

## La fertilización como herramienta para incrementar la producción de alfalfa.\*

Vivas H.

*hvivas@rafaela.inta.gov.ar*

La producción de leche y carne en la región central de Santa Fe tiene como sostén básico de alimento el pastoreo directo y el consumo de reservas de praderas de alfalfa.

Aunque dichas pasturas bajo óptimas condiciones de manejo y en los mejores suelos son destacables, existen áreas donde las deficiencias de algunos macronutrientes limitan la producción de materia seca (MS). Si los sistemas productivos son cada vez más intensivos y los nutrientes no se reponen en proporción a la extracción, en lo sucesivo la alfalfa podría verse limitada no sólo en la producción y en la calidad de la MS, sino también en la persistencia (Vivas et al, 1996).

Descontando el carbono (C), el oxígeno (O) y el hidrógeno (H) que la planta toma del aire y del agua, existen otros 15 elementos que provienen de la interacción con el suelo y de la fijación atmosférica como el nitrógeno (N). Los restantes son fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cloro (Cl), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y cobalto (Co). El conjunto constituye los macro y los micronutrientes que deben ser suficientes para no limitar la producción de la pastura.

En el centro de Santa Fe la producción de alfalfa no es uniforme y varía según la región. En el oeste es significativamente superior a su correspondiente del centro y el este. Podría aceptarse que todas comparten similares condiciones de radiación, temperatura y ligeras diferencias en los promedios anuales de precipitación, con aumentos hacia el este. Las razones que en gran parte explican la variabilidad productiva se relacionan con la dotación de nutrientes y la característica y aptitud de los suelos. Por ejemplo en el oeste los contenidos de materia orgánica (MO) oscilan alrededor de 2,8-3% y el nitrógeno total (Nt) 0,15-0,16 % mientras que en el este dichos valores son inferiores y varían alrededor de 2,2-2,5 % para MO y de 0,10-0,12 % para el Nt. El ejemplo más contrastante lo constituye el contenido de P extractable (P) que será analizado con posterioridad.

La investigación de los aspectos nutricionales del suelo para la óptima producción de alfalfa surgió de la baja productividad y persistencia de la pastura, observada en campos de productores. Una orientación de los nutrientes necesarios para la pastura la brindan Lanyon y Griffith (1988) (Cuadro 1) y se la puede complementar con otra guía ofrecida por García et al, (1999).

**Cuadro 1.** Absorción de nutrientes por tonelada de materia seca de alfalfa. \*

Macronutrientes (kg/t)		Micronutrientes (g/t)	
Nitrógeno (N)	25	Boro (B)	24
Fósforo (P)	3	Cobre (Cu)	6,7
Potasio (K)	23	Zinc (Zn)	20
Calcio (Ca)	11	Manganeso (Mn)	44
Azufre (S)	2	Hierro (Fe)	121
Magnesio (Mg)	1,9	Molibdeno (Mo)	0,5

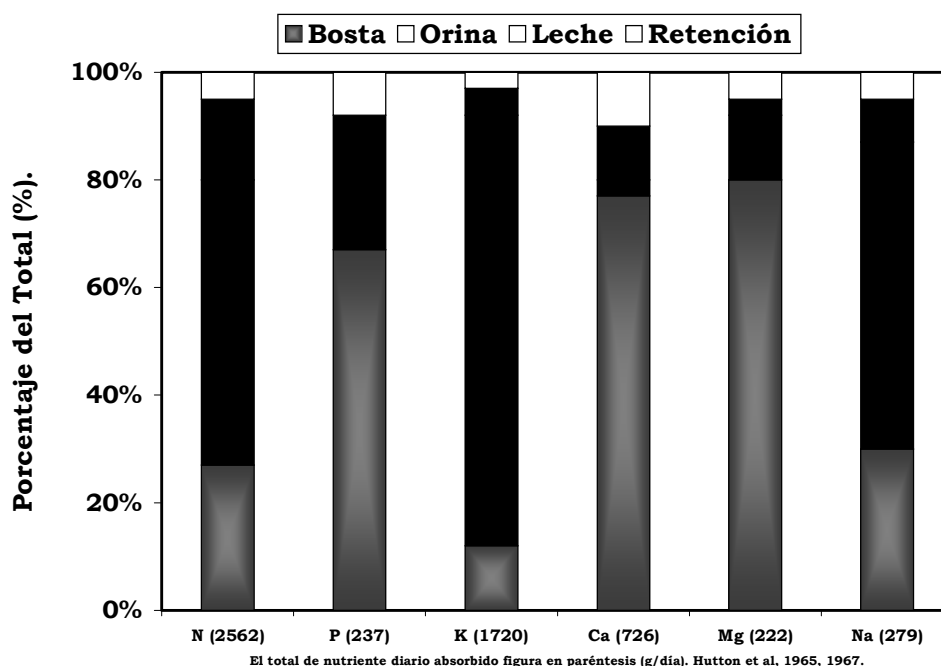
\* Lanyon y Griffith (1988).

\* Presentado en: INTA Expone. Oliveros, Santa Fe. Octubre 2004.

En promedio, en el oeste de la provincia de Santa Fe la producción anual de MS puede oscilar entre 9000-10000 kg/ha con una duración de 3 a 4 años, mientras que en el centro y el centro-este la producción de MS oscila entre 5000-6000 kg/ha y la duración mayor es de 1 año y medio. La precipitación media anual es aproximadamente de 950 mm.

Es necesario destacar que para el centro de Santa Fe y para toda la región pampeana, la mayor limitante la constituye el agua. Por lo tanto la fertilidad de los suelos debe ser adecuada y balanceada para aumentar la eficiencia de uso y también el de la radiación.

Como el balance nutricional difiere según se trate de pastoreo directo o de corte, en el Gráfico 1 se presenta un ejemplo de absorción y reciclado de nutrientes para vacas en lactancia, según Hutton et al. (1965, 1967) citados por Haynes y Williams (1993).



**Gráfico 1.** Porcentaje diario de nutrientes excretados y retenidos por vacas en lactancia. La absorción total se muestra entre paréntesis (g/día). Hutton et al.(1965, 1967).

En el gráfico anterior se ilustra cómo los elementos K, Na y N se reciclan mayormente por orina mientras que el Mg, Ca y P principalmente por bosteo. A su vez se muestra la gran participación del P (+ o -26%) y del N (+ o - 17%) en la producción de leche. Estas características son fundamentales para tener en cuenta en un programa de fertilización y el sistema de pastoreo a utilizar.

## NITRÓGENO

Por lo expuesto en el Cuadro 1, el N es el nutriente que más extrae la alfalfa y según Heichel et al. (1981), citado por Lanyon y Griffith (1988), estiman que entre un 43 - 64% del N de la alfalfa es fijado de la atmósfera por los procesos simbióticos de bacterias del genero *Rhizobium*. En este sentido Racca et al, (2001), en un estudio realizado en la región pampeana, determinaron para un amplio rango de producción de MS, en condiciones sin limitantes para la fijación biológica de N (FBN), un valor de 60,8%, mientras que en ambientes con condiciones limitantes el N derivado de la FBN solo fue de 42,7%.

El N que no provino de la FBN fue aportado por el suelo a través de la mineralización de la materia orgánica, por lo tanto aún en óptimas condiciones de producción existió un desbalance que debería compensarse con los aportes del sistema de pastoreo directo y con la fertilización nitrogenada de los cultivos anuales en la rotación. Un ejemplo de desbalance para este caso sería el que ocurre cuando se elaboran reservas por un total de 4500 kg de MS, ello equivale según la Tabla 1 a exportar 112,5 kg de N que equivalen a 244,6 kg de urea. Como el N se recicla en gran parte a través de la orina (Haynes and William, 1993) la extracción del mismo se podría compensar en parte con el pastoreo directo.

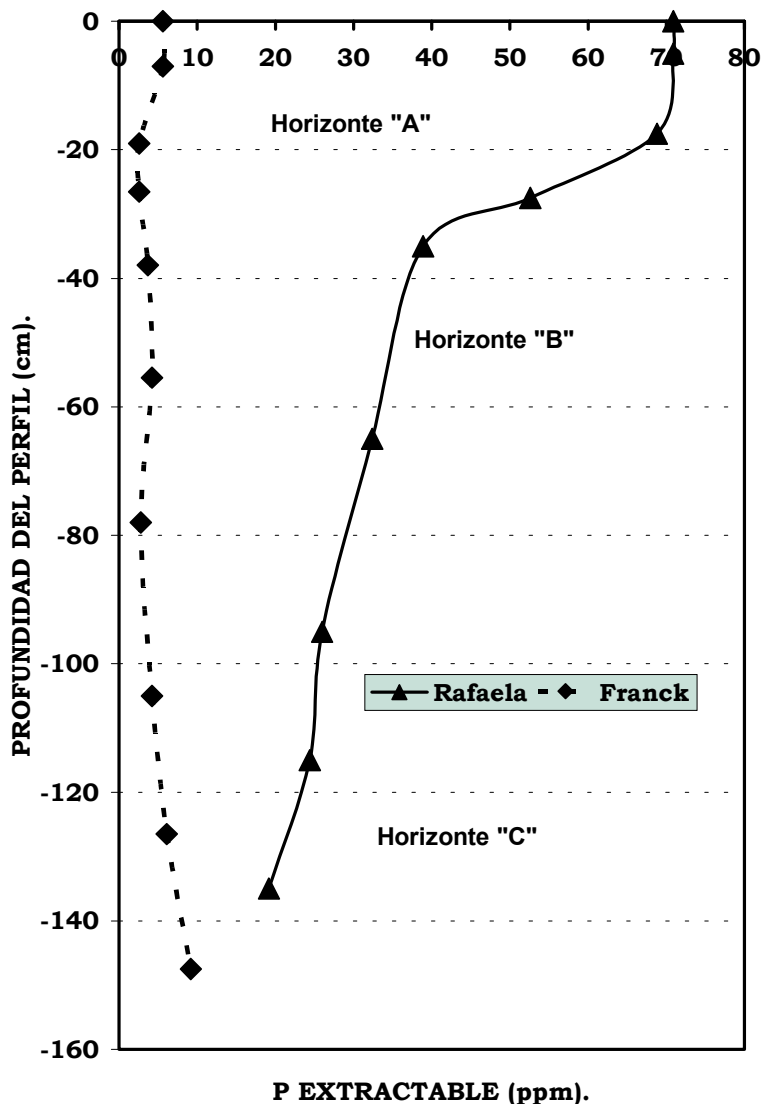
En la provincia de Santa Fe durante 1994, ante observaciones de pasturas sin nódulos en los primeros centímetros superficiales, se pensó que la planta podría reaccionar positivamente ante una fertilización con N. Para la situación se condujeron tres experiencias, una en la Serie Villa Trinidad donde se dosificaron 0, 50, 100 y 200 kg/ha de N en forma de urea, la segunda en la Serie Rafaela con aplicaciones de 0, 50, 100, 200 y 300 kg/ha de N y la tercera en la Serie Esperanza con dosis de 0, 50 y 100 kg/ha de N. El fertilizante fue incorporado previo a la siembra de la pastura. En Villa Trinidad se evaluaron 4 cortes, en Rafaela 6 cortes y en Esperanza 2 (Vivas, 1996). No se encontraron diferencias significativas por el agregado de N en ningún sitio y en Rafaela la dosis de 300 kg/ha de N fue muy tóxica para las plántulas. La alfalfa fue totalmente indiferente ante el N del fertilizante agregado, indicando claramente que su fuente de abastecimiento preferida es la FBN ó la proveniente de la materia orgánica del suelo.

