajo del rango considerado óptimo (Morón & Baethgen, 1996). Se necesita más información nacional para clarificar la situación del S. En términos generales debe prestarse atención a este nutriente cuando: a) se pretenden lograr altos rendimientos; b) los suelos son de textura liviana y con bajos contenido de materia orgánica; c) cuando en los últimos años se han utilizado fertilizantes conteniendo solamente N y/o P; y c) el suelo en cuestión ha sido utilizado frecuentemente con destino de producción de reservas forrajeras. Como herramientas de aproximación pueden utilizarse el análisis de sulfatos en el suelo y/o el de S total en planta. Ambos están disponibles en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Agua de INIA La Estanzuela.

El Mg es un macronutriente que es constituyente de la clorofila. En un alto porcentaje de casos, del relevamiento de alfalfa antes mencionado, se presentó con valores de contenido en planta inferiores al óptimo o muy cercanos al límite inferior del rango óptimo.

Nitrógeno

El N en plantas de leguminosas noduladas puede tener dos orígenes: a) N mineral (NH_4^+ , NO_3^-) proveniente de la mineralización de la materia orgánica y/o de los fertilizantes; y b) N proveniente del proceso de fijación biológica (FBN). La eficiencia del proceso de la FBN depende de factores genéticos de los microorganismos y de la leguminosa, así como de la interacción de estos con otros factores ambientales tales como la acidez del suelo, disponibilidad de agua, temperatura, disponibilidad de P, disponibilidad de molibdeno, etc.

Más del 50 % de las chacras analizadas en el relevamiento de alfalfa de 1997 presentaban contenidos de N en planta inferior a lo que se puede considerar como óptimo. En la Figura 12 el rango óptimo de N está comprendido entre las dos líneas horizontales. Las causas pueden ser diversas, pero dentro de las variables estudiadas se encontró una fuerte asociación en-

tre el contenido de N y P en plantas de alfalfa (Figura 5). Es conocido que la baja disponibilidad de P afecta el número y tamaño de los nódulos así como el proceso bioquímico de la FBN. Por tanto, los valores medios a bajos de N en planta podrían ser explicados en parte por insuficiencias en el contenido de P en planta. También presentaron relaciones positivas con el contenido de N en planta las concentraciones de S y cobre en planta de alfalfa, pero ambos con asociaciones más débiles que P.

Debe mencionarse que la alfalfa tiene una alta capacidad de ingresar N al sistema de producción via FBN. García et al (1994), en INIA La Estanzuela, determinaron que alfalfa Chaná tiene una eficiencia de FBN en el segundo año de 32 kg N / 1000 kg materia seca producida.

Análisis de planta

El análisis de planta es una herramienta de diagnóstico del estado nutricional de la planta útil en la medida que se posea adecuada información sobre los rangos óptimos de cada nutriente en cuestión. Los rangos óptimos deben estar asociados a una precisa definición sobre el estado fenológico así como la parte de la planta que debe ser analizada. No existe información nacional sobre rangos óptimos en alfalfa. De la información internacional (Cornforth, 1984; Lanyon & Griffith, 1988; Kelling & Matocha, 1990; Mills & Jones, 1996; Pinkerton et al, 1997) seleccionamos la de origen norteamericano para ejemplificar (Cuadro 1).

Reservas forrajeras

La alfalfa es uno de los cultivos utilizados para realizar reservas forrajeras de alta calidad. La utilización de las reservas forrajeras en otra chacra o potrero de donde fue generada implica importantes transferencias de macro y micronutrientes. Esto se acentúa cuando se reitera a través de los años la utilización de la o las mismas chacras para generar dichas reservas.

En el Cuadro 2 se presenta información sobre las magnitudes que pueden asumir estas transferencias de fertilidad según los rendimientos.

