

Diciembre 2014

ISSN: 1688-9266



INSTITUTO
NACIONAL DE
INVESTIGACIÓN
AGROPECUARIA

URUGUAY

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LOS
SISTEMAS GANADEROS DEL BASALTO



ALTERNATIVAS
TECNOLÓGICAS PARA
LOS SISTEMAS
GANADEROS DEL
BASALTO

Diciembre, 2014

SERIE
TÉCNICA

217
INIA



ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LOS SISTEMAS GANADEROS DEL BASALTO

Editores: Elbio J. Berretta *
Fabio Montossi**
Gustavo Brito***

*Ing. Agr. Dr. Ing., Programa Nacional Pasturas y Forrajes (INIA Tacuarembó, hasta 2010).

**Ing. Agr. Ph.D., Director Programa Nacional Producción Carne y Lana. INIA Tacuarembó.

***Ing. Agr. Ph.D., Director Regional INIA Tacuarembó.

Título: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LOS SISTEMAS GANADEROS
DEL BASALTO

Editor: Elbio Berretta
Fabio Montossi
Gustavo Brito

Serie Técnica N° 217

© 2014, INIA

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., MSc., PhD. Álvaro Roel - Presidente

D.M.T.V., PhD. José Luis Repetto - Vicepresidente



D.M.V. Álvaro Bentancur

D.M.V., MSc. Pablo Zerbino



Ing. Agr. Joaquín Mangado

Ing. Agr. Pablo Gorriti



RESPUESTA DE UN MEJORAMIENTO DE CAMPO A ESTRATEGIAS DE FERTILIZACIÓN FOSFATADA SOBRE UN SUELO DE BASALTO

D. F. Risso¹
R. Cuadro¹
A. Morón²

1. INTRODUCCIÓN

En los sistemas ganaderos de Uruguay predomina el campo natural con diverso grado de aplicación de insumos en su manejo, lo que determina su sostenibilidad productiva, así como la de los sistemas, y es en general en niveles relativamente acotados (Ayala y Bermúdez, 2005; Berretta, 2005; Formoso, 2005).

La siembra de leguminosas en cobertura y la fertilización con fósforo para el mejoramiento de campos en distintas regiones y tipos de suelo, incluyendo los medios y profundos sobre Basalto, resulta en una mejora de la base forrajera de esos sistemas con uso controlado de insumos y de manera más amigable con el ambiente, respecto al empleo de otras tecnologías más radicales, como la siembra de pasturas cultivadas o por siembra directa (Bemhaja y Berretta, 1991; Risso *et al.*, 1997).

La baja disponibilidad de fósforo en los suelos de Uruguay limita el desarrollo y producción de las pasturas mejoradas, particularmente a través del componente leguminosa. En éstas, la deficiencia de fósforo reduce el crecimiento, afectando además la relación simbiótica y la fijación de nitrógeno, así como su persistencia (Mays *et al.*, 1980; Chien *et al.*, 1993; Quintero *et al.*, 1995).

Si bien la fertilización fosfatada es un factor determinante en la persistencia productiva de las pasturas mejoradas, el fósforo del fertilizante luego de entrar a la solución del

suelo, no sólo es absorbido por las plantas, sino que sigue diversos procesos, como su inmovilización por la biomasa microbiana, su adsorción por sustancias coloidales o su precipitación por compuestos inorgánicos del suelo. Dependiendo de estos factores, de las características del fertilizante, la dosis empleada, así como la extracción por la pastura entre otros, el efecto del fósforo aplicado se extiende (residualidad) de manera variable más allá del año de agregado (During, 1993; Berardo y Marino, 2000).

La estrategia de fertilización fosfatada (desde los niveles iniciales, hasta los de refertilización anual para mantenimiento), resulta esencial para desarrollar pasturas productivas y persistentes teniendo en cuenta que las distintas especies varían en sus requerimientos y pueden manifestar un comportamiento diferente de acuerdo a la fuente y/o nivel empleados. Por otra parte, el tipo de fertilizante fosfatado puede incidir de manera relevante en la eficiencia biológica y económica del resultado de estas pasturas. Internacionalmente, se han realizado numerosas comparaciones de fosfatos de roca con fertilizantes solubles al agua (Bolan *et al.*, 1990; Sinclair *et al.*, 1998).

De acuerdo a las características del suelo, en cuanto a acidez, disponibilidad de calcio y porcentaje de saturación de bases, las fosforitas pueden compararse o aventajar a fuentes más solubles (Hammond, *et al.*, 1986; Risso y Morón, 1993; Morón, 2002).

¹Ing. Agr., M.Sc. e Ing. Agr., Programa Nacional Pasturas y Forrajes. INIA Tacuarembó.

²Ing. Agr., Dr. Sección de Suelos. INIA La Estanzuela.

Esta característica de las fosforitas se suma además al hecho que en estos últimos años, va creciendo la demanda por productos ecológicos en distintos mercados del mundo, que con protocolos específicos, no permiten el empleo de fertilizante de síntesis industrial, por lo que en este caso sólo es posible considerar la fosforita (Pittaluga *et al.*, 2002).

Este trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de distintas fuentes y niveles de P en la productividad y persistencia de un mejoramiento de campo en suelos sobre Basalto, así como en la eficiencia de las respuestas obtenidas. De esta manera se amplía la información para una adecuada toma de decisiones sobre las posibles estrategias de manejo de un importante componente del costo del mejoramiento, como lo es la fertilización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. General

El ensayo se instaló en otoño del 2000, en suelos de la Unidad Queguay Chico sobre Basalto, en la Unidad Experimental Glencoe (Lat. S: 32°01'32''; Long. W: 57°00'39''), sobre un suelo medio a profundo (representando el 30% del área de la Unidad Experimental), cuyas principales características en la profundidad de 0 a 10 cm, eran: pH (agua) = 5,7; 7,8% de Materia Orgánica; P disponible = 0,7 mg/kg (Bray1) y 3,8 mg/kg (Ácido Cítrico). La siembra se realizó al voleo sobre el tapiz, con 4 kg de semilla de trébol blanco (TB) cv. Zapicán (con 100% de germinación, peleteada con inoculante específico y carbonato de calcio). La vegetación nativa fue preacondicionada por dos cortes a una altura aproximada a 4 cm con rotativa experimental y con la aplicación de 2 l/ha de Glifosato (tratando de no afectar significativamente los componentes del tapiz), veinte días previo a la siembra, de manera de debilitar sus componentes y facilitar el contacto semilla-suelo. El trabajar con dicha leguminosa, obedeció a dos factores principales: a) que es generalizadamente utilizada en las pasturas mejoradas en

suelos medios y profundos sobre Basalto y b) que es una leguminosa particularmente sensible a la disponibilidad de fósforo. La evaluación del ensayo se extendió hasta cumplido el cuarto año de vida del mejoramiento, considerándose cada año el período comprendido entre dos otoños consecutivos, a partir del de la siembra.