Los resultados conciben perfectamente con la información posteriormente lograda por Racca et al (2001) donde señalan que en la región pampeana la FBN funciona perfectamente a través de nódulos activos y longevos a profundidades de hasta 1,10m. Esta ubicación en profundidad le daría bastante estabilidad al funcionamiento de la fijación biológica y proveería el N necesario a la pastura.

## **FÓSFORO**

El nutriente que tiene mayor contraste en los suelos de Santa Fe es el P. Una distribución comparativa entre el centro y el oeste se puede ver en el Gráfico 2.

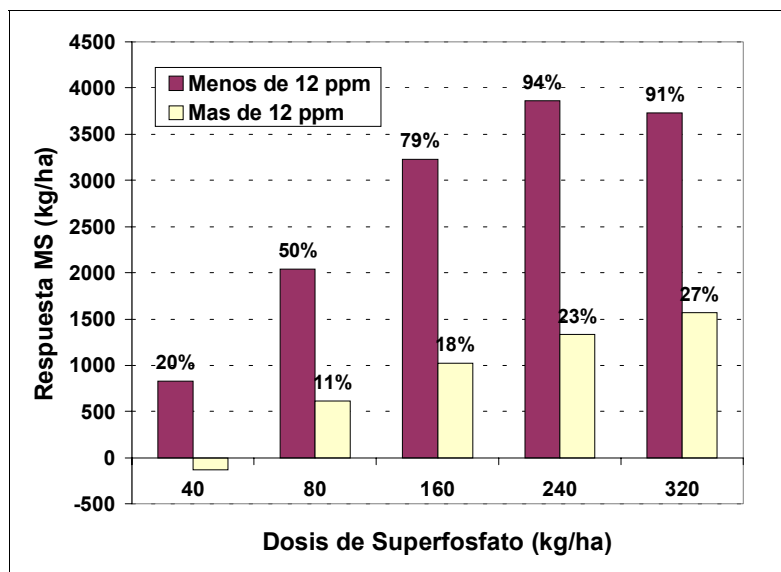
A diferencia del N que puede ser fijado biológicamente de la atmósfera, a través de las bacterias en los nódulos de las raíces, el P sólo puede ser corregido mediante aportes de los fertilizantes (Culot, 1986). Entre las numerosas funciones que le cabe en las plantas se pueden mencionar las siguientes: favorece el rápido desarrollo radicular, interviene en todas las funciones energéticas, aumenta la eficiencia del uso del agua, constituye compuestos esenciales para la fotosíntesis, es componente de las proteínas, contribuye a la fijación del anhídrido carbónico y facilita la fijación del N atmosférico a través del aporte de ATP asociado con la actividad nitrogenasa (Reetz, 1986; Lanyon and Griffith, 1988; Vincent, 1965).



**Gráfico 2.** Distribución del índice P (Bray I) en un suelo representativo del oeste (Rafaela) y otro del centro (Franck) de Santa Fe.

Ante todos los beneficios del P y para similares condiciones de abastecimiento de agua es predecible que un suelo como el de Rafaela, representativo del oeste de la provincia y bien abastecido en P, produzca más MS que otro como el de Franck o Esperanza deficientes en el mismo. Si el nivel necesario de P extractable para la óptima producción de alfalfa debe superar los 25-30 ppm en los primeros 15 cm de suelo (Racca 2001), en el Gráfico 2 se muestra que en el oeste no solo hay casos con alrededor de 70 ppm en superficie sino que hasta una profundidad de 1,4 m la cantidad continúa en valores de 20 ppm. Por el contrario, en el este el nivel de P en superficie oscila entre 5-10 ppm y disminuye el contenido en profundidad. Otros suelos en superficie pueden tener valores superiores y ser irregulares en su contenido.

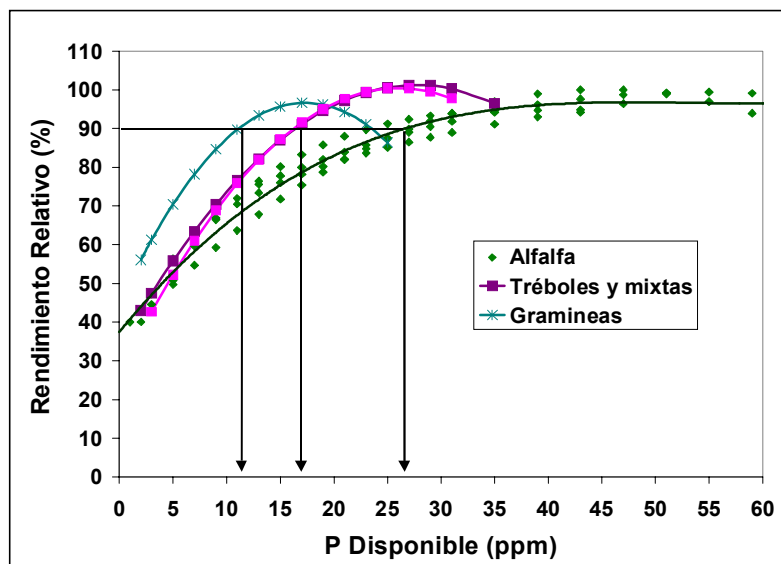
Según Quintero y Boschetti, (2004) numerosos trabajos en nuestro país indican que por debajo de 12 ppm de P Bray I las posibilidades de respuesta a la fertilización son altas (Gráfico 3) pero con valores superiores la alfalfa continúa respondiendo pero a una tasa menor.



**Gráfico 3.** Respuesta media a la fertilización con superfosfato triple (SPT) en 9 ensayos con menos de 12 ppm y 3 ensayos con más de 12 ppm de P. Producción del primer año en la provincia de Entre Ríos, (Quintero y Boschetti, 2004).

Según los mismos autores la relación entre la disponibilidad de P en el suelo y el rendimiento de alfalfa para ensayos realizados en Entre Ríos, Santa Fe y Buenos Aires se puede ver en el Gráfico 4.

El nivel de suficiencia de P expuesto es coincidente con lo expresado por Berardo (1998), Vivas et al., (1999) y por Racca et al, (2001).



**Gráfico 4.** Relación entre el P disponible por el método Bray I y el rendimiento de pasturas de alfalfa, de tréboles, mixtas y de gramíneas puras (Quintero y Boschetti, 2004).

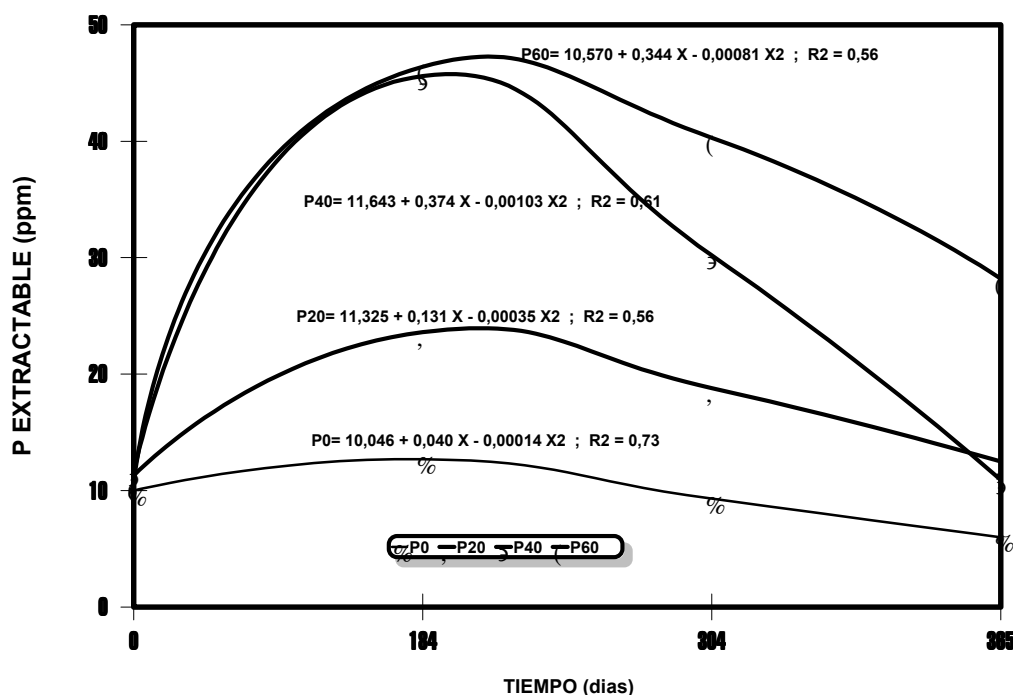
En el Departamento Las Colonias, Santa Fe la primera experiencia con resultados positivos a la fertilización fosfatada de alfalfa fue reportada por Vivas, (1995) y Vivas et al.,(1996), a la vez que la respuesta fue nula en el Departamento Castellanos con suelos suficientes en P. Otra experiencia de Vivas y Guaita (1997) correspondiente a un ensayo instalado en la campaña 1995/96 permitió establecer claramente la necesidad del P en la región. En esa oportunidad las dosis de P ensayadas fueron 0, 20, 40 y 60 kg/ha que luego de 7 cortes

obtuvieron aumentos sobre el testigo de 15%, 20% y 27%, respectivamente. El P extractable inicial fue de 9,5ppm y luego de 5 meses (primavera) de 13, 24, 50 y 40 ppm para las dosis 0, 20, 40 y 60 kg/ha de P fertilizante, respectivamente. Los incrementos de MS comenzaron a ser significativos cuando el P extractable fue de 24 ppm o superior.