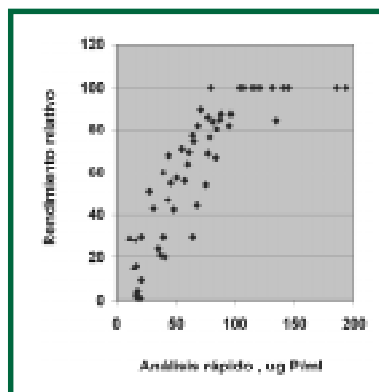


Figura 9. Relación entre análisis rápido de P y rendimiento relativo en alfalfa (4 años)

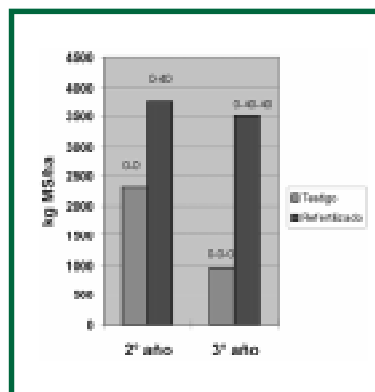


Figura 10. Respuesta a la refertilización fosfatada con 40 kg P_2O_5 /ha/año

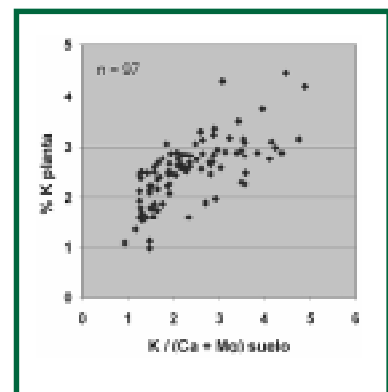


Figura 11. Relación $\text{K} / (\text{Ca} + \text{Mg})$ en suelo y contenido de K en planta de alfalfa

Cuadro 1. Rango óptimo para macronutrientes y micronutrientes en alfalfa en estado vegetativo. Corresponde a los primeros 15 cm de la parte aérea.

(Mills & Jones, 1996).

Macronutriente	Rango óptimo %	Micronutriente	Rango óptimo mg/kg
N	4.5-5.0	Mn	31-100
S	0.26-0.50	Zn	21-70
P	0.26-0.70	Cu	7-30
Mg	0.30-1.0	B	30-80
Ca	1.8-3.0	Mo	1.0-5.0
K	2.0-3.5	Fe	30-250

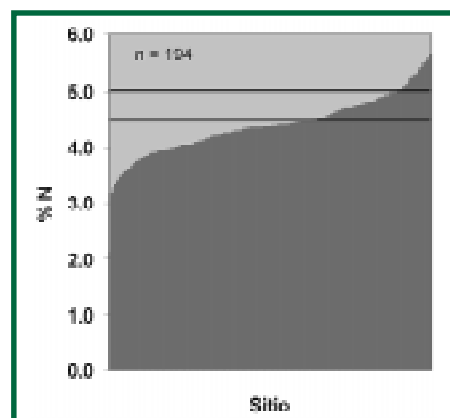


Figura 12. Contenido de nitrógeno en los primeros 15 cm de alfalfa (Relevamiento 1997)

Cuadro 2. Nutrientes absorbidos en la parte aérea de alfalfa para diferentes rendimientos de materia seca. Información promedio de una amplia base de datos de campos de productores de Pennsylvania (USA).

Fuente: Lanyon et al. (1983), citado por Lanyon & Griffith (1988).