2.2. Diseño, tratamientos y análisis estadístico

Se trabajó en un diseño factorial, de tres fuentes y cuatro dosis iniciales de fósforo (P), en parcelas divididas con cuatro repeticiones. El primer año existieron 48 parcelas de 4 x 5 m y a partir del segundo año, luego de la subdivisión, se contó con 96 parcelas de un tamaño final de 2 x 5 m. Las parcelas menores comprendieron dos niveles de refertilización anual, de cada fuente en cada nivel inicial.

Los tratamientos incluyeron cuatro niveles iniciales, 0-40-80 y 160 kg P₂O₅/ha, a partir de tres fuentes: Superfosfato de calcio (S) (0 - 21/23 - 0 + 13% S), Fosforita Natural (FN) (0 - 10/28 - 0) e Hyperfos (Hy) (0- 13/27-0 + 4% S). Debe mencionarse que originalmente los tratamientos incluían al Superfosfato Triple (0-46/46-0), pero debido a problemas detectados durante las evaluaciones, se tomó la decisión de eliminarlo de este trabajo. A partir del segundo año, los dos niveles de aplicación anual empleados, fueron 0 y 40 kg P₂O₅/ha de cada fertilizante en sus respectivas parcelas.

A los 80 días de la siembra, se realizó un conteo del número de plántulas establecidas por metro cuadrado (empleando tres cuadros de 0,075 m² por parcela). Luego, la evaluación se realizó simulando pastoreo rotativo, mediante cortes periódicos con pastera rotativa experimental, cuando el forraje alcanzaba aproximadamente 15-20 cm de altura y dejando un remanente de unos 4-5 cm. Una muestra del forraje cortado se llevaba a estufa de aire forzado a 80° C hasta peso constante, para determinar materia seca (MS). En cada corte se estimó la composición botánica (CB) del forraje, separando las siguientes fracciones: a) leguminosa, b) gramíneas,

c) malezas y d) restos secos, si los había. Las determinaciones se realizaron por una combinación de apreciación visual «in situ» y análisis gravimétrico, luego de la separación manual en laboratorio.

Para el análisis estadístico de los registros de producción obtenidos durante el período experimental de cuatro años, se realizaron análisis de varianza (SAS, 2001). A su vez, para el rendimiento de forraje de la leguminosa, se ajustaron regresiones de cada una de las fuentes evaluadas en las dosis iniciales, para las situaciones sin y con refertilización; se determinó la significación de dichas regresiones. Cuando el término cuadrático no realizaba un aporte significativo, se utilizó el ajuste lineal. Asimismo, existiendo diferencia significativa entre fuentes, a partir de las ecuaciones ajustadas y con significación estadística, se calculó la eficiencia relativa entre las distintas fuentes, según procedimiento detallado por Morón (2002). En el caso particular del cálculo de eficiencia de las fuentes en las refertilizaciones, las comparaciones se realizaron tomando en consideración el total de P aplicado en la fertilización inicial más el aplicado en las refertilizaciones.

Con el objetivo general de presentar una información complementaria más práctica y de grandes tendencias, en algunos casos se calculó la eficiencia productiva medida como kgMS total o de TB/kg P_2O_5 , por medio de regresiones lineales para el promedio de las fuentes evaluadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Establecimiento inicial

Favorecido por las importantes precipitaciones de otoño-invierno de ese año (Bemhaja y Antúnez, 2000) y la alta densidad de siembra, a fines de esta estación se constató en todos los tratamientos un adecuado establecimiento del trébol blanco sembrado (Figura 1).

Se observa que en general se logró el establecimiento de un alto número de plántulas por m^2 para conformar la base de una buena pastura mejorada; asimismo, no se detectaron diferencias importantes ni tendencias consistentes, debidas a la fuente o nivel de P utilizados en esa temprana determinación.

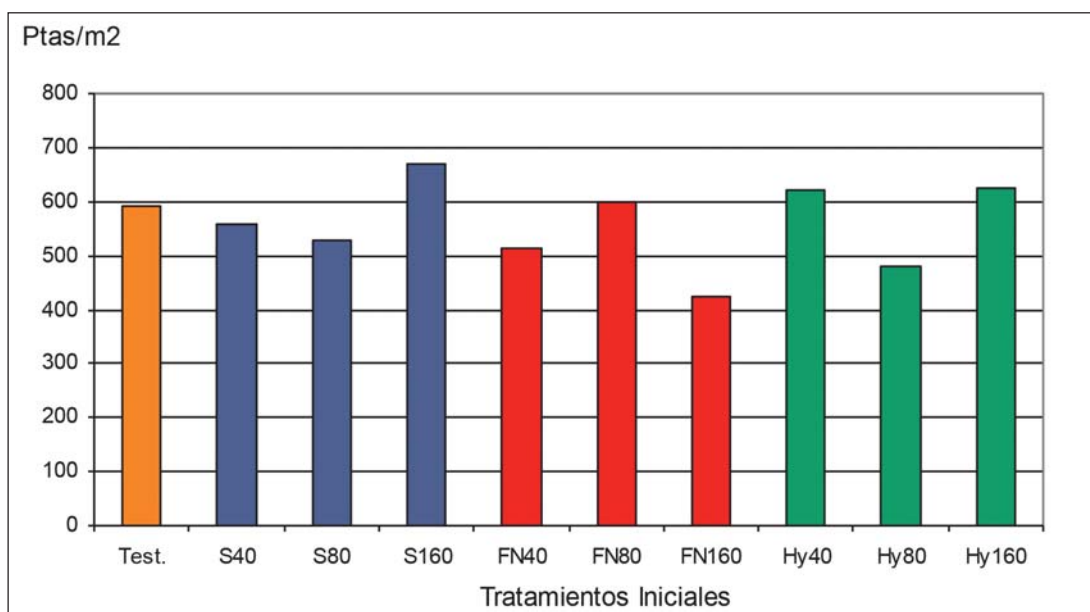


Figura 1. Plántulas de TB/ m^2 a 80 días de la siembra en los distintos tratamientos. Test: Testigo; S40: Super 40 kgP_2O_5/ha ; S80: Super 80 kgP_2O_5/ha ; S160: Super 160 kgP_2O_5/ha ; FN 80: fosforita natural 80 kgP_2O_5/ha ; FN 160: fosforita natural 160 kgP_2O_5/ha ; Hy40: hyperfos 40 kgP_2O_5/ha ; Hy80: hyperfos 80 kgP_2O_5/ha ; Hy160: hyperfos 160 kgP_2O_5/ha .