La dinámica del P extractable durante un año de cortes se puede ver en el Gráfico 5. El tiempo 0 días corresponde al mes de mayo de 1995 y 365 días a fines de mayo de 1996. La "x" en las funciones corresponde a los días transcurridos desde la siembra.

La intersección de las curvas indicó que el P inicial osciló entre 10 y 11,6 ppm al momento de la siembra de alfalfa. En el testigo, P0, las variaciones fueron causadas principalmente por incubación natural, mientras que en los restantes tratamientos se debieron a la aplicación de superfosfato triple de calcio.

En los primeros meses se registraron los mayores incrementos de solubilidad, lo que pudo apreciarse en las curvas y en el coeficiente lineal de las funciones. Según los tratamientos, la máxima solubilidad ocurrió a los 143, 187, 181 y 212 días para las dosis P0, P20, P40 y P60, respectivamente.



**Gráfico 5.** Dinámica del P extractable durante el primer año de producción de alfalfa para diferentes dosis de fertilizante fosfatado. Esperanza, 1995-96.

Transcurridos 12 meses, el P residual fue de 5,99, 12,51, 10,93 y 28,22 ppm para igual secuencia de tratamientos, lo que indica que el único suelo bien posicionado para un segundo año de producción correspondió a P60. Los restantes se consideran niveles bajos ó insuficientes que deberían ser nuevamente fertilizados.

Otro ejemplo extremo de respuesta a P fue el reportado por Vivas et al, (1999). A un suelo Serie Esperanza con 9ppm de P extractable inicial se lo fertilizó con 8 niveles de P (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 y 140 kg/ha) para observar los alcances de un amplio gradiente de P, su variabilidad y la inflexión de la curva de producción de materia seca. Luego de 11 cortes los resultados se pueden apreciar en el Gráfico 6.

Se pudo comprobar que a diferencia de otros nutrientes como el nitrógeno, el P en alfalfa produce una disminución muy gradual de los incrementos de la MS y la inflexión ocurre con altos niveles de fertilizante, fuera de lo que podría ser una recomendación de fertilización.

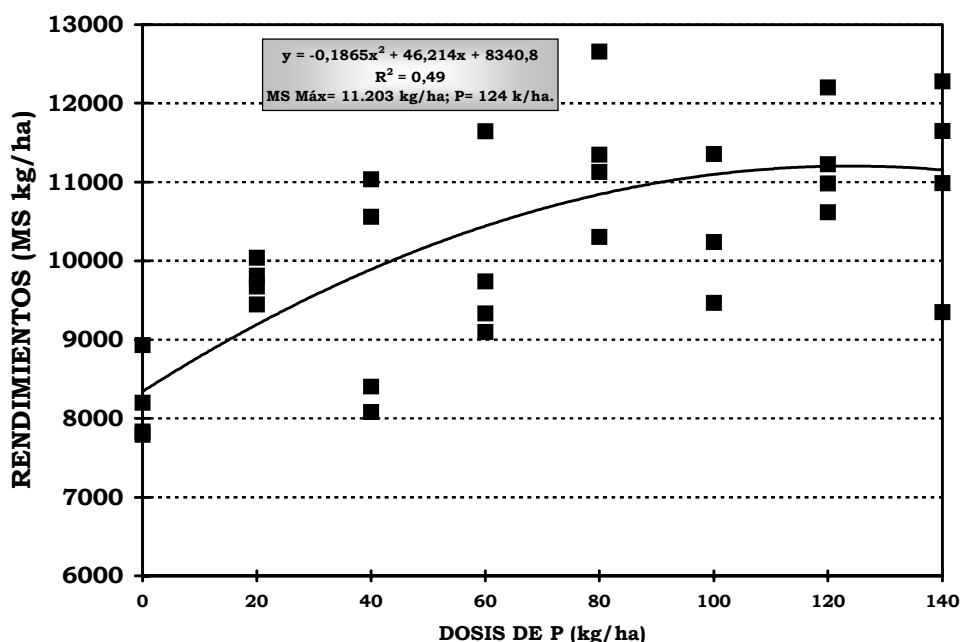


Gráfico 6. Producción de alfalfa con diferentes niveles de P luego de 11 cortes. Esperanza. 1996-97.

Las respuestas se relacionaron con el contenido de P extractable del suelo en la primavera de 1996 (Gráfico 7).

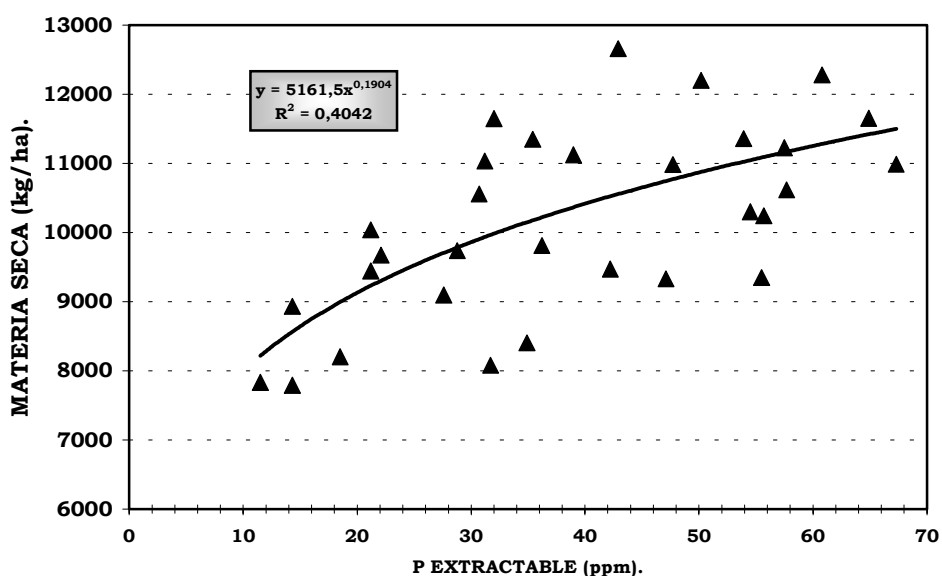


Gráfico 7. Producción de alfalfa relacionado con el P extractable en la primavera de 1996. Esperanza. 1996-97.

En la experiencia la amplitud productiva y el P extractable fueron importantes, pero como criterio de fertilización lo deseable sería mantener el suelo superficial por sobre los 25 ppm de P.

La consecuencia de un contraste en el contenido de P del suelo sobre la producción de alfalfa se manifestó en un ejemplo de Romero y Aronna (2003) para dos localidades de Santa Fe (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Características químicas del suelo y su relación con la producción de alfalfa en dos localidades del centro de Santa Fe. Producción media de 25 variedades de alfalfa. 2000-2003. Romero y Aronna (2003).

	Rafaela	Humboldt
P (ppm)	44,4	23,6
pH	5,8	5,9
Promedio de MS al finalizar el Ensayo (kg/ha)	49830	16510
Cobertura (%)	88,3	48,9
Altura (cm)	63	53,9

Los 49830 kg/ha de MS acumulada en Rafaela se pueden asociar con altos niveles de P (oeste) mientras que los 16510 kg/ha de MS logrados en Humboldt (centro) con niveles medios de P. La acidez del suelo o pH fue similar para las dos localidades. Las diferencias productivas fueron muy notables poniendo de relieve la necesidad de corregir el P del suelo en Humboldt para aumentar los rendimientos.

La MS de alfalfa contiene alrededor de 0,3% de P. Por lo tanto los 49830 kg/ha de MS en Rafaela consumieron 150 kg/ha de P en tres años, equivalentes a 750 kg/ha de Superfosfato triple (SFT) y corresponden a 250 kg/ha de SFT/año. En Esperanza, por el contrario, la cantidad fue de 250 kg/ha de SFT en tres años correspondiendo aproximadamente 83 kg/ha de SFT/año. Algunas referencias indican un contenido de 0,35% como valor crítico para P (Melsted et al, 1969) en la parte superior de la planta y en botón floral, en ese caso gran parte de las pasturas del centro de Santa Fe requerirían de los fertilizantes para superar ese nivel.

Es evidente que la cantidad necesaria de P para la producción de alfalfa es alta pero es importante saber que una gran proporción de lo que se consume puede volver al suelo a través del bosteo, de ahí la importancia del pastoreo directo para facilitar el retorno de los nutrientes.

Por el momento en el oeste de la provincia, con alta concentración de P en el suelo, es factible la producción de la pastura sin recurrir a la fertilización pero es diferente en el centro y en el este donde la aplicación de P es imprescindible.

En el "oeste" corresponde enfatizar en la elección de la variedad, la fecha de siembra, el control de las malezas y la inoculación para optimizar la fijación biológica del nitrógeno, pero en el "este" además se impone un análisis del suelo para evaluar el P extractable y fertilizar si el mismo es inferior a 25 ppm. La fertilización fosfatada permite un forraje de mayor calidad respecto de este nutrimento puesto que con las dosis sucesivas se observaron aumentos de 0,27 a 0,35 g/100 de P (Vivas et al, 1996).

Una posibilidad para suelos de mediana y de baja provisión de P es utilizar el fertilizante como arrancador. Ello permite una rápida instalación de la pastura al favorecer su desarrollo radicular y de ese modo captar mejor el agua y los nutrientes. La aplicación debe ser de pequeñas cantidades de fertilizante junto con la semilla para evitar la



toxicidad. Los productos más tóxicos son los que contienen nitrógeno puesto que al liberar el amoníaco queman las plántulas. En la EEA Rafaela se estudio la variante de diferentes cantidades de fertilizantes contrastantes como urea y superfosfato triple de calcio (Vivas, 1995) y su influencia en el número de plántas (Gráfico 8).