Rendimiento ton/ha	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn	Mn	Fe
	kg/ha										
< 9	227	25	205	99	17	18	0.22	0.06	0.18	0.40	1.09
9-11.2	253	32	270	121	21	22	0.28	0.07	0.24	0.53	1.16
11.2-13.4	351	38	315	148	27	28	0.34	0.08	0.29	0.57	1.58
13.4-15.7	418	45	379	162	29	32	0.37	0.09	0.31	0.74	1.76
15.7-17.9	480	53	451	187	34	38	0.41	0.10	0.34	0.90	1.80
>17.9	559	61	524	226	39	47	0.48	0.12	0.40	0.87	2.15

Bibliografía citada

- Cambra Liscano, A.J. 1987. Encalado, fertilización y refertilización en alfalfa (para 3 suelos del Dpto. de Canelones). Tesis de graduación. Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo. 208 p.
- Cornforth, I.S. 1984. Plant Analysis. In: Cornforth, I.S. & Sinclair, A.G. (ed.). Fertiliser and lime recommendations for pasture and crops in New Zealand. Ministry of Agriculture & Fisheries. Second Revised Edition. p.40-42.
- Díaz Lago, J.E.; García, J.; Rebuffo, M. 1996. Crecimiento de leguminosas en La Estanzuela. INIA Serie Técnica N° 71. 12p.
- García, J.; Labandera, C.; Pastorini, D.; Curbelo, S. 1994. Fijación de nitrógeno por leguminosas en La Estanzuela. In: Nitrógeno en Pasturas. INIA Serie Técnica 51. p.13-18
- Hernández, J.; Casanova, O.; Zamalvide, J. 1988. Capacidad de suministro de potasio en suelos del Uruguay. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. Boletín de Investigación N° 19.
- Kelling, K.A.; Matocha, J.E. 1990. Plant analysis as an Aid in Fertilizing Forage Crops. In: Westermann, R.L., ed. Soil Testing and Plant Analysis. Third Edition. Agronomy Series 29. ASA-SSSA. Chapter 23. 603-643 p.
- Lanyon, L.E.; Griffith, W.K. 1988. Nutrition and Fertilizer Use. In: Hanson, A.A. editor. Alfalfa and Alfalfa Improvement. Agronomy Series 29. ASA-CSSA-SSSA. Chapter 10. 333-372 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Second Edition. 889 p.
- McLean, E.O.; Brown, J.R. 1984. Crop Response to Lime in the Midestern United States. In: Adams, F., ed. Soil Acidity and Liming. Agronomy Serie 12. ASA-CSSA-SSSA. Chapter 6. 267-303 p.
- Mills, H.A.; Jones, J. B. 1996. Plant analysis handbook II. Micro - Macro Publishing, Inc. 422 p.
- Morón, A. 1997. Phosphorus requirements in legumes: Calibration of a rapid simple tissue test. In: Proceedings XVIII International Grassland Congress. Canadá. Session 10 Soil Fertility, 10-15.
- Morón, A. 1998. Requerimientos de fertilización y relevamiento nutricional. In: Jornada de Alfalfa. Canelones, Uruguay. p.15-20
- Morón, A. 1999. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de Trébol blanco. In: Jornada de Trébol blanco. INIA. Serie de Actividades de Difusión N° 200. 1-14p.
- Morón, A.; Baethgen, W. 1996. Relevamiento de la fertilidad de los suelos bajo producción lechera. INIA Serie Técnica 73.
- Pinkerton, A.; Smith, F.W.; Lewis, D.C. 1997. Pasture Species. In: Reuter, D.J.; Robinson, J.B. (ed.). Plant analysis: An interpretation manual. 2nd ed. CSIRO Publishing. Chapter 6. 285-346 p.
- Sinclair, A.G.; Brash, D.W.; Percival, N.S. 1984. Lucerne establishment. In: Cornforth, I.S. & Sinclair, A.G., compiled. Fertiliser and lime recommendations for pasture and crops in New Zealand. Ministry of Agriculture & Fisheries. Second Revised Edition. p.29.
- Werner, J.C.; Paulino, V.T.; Cantarella, H.; Andrade, N de O.; Quaggio, J.A. 1996. Forrageiras. In: Rajj, B. van; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. Boletim Técnico 100. Instituto Agrônomo-Fundação IAC. Capítulo 24. 261-273 p. ❖