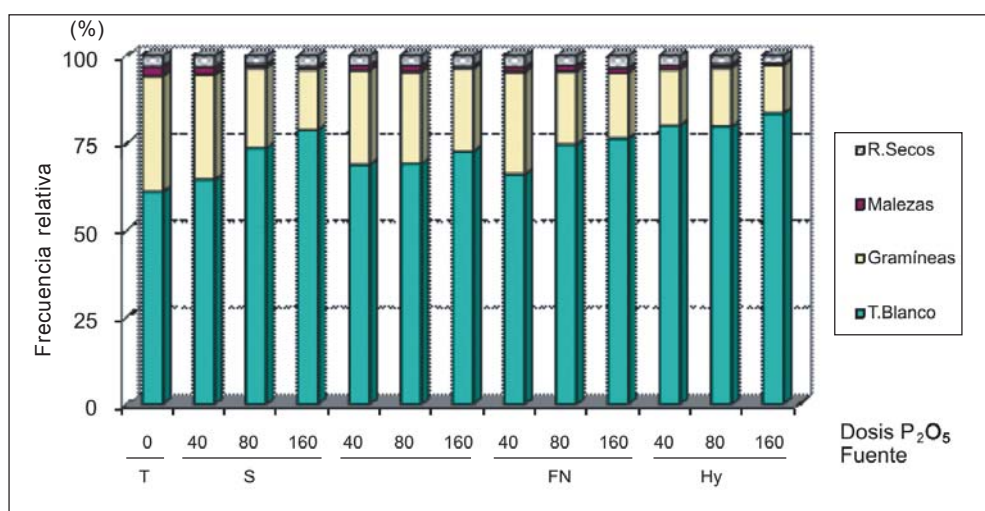


Figura 2. Composición botánica del mejoramiento con TB, en los distintos tratamientos durante la primavera del primer año.

La presencia de TB en los distintos tratamientos siguió una evolución favorable, lo que se evidenció en el registro de composición botánica al momento del primer corte, avanzada la primavera (Figura 2).

Se registró una alta proporción de la leguminosa aún en el Testigo, si bien ya en ese momento se percibía en general una respuesta positiva a la incorporación de P en las distintas fuentes, aunque sin tendencias claramente consistentes entre tratamientos. Para la fuente más soluble, S se registró una respuesta creciente más definida en la proporción de trébol que en la fuente de solubilidad intermedia (Hy), mientras que en la FN no se observó dicha diferencia.

3.2. Producción acumulada de cuatro años

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el total del período de

cuatro años acumulados, en forraje total de la pastura (leguminosa + vegetación nativa) y especialmente en forraje de la fracción leguminosa (TB). Posteriormente se presentarán, de igual forma los resultados del segundo y tercer año de vida del mejoramiento, con mayor incidencia en esa producción acumulada y comportamiento general.

Forraje total sin refertilización

En el total del período experimental de cuatro años, el rendimiento promedio de forraje total fue de 23.550 kgMS/ha, con un efecto bajo pero significativo de la incorporación inicial de fósforo y sin diferencias estadísticas entre las fuentes empleadas (Cuadro 1).

En el Testigo que nunca recibió P se destaca un razonable aporte de la leguminosa, incrementando la producción de forraje total de ese tratamiento. En consecuencia, ese rendimiento resultó más elevado que el de la

Cuadro 1. Producción acumulada (kgMS/ha) de forraje total del mejoramiento de campo con trébol blanco, con diferentes dosis y fuentes de fósforo a la siembra, sin refertilizar.

Dosis (kg P ₂ O ₅ /ha)	S	FN	Hy	Promedio
0	22.080	22.080	22.080	22.080
40	24.147	23.744	21.594	23.161
80	26.762	23.402	22.901	24.355
160	25.796	24.299	23.710	24.602

vegetación nativa representativa de suelos de la Unidad Queguay Chico. Al respecto, la información promedio de 15 años del campo natural, fue de una productividad de 3.700 y 4.500 kg de MS/ha/año, para suelos superficiales negros y profundos, respectivamente (Berretta y Bemhaja, 1998).

Resulta interesante analizar la eficiencia global de la fertilización inicial fosfatada en el comportamiento de la pastura en el período del ensayo. Para su estimación, se tiene en cuenta el promedio de las fuentes para la producción total, con las aplicaciones iniciales de fertilizante. En este caso se consideró la situación sin refertilizar, habiéndose obtenido una respuesta lineal ($y = 14,88x + 22.540$; $R^2 = 0,84$) a la aplicación del fertilizante. A partir de la pendiente en la ecuación, se concluye que en promedio, la respuesta (en forraje total) al P incorporado inicialmente, fue baja, de 14,9 kg MS/kg P_2O_5 cuando se evaluó para el período total.

Forraje total con refertilización

Cuando se refertilizó anualmente con una dosis uniforme de 40 kg P_2O_5 /ha/año, el rendimiento de forraje total fue más elevado, con un promedio de 27.544 kgMS/ha, aunque nuevamente sin diferencias significativas entre fuentes de P, como se desprende del Cuadro 2.

Como resultado del análisis estadístico en producción de forraje total, ambos Coeficientes de Variación (C.V. de parcelas mayores y menores) fueron bajos, de 9,7%, y 7,7%, respectivamente, habiéndose detectado un efecto altamente significativo ($P < 0,01$) de la fertilización inicial y de la refertilización anual. Considerando las dosis iniciales más la aplicada anualmente (todo el P agregado), la respuesta en forraje total, obtenida de la ecuación correspondiente

($y = 23,901x + 23.003$; $R^2 = 0,87$), fue de 23,9 kgMS/kg P_2O_5 , para el período total de cuatro años. Esta respuesta es mayor a la obtenida en la situación anterior, seguramente por el efecto favorable de las aplicaciones anuales en el comportamiento del TB, que promovió una mayor producción en cada nivel inicial.