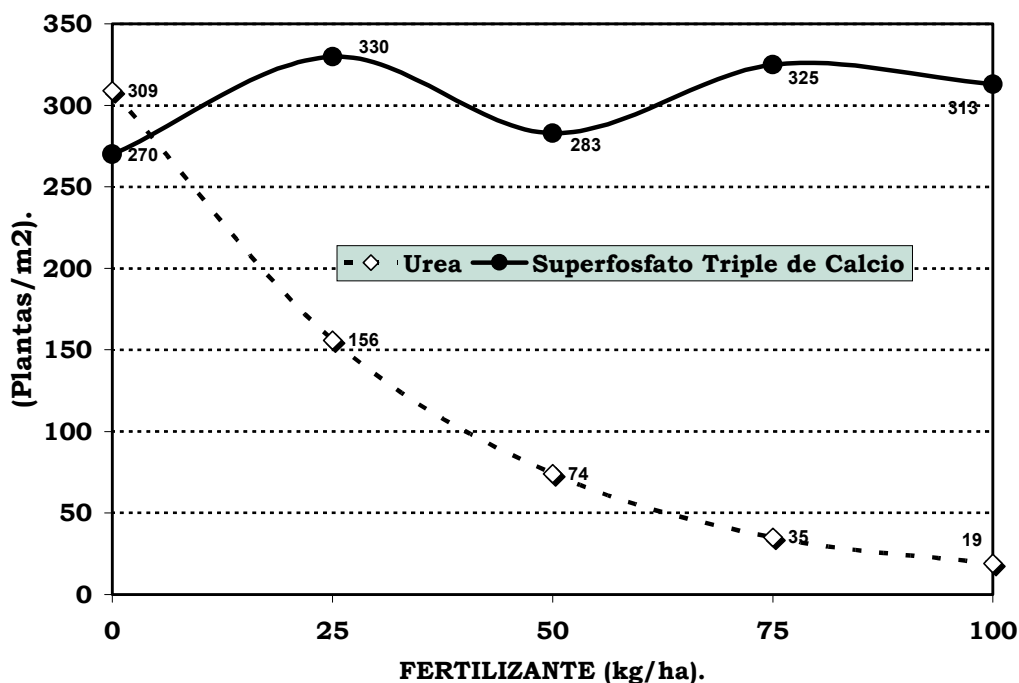
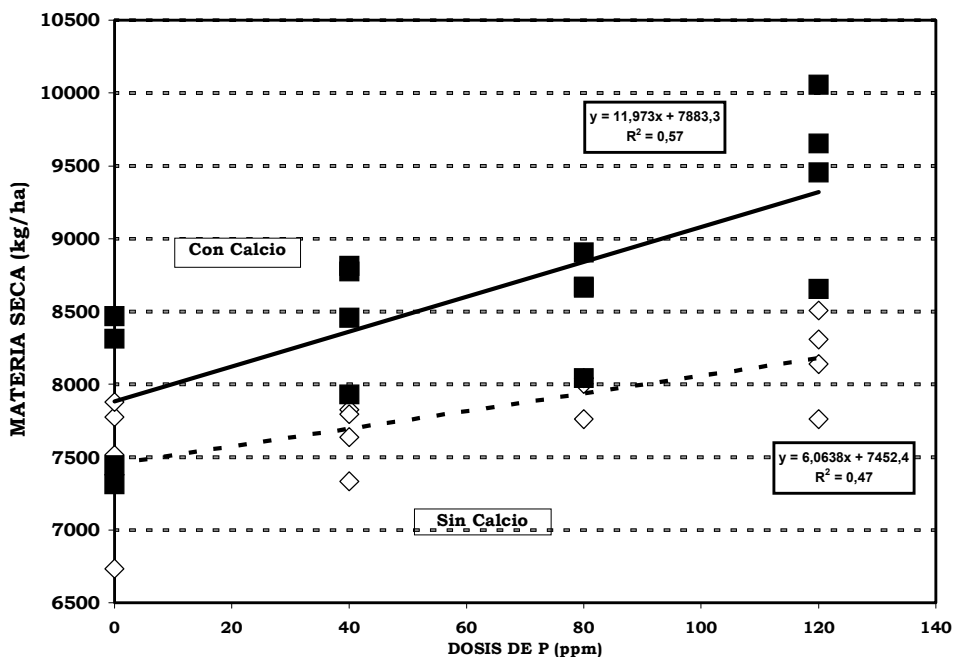


Gráfico 8. Influencia de un fertilizante nitrogenado y de otro fosfatado en el número de plantas de alfalfa cuando fueron aplicados junto con la semilla.

El Gráfico 8 indica que si en lugar del superfosfato triple se hubiera utilizado fosfato monoamónico o diamónico junto con la semilla y en cantidades crecientes la toxicidad sería muy notable por el aumento en la proporción de "N". Por ello el fertilizante arrancador implicaría solamente pequeñas cantidades de fosfatos e ínfima concentración de "N" para favorecer el crecimiento y evitar la toxicidad.

#### FOSFORO Y CALCIO.

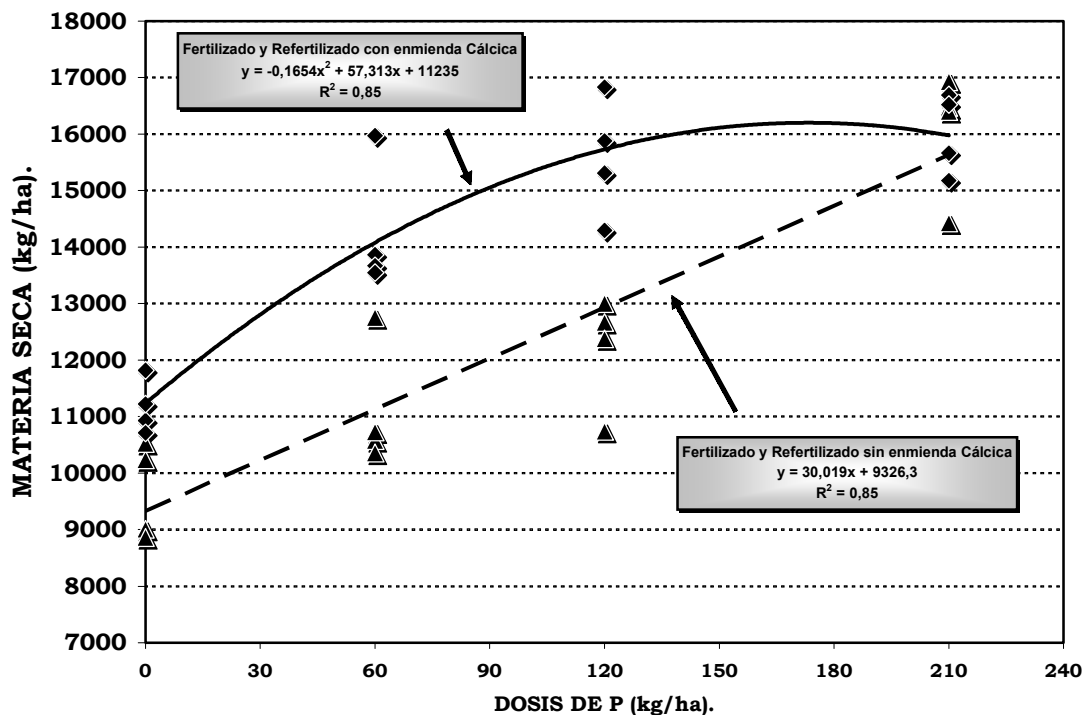
Sin duda el P condiciona la producción de alfalfa, pero además en el centro de Santa Fe se observó la acción del calcio interactuando con el P y favoreciendo su absorción y la mayor producción de MS (Gráfico 9). A un suelo con mediano contenido de P (15-20 ppm) y pH de 5,9 se lo fertilizó con cuatro niveles de P (0, 40, 80 y 120 kg/ha) como superfosfato triple y dos niveles de producto calcáreo (0 y 1500 kg/ha) como calcita aperdigonada (Ca= 37%), (Vivas et al, 1999).



**Gráfico 9.** Producción de alfalfa con diferentes niveles de fósforo con y sin la aplicación de una enmienda calcárea. Ocho cortes. Esperanza, 1997/98.

El pH fue modificado a un valor de 6,5 y las diferencias de P+Ca respecto de P fueron muy significativas lo que según Andrew y Johansen (1978) se debería a un aumento de los iones positivos tanto en la solución como en la superficie radicular que facilitaría la absorción de los fosfatos. Aunque Rice (1975) y Bohn et al., (1979) mencionan que recién podrían esperarse problemas productivos cuando la reacción es inferior a  $\text{pH} = 5,5$  es importante también tener en cuenta el criterio de Woodruff (1967) quien afirmó que el valor deseable es alrededor de  $\text{pH} = 6,6$ . A pesar que en la experiencia de Santa Fe hubo modificaciones del pH relacionadas con la producción no se consideró a este parámetro como determinante sino que también se reconocen a otros parámetros asociados tales como la capacidad de intercambio catiónico y el porcentaje de saturación de bases que podrían influir no solo en la absorción del P sino también de otros macro y micronutrientes. Se necesita más investigación para clarificar este aspecto.

Otro ejemplo de interacción de P x Ca fue obtenido en la localidad de Emilia sobre un suelo de bajo contenido de P (6 ppm), 7,1 meq/100 de Ca y 1,2 meq/100 de Mg y pH de 5,9 (Vivas 2000). La cantidad de producto calcáreo aplicado en este caso fue de 2000 kg/ha en combinación con diferentes dosis de P (Gráfico 10).



**Gráfico 10.** Variación de la producción de alfalfa con la interacción PxCa. 13 cortes. Emilia 1998.

Las razones de los aumentos productivos no solo se explican por el nivel de acidez edáfica, que con el encalado se posicionó en  $\text{pH} = 6,5$ , sino por el Ca de intercambio que ascendió a  $9,9 \text{ meq}/100$  y el Mg a  $1,8 \text{ meq}/100$ . Además, aunque no fue medido en la ocasión, se conoce que el aumento de pH mejora sustancialmente la asimilación del molibdeno (Mo), micronutriente fundamental en la fijación biológica (Havlin et al., 1999). En relación al tema Black (1993) menciona que "en general" no es el pH el que actúa modificando o limitando el crecimiento de las plantas sino los factores indirectos relacionados que se activan al modificarse el nivel de acidez los que constituyen la verdadera causa.

Aparentemente, el pH no constituye un parámetro excluyente y suficiente para diagnosticar las necesidades de enmendar un suelo, sino que los valores del complejo de intercambio son tanto o más importantes, sobre todo en la concentración de Ca y Mg.