Para estimar el efecto de la refertilización (tres aplicaciones de 40 kg P_2O_5 /año), se trabajó a partir de la diferencia entre el rendimiento promedio de forraje total con sus refertilizaciones anuales, del que se restó el obtenido en el mismo período sólo con la fertilización inicial y al valor resultante se lo dividió entre los 120 kg P_2O_5 manejados en las refertilizaciones. Las respuestas obtenidas en este caso, involucran una eficiencia de la refertilización de 33,3 kgMS de forraje total/kg P_2O_5 aplicado durante los tres últimos años del período.

Forraje de leguminosa sin refertilización

En lo previo cabe señalar que a pesar de períodos de condiciones ambientales poco favorables (escasas precipitaciones y/o elevadas temperaturas) promediando el año de siembra y hacia el final del período experimental, el trébol blanco presentó buen establecimiento y desarrollo, así como una interesante persistencia.

En esta situación sin agregado anual de P, el rendimiento promedio del TB fue de 9.059 kgMS/ha, con una clara tendencia creciente al incrementarse la dosis inicial y con una tendencia favorable a FN, pero sin significación estadística (Cuadro 3).

Existió un efecto altamente significativo ($P < 0,01$) de la fertilización inicial en el rendimiento de la leguminosa, alcanzándose los 58,0 kg de forraje de TB/kg P_2O_5 , para el pro-

Cuadro 2. Producción acumulada (kg MS/ha) de forraje total del mejoramiento de campo con trébol blanco, con diferentes dosis y fuentes de fósforo a la siembra, refertilizado.

Dosis (kg P_2O_5 /ha)	S	FN	Hy	Promedio
0 + 40 + 40 + 40	25.750	23.221	27.505	25.492
40 + 40 + 40 + 40	25.735	27.332	29.989	27.685
80 + 40 + 40 + 40	27.683	26.214	27.868	27.255
160 + 40 + 40 + 40	28.554	31.022	29.659	29.745

Cuadro 3. Producción acumulada (kg MS/ha) de forraje de TB del mejoramiento de campo, con diferentes dosis y fuentes de fósforo a la siembra, sin refertilizar.

Dosis (kgP ₂ O ₅ /ha)	Super	FN	Hy	Promedio
0	3.617	3.617	3.617	3.617
40	6.527	8.585	7.493	7.535
80	10.752	11.431	11.019	11.067
160	12.885	15.339	13.470	13.898

medio de las fuentes utilizadas, de acuerdo a la correspondiente ecuación ($y = 58,018x + 5.218$; $R^2 = 0,96$). En el total del período experimental se constata un fuerte y significativo ($P < 0,05$) efecto residual de los niveles iniciales en producción de forraje de la leguminosa (según se discute para cada año en particular), con la dosis más alta triplicando el rendimiento del Testigo, con-

cordante con otros autores (Morón, *et al.*, 1985; Risso, 1990; Risso y Morón, 1993; Quintero *et al.*, 1997; Bermúdez *et al.*, 2004). En otro trabajo, se ha encontrado una menor residualidad (Zamalvide, 1998).

En la Figura 3 y Cuadro 4, se presentan las curvas de respuesta y ecuaciones de regresión del rendimiento de la leguminosa para los distintos tratamientos.

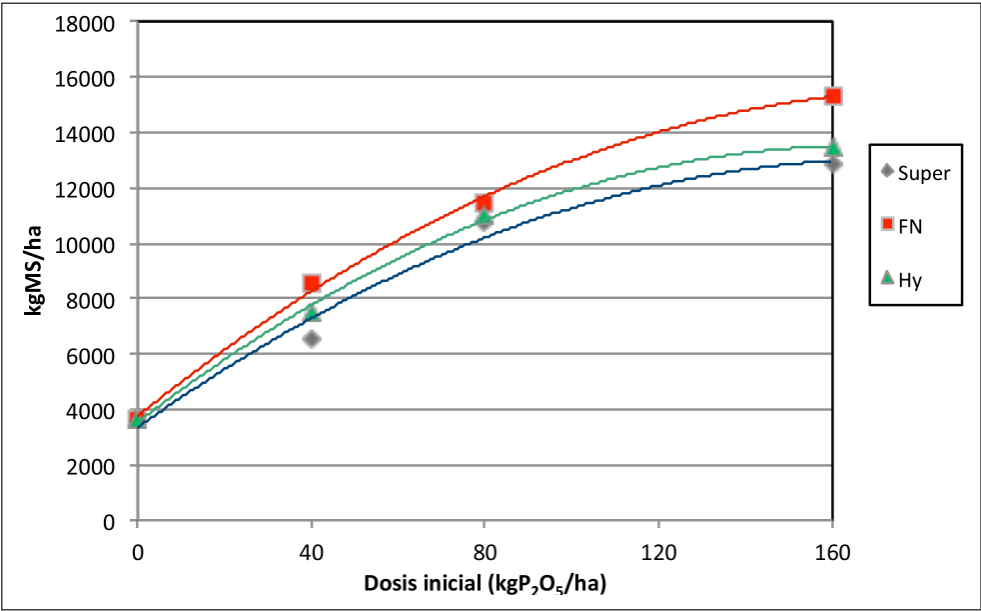


Figura 3. Respuesta en producción acumulada de forraje de TB (kgMS/ha), a diferentes dosis de fertilización inicial (kgP₂O₅/ha), en el mejoramiento de campo, sin refertilizar.

Cuadro 4. Ecuaciones de respuesta del TB a la fertilización inicial, sin refertilizar (acumulado cuatro años).

Fuente	b0	b1	b2	R ²	Significancia
S	3732,9	101,87	-0,27	0,98	***
FN	4137,8	117,01	-0,29	0,99	***
Hy	3916,2	110,98	-0,32	0,99	**

*** Significativa $P < 0,01$; ** Significativa $P < 0,05$.

Para las tres fuentes se observa (Cuadro 4) un buen ajuste de las ecuaciones de predicción, así como una marcada respuesta general a las dosis iniciales, a pesar de haberse registrado condiciones ambientales limitantes en distintas etapas de la vida de la pastura, como a finales del primer año-comienzos del segundo, etc.