Los ejemplos anteriores muestran la consistencia de la relación PxCa y el beneficio sobre la producción de MS. Nuevamente se observa la amplitud que tiene la alfalfa en su respuesta al P. Los niveles prácticos a nivel de producción se podrían situar entre 30 y 50 kg/ha anuales de P combinados con productos calcáreos de óptima disolución.

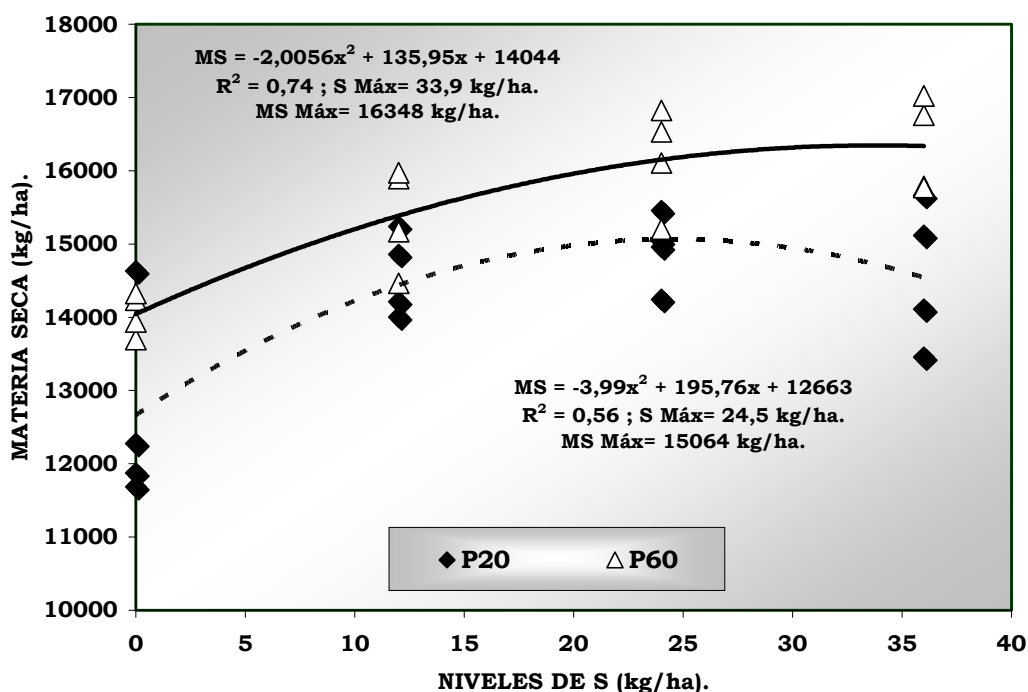
## FOSFORO Y AZUFRE

Por la información disponible en la EEA Rafaela el déficit nutricional de los suelos del centro- este de Santa Fe no está condicionado solo por el P sino también por el azufre (S). La primera referencia, en el centro de Santa Fe, mostrando el beneficio productivo del S en alfalfa fue detectada en 1998/99 en un suelo de la serie Esperanza (Vivas, 2001). Este nutrimento es muy requerido por la alfalfa y así lo demostró Caldwell et al., (1972) citado por Hoeft y Fox (1986) y también por Sorensen et al., (1968). Se presenta en suelos con bajos niveles de materia orgánica y muchos años de agricultura. Junto con el P, el S constituye un elemento de gran importancia en la formación de las proteínas de la pastura

y su demanda guarda relación con los niveles de producción de MS. En suelos arenosos el S puede tener una dinámica similar al nitrógeno y migrar con facilidad hacia horizontes profundos pero en suelos franco limosos y arcillosos en el horizonte B el nutriente tiene capacidad de permanecer y tener efectos residuales en años posteriores (Vivas et al., 2004).

Los síntomas de deficiencia de S son clorosis en la parte superior de la planta pudiéndose confundir con la falta de nitrógeno. También se caracteriza por el desarrollo restringido de la altura y la biomasa.

La experiencia que puso de relieve el rol del S en función de dos niveles de fertilización con P fue evaluada en un ensayo iniciado en el año 2000 en la localidad de Esperanza en un suelo con 2,22 % de MO, 12 ppm de P extractable y 9,5 ppm de azufre de sulfatos (S-SO<sub>4</sub>) (Vivas, 2004). Se utilizaron dos niveles de P (20 y 60 kg/ha) bajo la forma de superfosfato triple de calcio (SFT) (P=20%) y cuatro niveles de S (0, 12, 24 y 36 kg/ha) como sulfato de amonio (S=24%). Todo el ensayo tuvo una base uniforme de calcio a razón de 629 kg.ha<sup>-1</sup> de Ca. Los resultados, equivalentes a la producción de un año, pueden verse en el Gráfico 11.



**Gráfico 11.** Variaciones de la Materia Seca de Alfalfa según dosis de "S" para dos niveles de Fertilización Fosfatada. 8 Cortes. Esperanza. 2000-01.

El aumento de MS de alfalfa debido al S fue muy importante y se reflejó con igual tendencia para los dos niveles de P (20 kg/ha y 60 kg/ha). Cuando la fertilización con P fue mayor también lo fueron las producciones crecientes con S.

Con P20 la máxima producción de MS fue de 15064 kg/ha que se obtuvo cuando el nivel de S fertilizante fue de 24,5 kg/ha en cambio con P60 la máxima producción de alfalfa fue de 16348 kg/ha con el nivel de S de 33,9 kg/ha. Las cantidades de S = 24,5 y S = 33,9 equivalen a 136 kg y 188 kg de yeso agrícola, respectivamente orientando las necesidades anuales de S requeridas para una pastura en óptima producción.

Para este nutrimento también es necesario conocer el nivel de azufre de sulfatos (S-SO<sub>4</sub>) en el suelo. Un nivel inferior a 10 ppm es deficiente. Las exploraciones de respuesta locales también tienen validez como indicadores de la necesidad de fertilizar con S. En el centro de Santa Fe la fertilización con P y S es prioritaria para la producción de alfalfa.

Otra experiencia positiva a P y S en alfalfa corresponde a la reportada por Carta et al., (2001) en la UEEA 9 de julio, cuyos resultados luego de 5 cortes se pueden ver en el Cuadro 3.

El suelo superficial contenía 4ppm de P extractable, 14 ppm de S disponible, 3% de materia orgánica y pH= 6. El P fertilizante aplicado fue como superfosfato triple y el S como sulpomag.

**Cuadro 3.** Respuesta al fósforo y al azufre en el área de la AER 9 de julio.

P (kg/ha)	MS (kg/ha)	Incrementos (kg/ha)	S + (base de 25 kg de P)	MS (kg/ha)	Incrementos (kg/ha)
0	7287	-	0	11230	-
25	11230	3943	5	12259	1029
50	12992	5705	10	13976	2746
75	13778	6491	20	14495	3265
100	13163	5876	30	15604	4374

Las magnitudes de respuesta fueron muy grandes demostrando la necesidad nutricional de la pastura en ese tipo de suelos.

### FUENTES AZUFRADAS

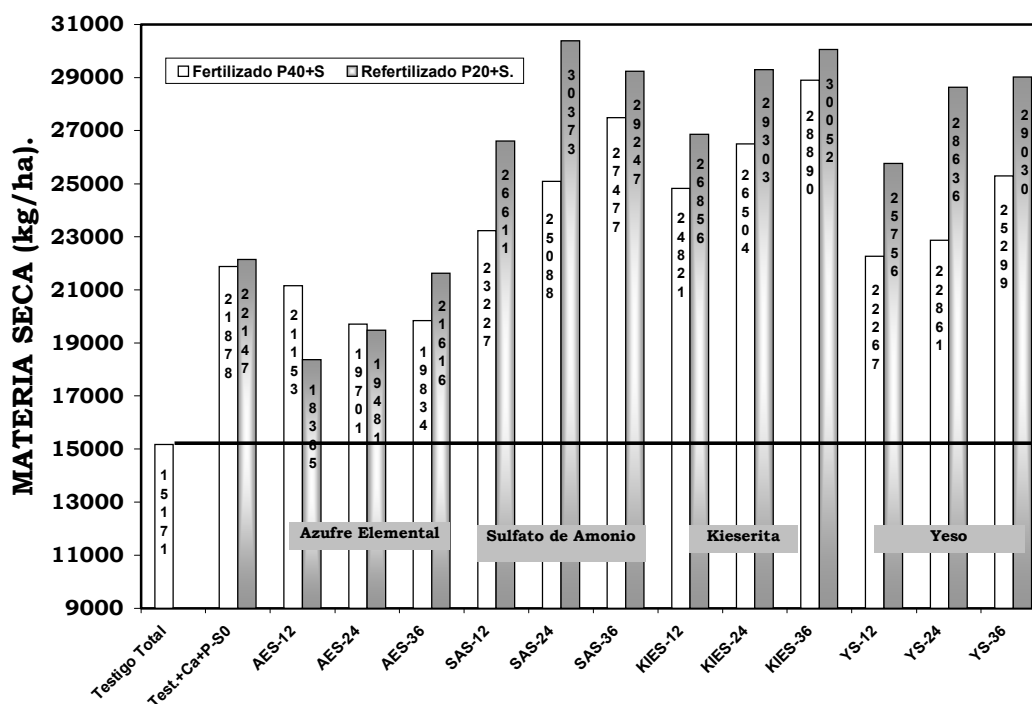
Detectada la relevancia de la fertilización con P y S, surgió la necesidad de conocer mejor las fuentes y las dosis de S para distintas condiciones de aplicación. Para el caso se condujeron en la localidad de Esperanza dos experiencias: a) con aplicación superficial de los fertilizantes y b) con aplicación inicial incorporada a la siembra.

#### a) Fertilización en Superficie.

Esta alternativa se presentó en pasturas de 1 año que no fueron fertilizadas a la siembra. La demanda de acción ocurrió cuando fue evidente la baja productividad y la pastura aún disponía de un adecuado número de plantas por metro cuadrado. La condición posiblemente represente una gran proporción de la superficie con alfalfa en la zona y donde es posible actuar para revertir la decadencia. La experiencia comenzó en el año 2001 en un suelo Serie Esperanza. El análisis químico de la capa superficial (0-15 cm) fue de S-SO<sub>4</sub>= 6,6 ppm; MO= 2,15 %; P= 7,2 ppm; pH= 5,9; Ca= 8,9 meq/100; Mg= 0,9 meq/100; Na= 0,6 meq/100; K= 1,2 meq/100 y un valor T= 11,3 meq/100.

Los tratamientos fueron cuatro fuentes azufradas, Azufre Elemental (AE-80% de S), Sulfato de Amonio (SA-24% de S), Yeso (Y-18% de S) y Kieserita (K-20% de S), que se combinaron con cuatro niveles de S (0, 12, 24 y 36 kg/ha). Todos los tratamientos tuvieron una aplicación de 40 kg/ha de P y 370 kg/ha de Ca proveniente de una calcita micronizada y aperdigonada (37% de Ca). En una segunda etapa todos los tratamientos fueron refertilizados con P20 y con respecto al S se repitieron las dosis iniciales. El Ca no se modificó.

Los resultados que se presentan en el Gráfico 12 incluyen la fertilización combinada de Ca, P y como única variante las fuentes y dosis de S.



**Grafico 12.** Fuentes y dosis de azufre en la producción de alfalfa luego de 15 cortes en condiciones de fertilización y refertilización superficial. Los niveles de S indicados en el gráfico son los iniciales. Vivas, 2004 (en prensa).

Excepto el AE todas las fuentes se manifestaron de inmediato en el crecimiento de la pastura demostrando la factibilidad de la fertilización en superficie y al voleo y de aumentar la producción de MS por sobre la fertilización con fósforo.

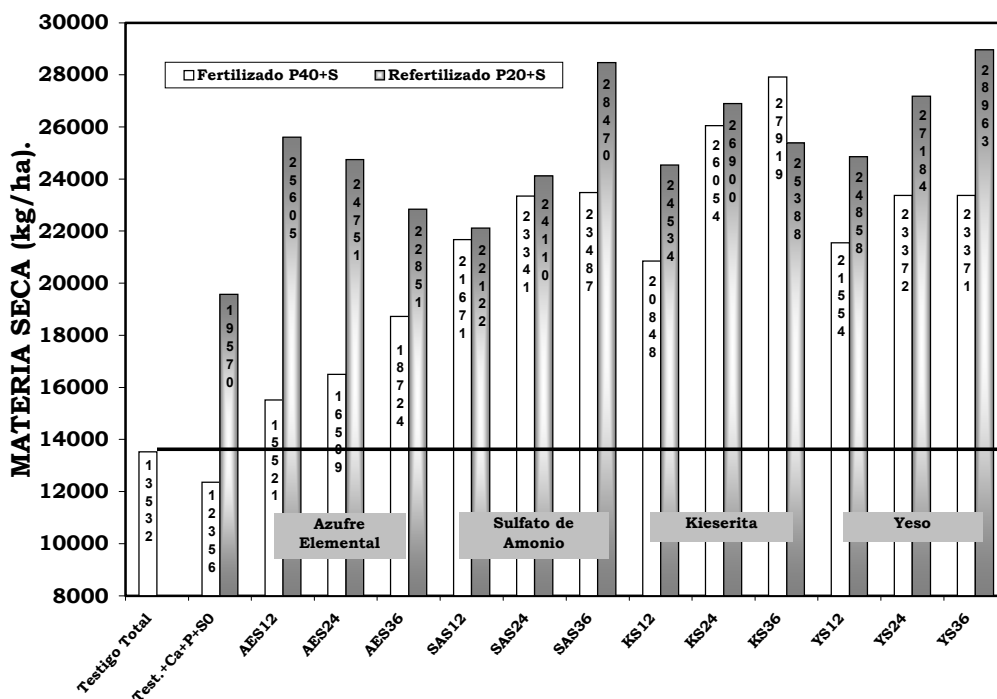
Hubo diferencias entre fuentes teniendo similar comportamiento el sulfato de amonio el yeso y la kieserita y menor respuesta el azufre elemental. Los niveles de azufre aumentaron la MS en forma proporcional incluso con el nivel superior S36.

El segundo aspecto importante fue el destacado comportamiento de la refertilización en casi todas las fuentes, demostrando que esta alternativa es necesaria en los alfalfares que no fueron fertilizados a la siembra.

La línea horizontal, a través de todas las fuentes, representa la producción de la pastura sin intervención de fertilizantes (Testigo total) Gráfico 12.

### b) Fertilización Incorporada.

La experiencia también se condujo en Esperanza con un análisis inicial del suelo de: P= 8,1ppm y S-SO<sub>4</sub>= 7,5ppm, es decir con deficiencias de P y S, MO=2,58%, pH= 5,7, Ca= 6,5meq/100, Mg= 1,4meq/100, Na= 0,2meq/100, K= 0,6meq/100 y T= 10,6meq/100. Todas las fuentes y las dosis de azufre fueron iguales que el ensayo anterior. El Ca y el P fueron una base y las variantes fueron las fuentes y el S. En este ensayo se distribuyó e incorporó el fertilizante al momento de la siembra y posteriormente también se realizó una refertilización superficial (en el décimo corte) con igual operatoria que el ensayo anterior. La refertilización con P fue con P20 y para S se repitieron las dosis iniciales de cada tratamiento. El calcio no se modificó. Los resultados se pueden ver en el Gráfico 13.



**Gráfico 13.** Fuentes y dosis de azufre en la producción de alfalfa luego de 14 cortes en condiciones de fertilización incorporada y refertilización superficial. Los niveles de S indicados en el gráfico son los iniciales. Vivas, 2004 (en prensa).

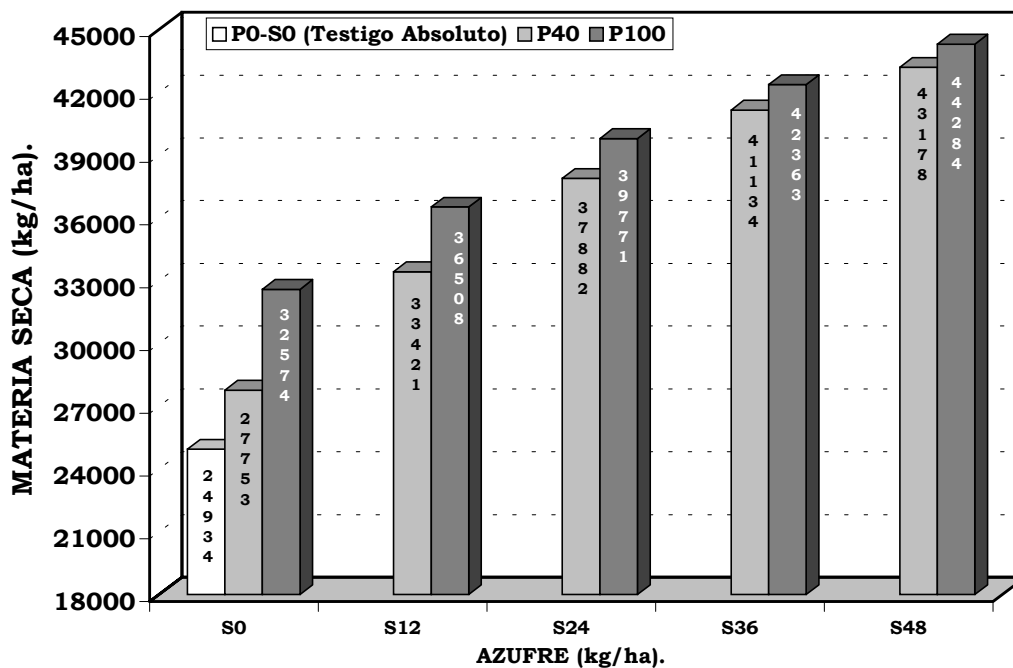
Nuevamente, las fuentes sulfato de amonio, yeso y kieserita tuvieron mejor performance que el azufre elemental en el arranque, posiblemente por la mayor disponibilidad inmediata de sulfatos. Posteriormente, en la refertilización, el azufre elemental mejoró sustancialmente su acción, pero sin alcanzar a otras fuentes como el sulfato de amonio la kieserita y el yeso.

La MS aumentó según las dosis crecientes de S, aún con el nivel S36. La línea horizontal, a través de todas las fuentes, representa la producción de la pastura sin intervención de fertilizantes (Testigo total) Gráfico 13.

Las dos experiencias demostraron que en la nutrición de la pastura deben incluirse no sólo la fertilización sino también la refertilización anual para mantener altos niveles de materia seca.

### Fertilización y refertilización con Fósforo, Azufre y una base uniforme de Calcio.

La experiencia se realizó en Esperanza sobre un suelo Cululú 3 con 2,2% de materia orgánica, 12 ppm de P, 9,5 ppm de S-SO<sub>4</sub> y 7 meq/100 de Ca de intercambio. Los niveles de fertilización inicial con P fueron 20 y 60 kg/ha como superfosfato triple de calcio y los de S 0, 12, 24 y 36 kg/ha como sulfato de amonio. Se aplicaron 629 kg de Ca/ha a todos los tratamientos bajo la forma de calcita (Ca= 37%). La refertilización con fósforo fue: P20+P20 y P60+P40, en cambio para S se repitieron las dosis iniciales. Luego de 24 cortes (2000-03) que incluyeron la fertilización inicial y la refertilización superficial se observó la producción del testigo absoluto P0-S0 y de solo algunas combinaciones surgidas por regresión de los factores P y S (Gráfico 14).



**Gráfico 14.** Producción de alfalfa con dos niveles de fósforo, diferentes dosis de azufre y una base de calcio para las combinaciones PxS. 24 cortes. Esperanza, 2000-03. Vivas, 2004. (en prensa).

Los resultados mostraron diferencias por el P pero mayormente a los niveles de S. Aunque se observó un gran impacto inicial de la dosis alta de P (P100 versus P40), las diferencias fueron escasas con las dosis mayores de S. Por lo tanto la fertilización inicial y la refertilización con P podría ser moderada bajo la condición de un buen abastecimiento de azufre.

**Beneficios productivos y económicos de una fertilización de alfalfa con Fósforo, Calcio y niveles crecientes de Azufre\*\***

Se utilizaron los resultados del Gráfico 14 pero solo el testigo absoluto P0-Ca0-S0 y el nivel P40 a través de las dosis de S. Los tratamientos se resumen en el Cuadro 4.