Cabe destacar que a pesar de no comprobarse diferencia significativa entre fuentes, en el análisis de varianza general, las regresiones son significativas, observándose una tendencia a mayores respuestas para la FN. Al respecto, a partir de estas curvas de respuesta para cada fuente, se calculó la eficiencia relativa de las mismas en los distintos niveles, para el rendimiento acumulado de forraje de leguminosa, sin refertilización (Cuadro 5) tomando como referencia al Superfosfato para cada dosis.

Es posible concluir que para el total del período experimental, las fuentes menos solubles (Hy y FN) fueron más eficientes que S, resultando a su vez la FN en mayores eficiencias que Hy en las dosis iniciales menores.

Forraje de leguminosa con refertilización

Para el caso de refertilización anual con un nivel uniforme (40 kgP₂O₅/ha), se alcanzó un rendimiento promedio de leguminosa sen-

siblemente más alto (19.539 kgMS/ha), registrándose una tendencia creciente con la dosis inicial (Cuadro 6).

En términos generales, cabe señalar que partir de las respuestas y rendimientos obtenidos para el trébol blanco con las distintas dosis iniciales (con o sin refertilización), las producciones de forraje total (leguminosa + campo), no resultaron incrementadas de la forma que cabría esperar. Esta situación se explica por un efecto de sustitución en la composición botánica, en que la vegetación nativa parcialmente afectada por la aplicación inicial del herbicida y las adversas condiciones durante parte de los dos primeros años, sufrió la competencia de la leguminosa con fósforo. En consecuencia, no se observó en este caso, un efecto complementario como en general ocurre con el consecuente incremento productivo (Ayala *et al.*, 2001; Berretta *et al.*, 2001; Risso *et al.*, 2001).

El análisis estadístico en producción acumulada de forraje de leguminosa, generó los siguientes C.V., 25,1% (parcelas mayores) y 12,5% (subparcelas). Existió un efecto altamente significativo ($P < 0,01$) de las dosis a la siembra y de las aplicaciones anuales. Esta importante respuesta del TB a la fertilización inicial y la refertilización, resultó en promedio de todos los fertilizantes de 67,2 kgMS/kgP₂O₅, de acuerdo a la correspondiente ecuación de regresión

Cuadro 5. Eficiencia relativa de distintas fuentes y dosis de fósforo, para producción acumulada (cuatro años) de forraje de leguminosa sin refertilización.

Fuente	Dosis Iniciales de P ₂ O ₅ /ha		
	40	80	160
Superfosfato	100	100	100
Fosforita Natural	138	138	126
Hyperfos	121	120	126

Cuadro 6. Producción acumulada (kg MS/ha) de forraje de trébol blanco del mejoramiento de campo, con diferentes dosis y fuentes de fósforo, refertilizado.

Dosis (kgP ₂ O ₅ /ha)	Super	FN	Hy	Promedio
0 + 40 + 40 + 40	14.022	12.335	15.170	13.842
40 + 40 + 40 + 40	15.979	19.335	19.625	18.313
80 + 40 + 40 + 40	20.233	20.534	22.262	21.010
160 + 40 + 40 + 40	23.063	27.599	24.308	24.990

($y = 67,21x + 6.770$; $R^2 = 0,96$). En esta situación, se calculó la eficiencia global de la refertilización del TB, que resultó elevada, alcanzando los 87,3 kg MS/kgP₂O₅ incorporado en los distintos tratamientos durante el período experimental.

En la Figura 4 y Cuadro 7, se presentan las curvas de respuesta y ecuaciones de regresión del rendimiento de TB para los distintos tratamientos.

En general se comprueba un buen ajuste de las ecuaciones de predicción y alta significación de las mismas.

En el Cuadro 8 se presentan las eficiencias relativas de las distintas fuentes, estimadas a partir de las curvas de respuesta en cada nivel inicial.

En el total de los cuatro años del período experimental, la respuesta en forraje de TB al fósforo total aplicado con Hy y FN resultó sensiblemente más eficiente que cuando se utilizó S.

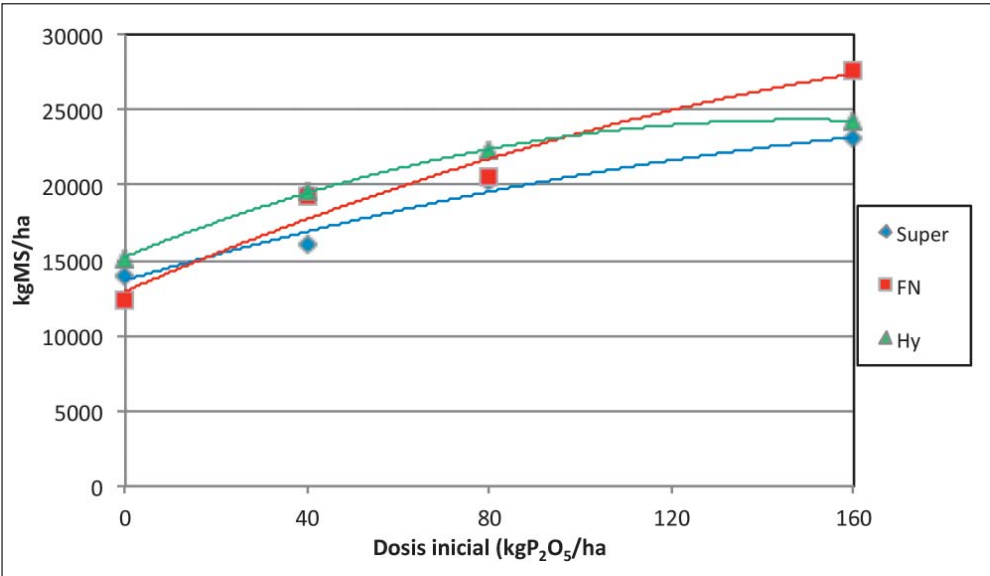


Figura 4. Respuesta en producción acumulada de forraje de TB (kgMS/ha), a diferentes dosis de fertilización inicial (kgP₂O₅/ha), en el mejoramiento de campo, refertilizado.

Cuadro 7. Ecuaciones de respuesta del TB (kg de MS/ha) a la fertilización inicial, refertilizado (acumulado cuatro años).

Fuente	b0	b1	b2	R ²	Significancia
S	13.688	85,65	-0,15	0,95	***
FN	12.938	129,62	-0,25	0,96	***
Hy	15.232	122,2	-0,41	0,99	***

*** Significativa P<0,01.

Cuadro 8. Eficiencia relativa de distintas fuentes y dosis de fósforo, para producción acumulada (cuatro años) de forraje de leguminosa, refertilizado.

Fuente	Dosis Iniciales de P ₂ O ₅ /ha		
	40	80	160
Superfosfato	100	100	100
Fosforita Natural	112	128	165
Hyperfos	161	162	180

Esta elevada eficiencia relativa, estaría relacionada a diversos factores, entre los que las características de la propia planta serían importantes. Esto estaría respaldado por las conclusiones de la revisión de Khasawneh y Doll (1978) respecto de diferentes capacidades de las plantas para utilizar las fosforitas, lo que también está en acuerdo con otros autores (Kamh *et al.*, 1999; Horst *et al.*, 2001). En el presente caso existirían factores diferenciales del TB para utilizar estas fuentes, como una importante capacidad de acidificación de la rizósfera y/o una mayor absorción de calcio y fósforo de esta leguminosa con respecto a otras (*Lotus corniculatus*). Otros trabajos también sugieren una mayor eficiencia de TB y *Lotus subbiflorus* en su capacidad de utilización de fuentes no solubles, que en parte estaría también asociada a un sistema radicular más superficial (Morón, 2002; Risso *et al.*, 2002).

Como resumen del análisis de la producción acumulada para el período de cuatro años, se destaca la buena productividad de la leguminosa, la importante respuesta a la incorporación de P, tanto inicial como anualmente. Asimismo, la eficiencia relativa fue superior para las fuentes menos solubles en el rendimiento de la leguminosa.

En este sentido, cabe señalar sin embargo que información anterior para suelos sobre Basalto empleando *Lotus corniculatus* o la mezcla de éste con trébol blanco, registraban ventajas comparativas para el uso de S (Morón *et al.*, 1982; Bemhaja, 1998; Zamalvide, 1998).

Considerando que el pH y otras características del suelo utilizado estarían en el límite superior, o serían incluso desfavorables (calcio) para una razonable eficiencia de las fuentes menos solubles, es del caso presentar algunas posibles causas para la respues-

ta diferencial en el presente trabajo. Existen factores que disminuirían la eficiencia de las fuentes menos solubles, como su uso en forma granulada, períodos prolongados de déficit hídrico que limitarían su solubilización y además el desarrollo del trébol blanco. Asimismo, algunas especies de leguminosa como *Lotus corniculatus* (como ya se mencionara), tendrían menos habilidad para solubilizar fuentes no solubles, respondiendo mejor al S.

3.3. Segundo año

Forraje total sin refertilización

En el comienzo del segundo año, se mantuvieron las condiciones adversas, para luego revertirse, lo que significó que se obtuvieran producciones de forraje superiores al primer año, aunque se constató una lenta y parcial recuperación de la vegetación nativa del tratamiento presiembra, pero siempre con baja incidencia de malezas. No obstante ello, para el todo el año no se registraron diferencias importantes entre las fuentes de fósforo administrada (Cuadro 9).

En este caso, para el promedio de las fuentes se aprecia una mejora en los rendimientos de acuerdo a las dosis aplicadas, evidenciando un efecto residual, coincidente con lo discutido. Desde un punto de vista agronómico, la diferencia importante es sólo entre el Testigo y la dosis más elevada, que escapa a los rangos usualmente empleados.

Forraje total con refertilización

Cuando se refertilizó de manera uniforme con 40 kgP₂O₅/ha de las distintas fuentes, en todos los tratamientos se alcanzaron niveles productivos sensiblemente mayores que respecto a la situación anterior (Cuadro 10).

Cuadro 9. Producción anual de forraje total (kgMS/ha) de un mejoramiento con TB, con distintas dosis iniciales y fuentes de P, sin refertilizar, al segundo año.

Dosis (kgP ₂ O ₅ /ha)	S	FN	Hy	Promedio
0	4.532	4.532	4.532	4.532
40	5.220	5.641	4.223	5.027
80	5.845	5.598	5.863	5.768
160	6.791	7.376	7.117	7.094

Cuadro 10. Producción anual de forraje total (kg MS/ha) del mejoramiento con trébol blanco, con distintas dosis iniciales y fuentes de P, refertilizado, al segundo año.

Dosis (kgP ₂ O ₅ /ha)	S	FN	Hy	Promedio
0 + 40	5.784	6.229	6.599	6.203
40 + 40	7.035	7.286	6.723	7.014
80 + 40	7.605	7.026	7.756	7.462
160 + 40	8.575	8.218	8.740	8.510

Se registró un efecto interesante de la refertilización. Para el promedio de fuentes además, existió una tendencia positiva en el rendimiento de forraje, de acuerdo a las dosis iniciales, correspondiendo a un efecto residual de esa fertilización a la siembra.

Forraje de leguminosa sin refertilización

Estudiando la producción de segundo año del TB sin refertilizar, tampoco se constataron diferencias entre fuentes, pero resultó claro el efecto residual de las distintas dosis aplicadas el año anterior (Cuadro 11).

Se observa que, aunque en niveles productivos acotados, el rendimiento de la leguminosa fue creciente y superior al primer año. En la Figura 5 y Cuadro 12 asimismo, se visualizan gráficamente las curvas de respuesta y correspondientes ecuaciones de regresión.

Se destaca que habiendo transcurrido más de un año desde la aplicación de los tratamientos y con una mejora en la disponibilidad de humedad, las fuentes menos solubles (Hy, FN) presentaron un comportamiento muy similar a S.

Se alcanzó un buen ajuste general, con alta significación de las regresiones, excepto en el caso de FN.

Cuadro 11. Producción anual de forraje de TB (kg MS/ha) en el mejoramiento con diferentes dosis y fuentes de P, sin refertilizar, al segundo año.