**Cuadro 4:** Niveles de fertilización por tratamiento. En kg de fertilizante por hectárea.

Tratamientos	Fósforo (P)	Calcio (Ca)	Azufre (S)
P0-Ca0-S0 (Muestra sin fertilizar)	0	0	0
P40-Ca629-S0- Testigo	40	629	0
P40-Ca629-S12	40	629	12
P40-Ca629-S24	40	629	24
P40-Ca629-S36	40	629	36
P40-Ca629-S48	40	629	48

El P aplicado fue como superfosfato triple de calcio (P= 20%), el Ca bajo la forma de calcita (Ca= 37%) y el S como sulfato de amonio (S= 24%).

Para el análisis de los resultados se consideraron tres etapas:

\*\* Vivas H.S.; Castignani H. y Gastaldi L.

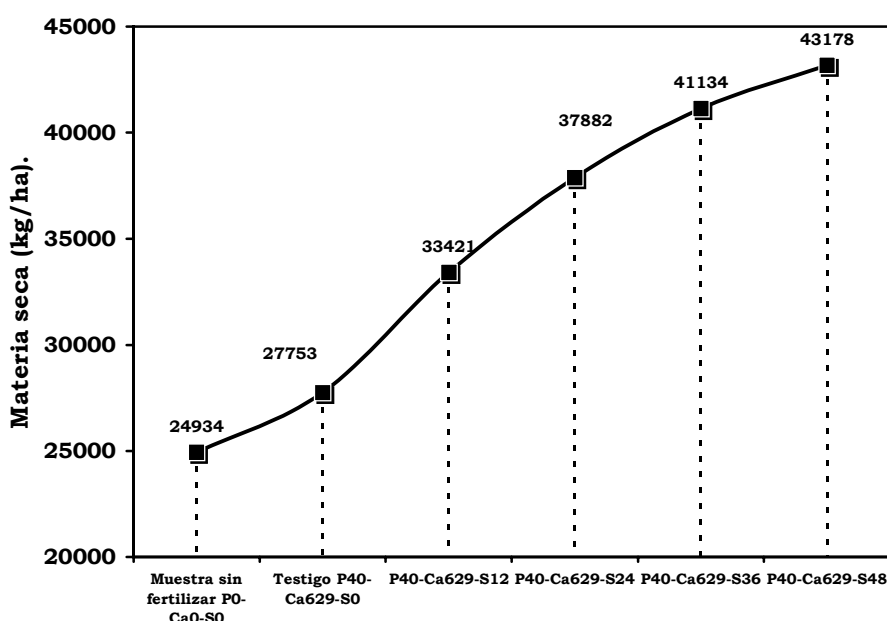


1- Resultados productivos y análisis marginal de los rendimientos de forraje para cada tratamiento.

2- Cálculo del costo unitario de la materia seca. Para ello se estimó el gasto de implantación y mantenimiento de la pastura, constante en todos los casos, y el de fertilización correspondiente a cada tratamiento. La duración de la pradera fue de 3 años.

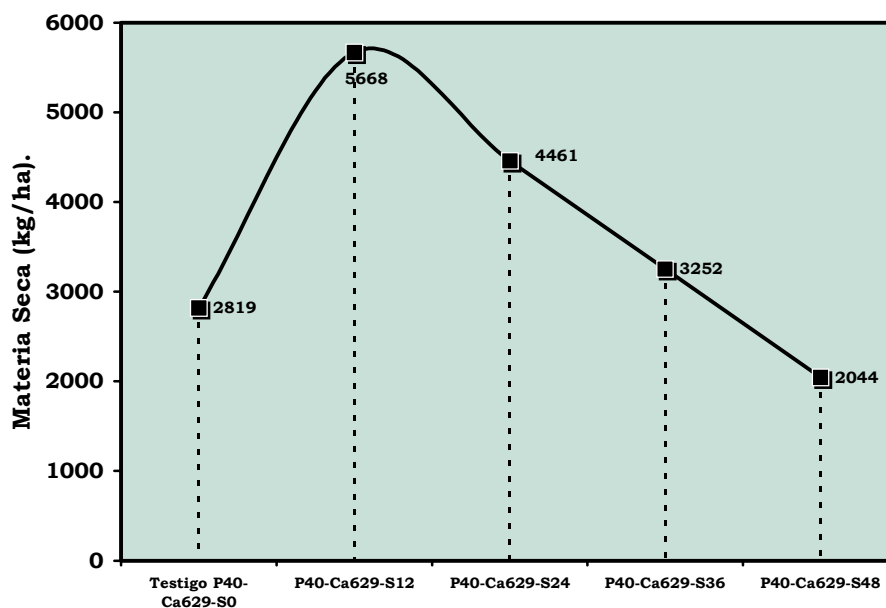
3- Estimación del ingreso libre de praderas (\$/ha) asumiendo que la superficie es ocupada únicamente por vacas en ordeño. Para la determinación de este valor se consideró que un kilo de materia seca de alfalfa aprovechable (eficiencia cosecha 70%) produce 1,2 litros de leche y que el precio de venta es de 0,43\$/litro.

En el Gráfico 15 se observa el rendimiento de MS de la muestra sin fertilizar y el de los tratamientos; un testigo (P40-Ca629-S0) y niveles crecientes de S (12, 24, 36 y 48 kg/ha). En términos generales la incorporación de P40-Ca629 + S permitió mejorar la eficiencia del uso de la tierra debido a una mayor disponibilidad de forraje por unidad de superficie.



**Gráfico 15.** Producción acumulada de alfalfa según fertilización con P y Ca y niveles crecientes de S. Esperanza, 2000-2003.

El comportamiento registrado en los tratamientos se correspondió con la ley de los rendimientos decrecientes, donde la tasa adicional de MS lograda aumentó hasta la incorporación de 12 kg/ha de S; decreciendo luego con el agregado de unidades adicionales de S (Gráfico 16).

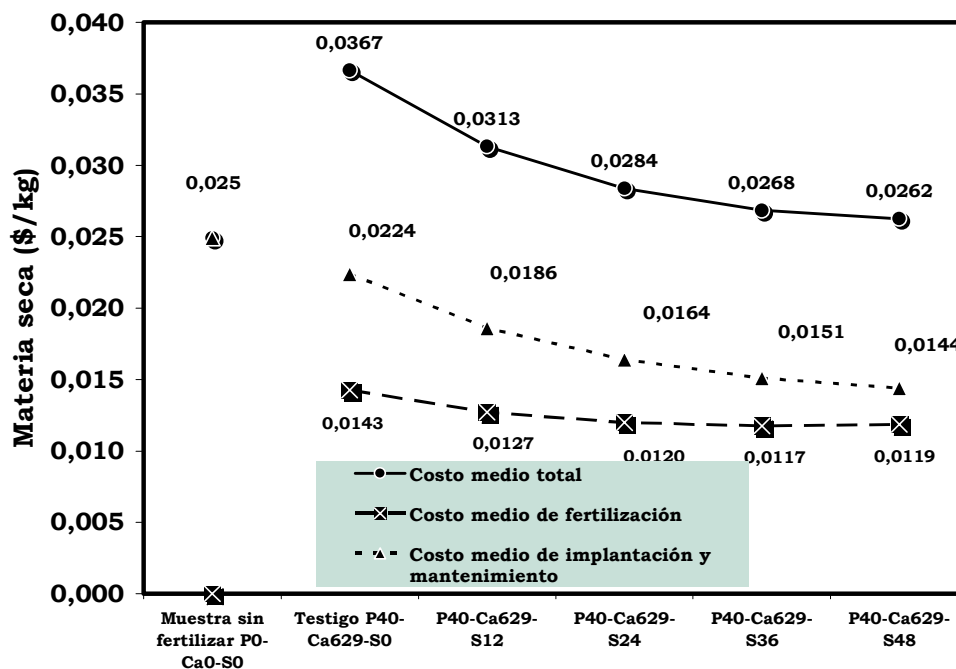


**Gráfico 16.** Rendimiento acumulado marginal de MS en relación con los niveles crecientes de S. Esperanza, 2000-2003.

Sobre la base de una fertilización con P40 y Ca629, el incremento de los niveles de S produjo aumentos de forraje de 20,4%; 36,5%; 48,2% y 55,6% que en MS representaron 5668 kg/ha, 10129 kg/ha, 13381 kg/ha y 15425 kg/ha, para los niveles S12, S24, S36 y S48 respecto de S0, respectivamente. Las magnitudes ponen de relieve la importancia de la fertilización azufrada para alcanzar altos rendimientos de alfalfa. Si las comparaciones se hubieran hecho con la muestra sin fertilizar (P0-Ca0-S0) se alcanzarían aumentos de hasta el 73,2% que en MS significan 18.244 kg/ha y representaría la magnitud de pérdida por no fertilizar la pastura.

Aunque en esta experiencia la respuesta fue muy importante, es necesario destacar que la fertilización óptima para un sistema sustentable debería ser aquella que reponga los nutrientes que la pradera extrajo. Considerando el P y el S y según el Cuadro 1, en este ensayo donde se produjeron 43 toneladas de MS la alfalfa extrajo 129 kg/ha de P y 86 kg/ha de S, mientras que las dosis aplicadas de P y S como fertilizante fueron solamente de 40 kg/ha y 48 kg/ha, respectivamente. El contraste indica que las magnitudes de fertilización deben ser mayores para optimizar y sostener los sistemas productivos.

El Gráfico 17 expone el costo medio total por kg MS de la muestra sin fertilizar y de los tratamientos fertilizados. Se observa que el correspondiente a la pastura fertilizada es superior al de la situación sin fertilizar y se debe a que la mejora en la producción de forraje conseguida mediante la fertilización no resultó suficiente para diluir los gastos asociados a esta técnica. Por lo tanto el beneficio deberá considerarse ligado a la mayor cantidad de forraje disponible por unidad de superficie, y en consecuencia a la posibilidad de un incremento en la producción de leche por hectárea. Al evaluar el impacto del S en la fertilización, su incorporación favoreció la reducción del costo medio total de la MS, que alcanzó su valor más bajo en el nivel de 48 kg/ha de S.



Implantación: 335\$/ha. Mantenimiento: 286,10 \$.  
 Fertilización \$/ha: 396,14 (P40-Ca629-S0); 425,04 (p40-Ca629-S12); 453,94 (P40-Ca629-S24); 482,84 (P40-Ca629-S36); 511,74 (P40-Ca629-S48). Precios de insumos y servicios: Revista Márgenes Agropecuarios Marzo 2005.