Dosis (kg P ₂ O ₅ /ha)	S	FN	Hy	Promedio
0	1.154	1.154	1.154	1.154
40	2.136	2.749	2.330	2.405
80	3.708	3.245	3.451	3.468
160	4.568	5.116	4.710	4.797

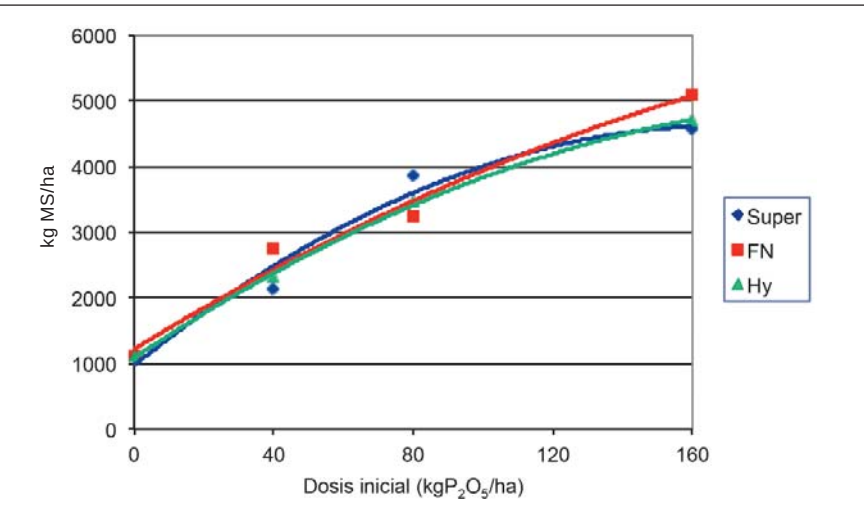


Figura 5. Respuesta en producción de forraje de TB, a la fertilización fosfatada inicial del mejoramiento de segundo año, sin refertilizar.

Cuadro 12. Ecuaciones de respuesta del trébol blanco a la fertilización inicial, sin refertilizar, al segundo año.

Fuente	b0	b1	b2	R ²	Significancia
S	978,7	42,86	-0,13	0,97	***
FN	1229,2	32,21	-0,05	0,97	NS
Hy	1093,1	35,4	-0,08	0,99	***

*** Significativa $P < 0,01$; NS: no significativa.

Forraje de leguminosa con refertilización

La refertilización uniforme con 40 kgP₂O₅/ha provocó una mayor expresión productiva de la fracción TB del mejoramiento, en todas las fuentes y dosis evaluadas, (Cuadro 13).

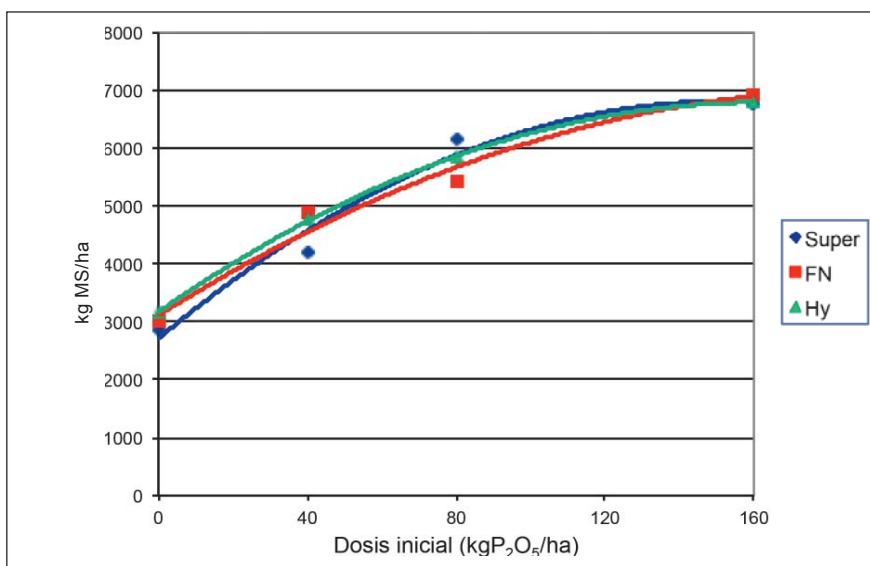
Los CV para parcelas mayores (21,2%) y subparcelas (15,8%), fueron razonablemente bajos, a pesar de lo cual no existieron diferencias significativas entre fuentes. Con un mejor rendimiento de la leguminosa en todos los niveles iniciales, se registró un

efecto altamente significativo ($P < 0,01$) de la fertilización inicial y de la refertilización anual, sin diferencias entre fuentes. Es de destacar que esta única aplicación de 40 kg P₂O₅/ha al nivel inicial 0 (Testigo), promovió una interesante producción de forraje de la leguminosa (3 ton MS/ha).

En las curvas de respuesta (Figura 6), se observa el comportamiento similar de las fuentes evaluadas y un efecto residual que, aunque atenuado por la refertilización, es aún importante, concordando con otros trabajos (Risso, 1994; Berardo y Marino, 2000).

Cuadro 13. Producción anual de forraje de TB (kgMS/ha) en el mejoramiento con diferentes dosis y fuentes de P, refertilizado, al segundo año.

Dosis (kgP ₂ O ₅ /ha)	S	FN	Hy	Promedio
0 + 40	2.860	2.997	3.169	3.008
40 + 40	4.216	4.884	4.775	4.624
80 + 40	5.813	5.429	5.839	5.693
160 + 40	6.765	6.941	6.798	6.834

**Figura 6.** Curvas de respuesta en producción de forraje de TB, a la fertilización fosfatada en el mejoramiento de segundo año, refertilizado.

Cuadro 14. Ecuaciones de respuesta de TB a la fertilización inicial, refertilizado, segundo año.

Fuente	b0	b1	b2	R ²	Significancia
S	2779,2	46,71	-0,14	0,97	***
FN	3117,8	40,2	-0,10	0,98	***
Hy	3181,9	44,4	-0,14	0,99	***

*** Significativa $P < 0,01$.

También en este caso se logró un ajuste alto y similar para las distintas fuentes, presentándose las regresiones en el Cuadro (14).

Como en este caso también existieron pequeñas diferencias puntuales entre fuentes, que no alcanzaron la significación, no se presenta la estimación de las respectivas eficiencias relativas.

Como resumen para el segundo año, cabe destacar que si bien no existieron diferencias entre las fuentes, todos los tratamientos fertilizados a la siembra determinaron incrementos importantes en producción de forraje total y de TB, que fueron crecientes con las dosis. Se registró un importante y significativo efecto de la refertilización anual sobre la producción total de forraje en general.