**Gráfico 17.** Costo medio de implantación y mantenimiento, fertilización y costo medio total de los tratamientos fertilizados para la producción de alfalfa. Esperanza 2000-03.

Los gastos de implantación y mantenimiento, expresados en valores unitarios, decrecen por el aumento que se registra en la cantidad de MS por hectárea. Respecto a la fracción variable representada por los gastos de fertilización es posible distinguir dos fases, una decreciente hasta P40-Ca629-S36 y otra con un ligero aumento en P40-Ca629-S48 que tendría estrecha relación con el comportamiento marginal de la producción de alfalfa.

La incorporación de S, respecto al testigo S0, favoreció la ocurrencia de dos hechos:

- Mayor producción de MS de alfalfa por hectárea.
- Menor costo medio total por kg de MS producida.

La mayor receptividad de la pradera asociada al primer evento facilitaría el manejo de una carga animal superior y en consecuencia una mejora en la productividad de leche por hectárea. Por otro lado se generaría una ganancia adicional por el ahorro asociado al consumo de un alimento más barato, situación vinculable al segundo evento.

Como ejemplo de lo mencionado se muestra una estimación del margen parcial (Ingreso libre de pradera) asociado a cada alternativa de fertilización (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Estimación del margen económico asociado a la fertilización de una pradera de alfalfa con fósforo, calcio y azufre.

Tratamientos	Materia seca aprovechable (kg/ha)	Producción de leche (l/ha)	Ingresos venta (\$/ha)	Costo pradera (\$/ha)	Ingreso libre pradera (\$/ha)
P40-Ca629-S0 (Testigo)	19.427	23.313	10.024	1.017	9.007
P40-Ca629-S12	23.395	28.074	12.072	1.046	11.025
P40-Ca629-S24	26.517	31.821	13.683	1.075	12.608
P40-Ca629-S36	28.794	34.553	14.858	1.104	13.754
P40-Ca629-S48	30.225	36.270	15.596	1.133	14.463

Tasa de conversión: 1,2 litro leche/ kg MS pastura aprovechable de alfalfa.

Eficiencia de cosecha= 70%; Precio venta leche= 0,43 \$/litro; Costo producción alfalfa: implantación= 335\$/ha, conservación= 286,10 \$.

Fertilización \$/ha: 396,14 (P40-Ca629-S0); 425,04 (P40-Ca629-S12); 453,94 (P40-Ca629-S24); 482,84 (P40-Ca629-S36); 511,74 (P40-Ca629-S48)

Precios de insumos y servicios: Revista Márgenes Agropecuarios Marzo 2005.

La columna producción de leche es la resultante de la transformación de la MS aprovechable de alfalfa por su tasa de conversión a leche. El máximo le corresponde al tratamiento P40-Ca629-S48, y es de 36.270 l/ha.

De la diferencia entre los ingresos generados por la venta de leche y el costo de producción de la alfalfa surge la columna "ingreso libre de praderas", que contiene datos parciales del margen económico asociado a cada alternativa.

## Conclusiones

- ❖ Sobre la base de una fertilización con P y Ca, los niveles de S produjeron aumentos sobre el testigo S0 de hasta un 55,6% demostrando la necesidad de la fertilización conjunta de nutrientes para obtener los mayores beneficios en la producción de alfalfa.
- ❖ La mayor respuesta marginal se logró cuando se añadieron las primeras 12 unidades de S, disminuyendo posteriormente con las dosis sucesivas (24, 36 y 48 kg/ha).
- ❖ El gasto correspondiente a la aplicación del fertilizante se diluyó hasta el nivel P40-Ca629-S36. Con la dosis S48 se observó un ligero incremento pero no logró revertir la tendencia decreciente del costo medio total por kg MS lograda.
- ❖ La estimación del margen parcial ó "ingreso libre de pradera" demostró que los beneficios económicos de la fertilización fueron ascendentes hasta el nivel máximo de azufre utilizado.

## Bibliografía

- Andrew C. S. and C. Johansen. 1978. Differences between pasture species in their requirements for nitrogen and phosphorus. *In*. Plant relations in pastures. Ed. J. R. Wilson. CSIRO, Australia. 111-127.
- Berardo A. 1998. Fertilización de pasturas. En 5º Seminario de Actualización Técnica, CPIA-SRA. Buenos Aires.

- Black C. A. 1993. Soil Testing and Lime Requirement. In. Soil Fertility Evaluation and Control. Lewis Publishers. 647-728.
- Bohn F. R.; B. L. McNeal and G. A. O'Connor. 1979. Soil chemistry. Wiley Interscience Publication. John Wiley and Sons. 329p.
- Carta H. G.; L. A. Ventimiglia y S. N. Rillo. 2001. Experimentación en Campos de Productores. Resultados de experiencias campaña 2000-2001. UEEA INTA 9 de Julio. p 26-31.
- Culot J. Ph. 1986. Nutrición mineral y fertilización en el ambiente de la región pampeana. En: Investigación, Tecnología y Producción de Alfalfa. Colección Científica del INTA. pp. 81-117.
- García F.; M. L. Ruffo y I. C. Daverede. 1999. Fertilización de Pasturas y Verdeos. INPOFOS. Informaciones Agronómicas. Instituto de la Potasa y el Fósforo. INPOFOS. Volumen 1 (1). 1-11.
- Havlin J. L.; J. D. Beaton.; S. Tisdale and W. L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Prentice Hall. p 38-85.
- Haynes R. J. and P. H. William. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy*. 49:119-199.
- Hoefl R. G. and R. H. Fox. 1986. Plant response to sulfur in the Midwest and Northeastern United States. In. Sulfur in Agriculture. Ed. M. A. Tabatabai. *Agronomy* N° 27. ASA. 1986.
- Lanyon L. E. and W. K. Griffith. 1988. Nutrition and Fertilizer Use. In. Alfalfa and Alfalfa Improvement. ASA-CSSA-SSA, Madison, Wisconsin. *Agronomy Monograph* 29. 333-372.
- Melsted S. W.; H. L. Motto and T. R. Peck. 1969. Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron. J.* 61:17-20.
- Quintero C. y G. Boschetti. 2004. Fósforo en pasturas. Sistemas ganaderos en siembra directa. 1° Simposio Nacional. Hacia una ganadería competitiva. AAPRESID. 11-12 de mayo de 2004. Rosario, Santa Fe - Argentina. 115-119.
- Racca R.; D. Pollino.; J. Dardanelli.; D. Basigalup.; N. González.; E. Brenzoni.; N. Hein y M. Balzarini. 2001. Contribución de la fijación biológica de nitrógeno a la nutrición nitrogenada de la alfalfa en la región pampeana. Proyecto Pronalfa. Ediciones INTA. 56 p.
- Reetz H. F. 1986. Phosphorus function in plants. In: Phosphorus for Agriculture. A situation Analysis. Potash and Phosphate Institute. pp5-8.
- Rice W. A. 1975. Effect of CaCO<sub>3</sub> and inoculum level on nodulation and growth of alfalfa in an acid soil. *Can. J. Soil Sci.* 55:245-250.
- Romero L. A. y M. S. Aronna. 2003. Evaluación de cultivares de alfalfa en dos localidades: Rafaela y Humboldt. *Rev. Arg. Prod. Anim.* Vol 23. Supl. I. 26° Congreso Argentino de Producción Animal. Mendoza. 22-24 de octubre de 2003. pp. 111-112.
- Sorensen R. C.; E. J. Penas and U. U. Alexander. 1968. Sulfur content and yield of alfalfa in relation to plant nitrogen and sulfur fertilization. *Agron. J.* 60: 20-23.
- Vincent J. M. 1965. Environmental factors in the fixation of nitrogen by the legume. In. W. V. Bartholomew and F. E. Clark (ed). *Soil Nitrogen*. *Agronomy* 7:384-435.

- Vivas H. S. 1995. Toxicidad de fertilizantes sobre plántulas de alfalfa. INTA EEA Rafaela. Información Técnica para Productores.
- Vivas H. S. 1995. Fertilización de pasturas base alfalfa en la región central de Santa Fe. INTA EEA Rafaela. Información Técnica para Productores.
- Vivas H. S. 1996. Fertilización de alfalfa en tres suelos representativos de la región central de Santa Fe. Información Técnica N° 193. INTA EEA Rafaela. 3p.
- Vivas H. S.; S. Guaita.; W. Heín y V. L. Empinotti. 1996. Fertilización de alfalfa en un suelo representativo del centro este de Santa Fe: Producción de Primavera, 1995. Información Técnica N° 200. INTA EEA Rafaela. 7p.
- Vivas H. S. y S. Guaita. 1997. Fertilización fosfatada de alfalfa: rendimiento y fósforo edáfico durante un año de corte. 1995/96. Información Técnica N° 209. INTA EEA Rafaela. 6p.
- Vivas H. S.; M. S. Guaita y O. Quaino. 1999. Fertilización fosfatada y encalado sobre la producción de alfalfa en el Departamento Las Colonias. INTA EEA Rafaela. Información Técnica N° 230. 6p.
- Vivas H. S. y O. Quaino. 2000. Fertilización y refertilización fosfatada de alfalfa en un suelo del centro este de Santa Fe, con y sin enmienda cálcica. Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". INPOFOS Cono Sur. Bolsa de Comercio de Rosario. Abril de 2000. p 11-13.
- Vivas H. S. 2001. Fertilización de alfalfa con azufre y boro en el área centro este de Santa Fe. 24° Congreso Argentino de Producción Animal (AAPA). Rafaela, 19 al 21 de setiembre de 2001.
- Vivas H. S.; C. E. Quintero.; G. N. Boschetti.; H. Fontanetto.; R. Albrecht y M. R. Befani. 2004. Fertilización con fósforo y azufre: fraccionamiento de P del suelo y rendimiento de soja y maíz. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. 22 al 25 de junio de 2004.
- Vivas H. S. 2004. Fertilización con Fósforo y Azufre para la producción de Alfalfa en el centro de Santa Fe. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná. 22 al 25 de junio de 2004.
- Woodruff C. M. 1967. Crop response to lime in the midwestern United Status. In. R. W. Pearson and F. Adams (ed). Soil acidity and liming. *Agronomy* 12:207-231.