3.4. Tercer año

Forraje total sin refertilización

Los rendimientos totales de forraje, registrados a partir de una mejora de las condiciones climáticas, fueron destacados en todos los casos analizados y considerablemente superiores en relación a los dos primeros años de evaluación, como se muestra para esta situación sin refertilizar (Cuadro 15).

No existieron diferencias entre fuentes, para la producción total de materia seca, así

como tampoco entre niveles iniciales. Esto indicaría que en este tercer año, no se mantendría un efecto residual debido a los diferentes niveles iniciales de fertilización. Sin embargo, la composición botánica de dicho forraje varió significativamente según las dosis iniciales de fósforo agregado. El trébol blanco en el tratamiento testigo representaba un 18% de la materia verde total, pasando a valores del 56% de cobertura para la dosis mayor de fertilización (160 kgP₂O₅/ha).

Forraje total con refertilización

Con registros (para el promedio de dosis y fuentes) de 12.564 y 11.206 kg MS/ha en los tratamientos con y sin refertilización respectivamente, en este año se constató un efecto acotado pero significativo ($P < 0,05$) de la refertilización (40 kgP₂O₅/ha/año) sobre la producción de forraje total del mejoramiento. En el Cuadro 16 se detallan los rendimientos según tratamientos.

En esta situación, tampoco se constató efecto residual de los diferentes niveles aplicados a la siembra en la producción de forraje total. En lo que se refiere a la composición botánica de la pasturas, existió un efecto más marcado (que en la materia seca total sin refertilización) en los que se refiere a la sustitución de las gramíneas nativas por trébol blanco, aún en las dosis más bajas de fertilización inicial.

Cuadro 15. Producción anual de forraje total (kgMS/ha) del mejoramiento con TB, con distintas dosis iniciales y fuentes de P, sin refertilizar, tercer año.

Dosis (kgP ₂ O ₅)	S	FN	Hy	Promedio
0	11.240	11.240	11.240	11.240
40	11.645	11.436	11.277	11.452
80	12.827	10.922	10.782	11.510
160	10.982	10.687	10.190	10.620

Cuadro 16. Producción anual de forraje total (kgMS/ha) del mejoramiento con trébol blanco, con distintas dosis iniciales y fuentes de P, refertilizado, al tercer año.

Dosis (kgP ₂ O ₅)	S	F	NHy	Promedio
0 + 40 + 40	12.570	10.791	13.802	12.388
40 + 40 + 40	10.812	12.544	15.621	12.992
80 + 40 + 40	12.628	11.831	13.012	12.490
160 + 40 + 40	12.058	15.041	13.996	13.699

Forraje de leguminosa sin refertilización

Con las mejora en condiciones ambientales, se registró una interesante producción y respuesta del TB (Cuadro 17).

Se encontró diferencia significativa ($P < 0,05$) entre las fuentes de P evaluadas, que presentaron rendimientos para cada una de las dosis iniciales, en el siguiente

orden: FN>Hy>S. Las respuestas en cada caso se presentan en la Figura 7.

Debe mencionarse que es en este tercer año desde la aplicación del fertilizante a la siembra, donde se presenta por primera vez una clara superioridad de las fuentes menos solubles. Se observa además, que en esta oportunidad resultó evidente un interesante efecto residual. En el Cuadro 18, se presen-

Cuadro 17. Producción anual de forraje de TB (kgMS/ha) en el mejoramiento con diferentes dosis y fuentes de P, sin refertilización, al tercer año.

Dosis (kgP ₂ O ₅)	S	FN	Hy	Promedio
0	1.926	1.926	1.926	1.926
40	2.786	4.088	3.711	3.528
80	4.794	5.568	5.328	5.230
160	5.202	6.933	5.853	5.996

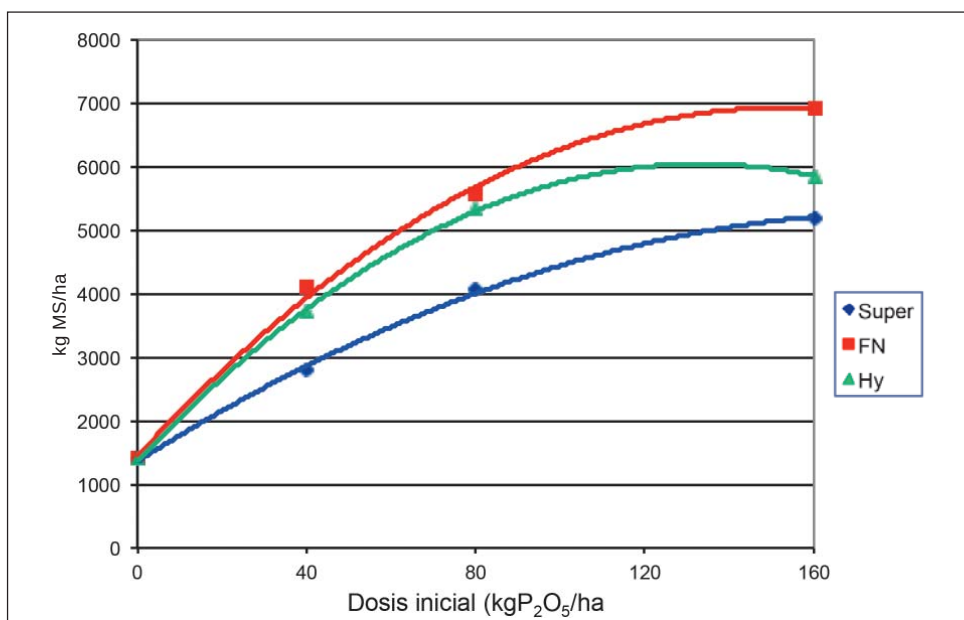


Figura 7. Respuesta en producción de forraje de TB, a la fertilización fosfatada a la siembra en el mejoramiento de tercer año, sin refertilizar.

Cuadro 18. Ecuaciones de respuesta de TB a fertilización inicial, sin refertilizar, al tercer año.

Fuente	b0	b1	b2	R ²	Significancia
S	1733,9	44,86	-0,14	0,94	*
FN	1938,2	60,18	-0,18	0,99	***
Hy	1865,9	52,53	-0,21	0,99	*

*** Significativa $P < 0,01$; * Significativa $P < 0,1$.

Cuadro 19. Eficiencia relativa de distintas fuentes y dosis de fósforo a la siembra, para producción de forraje de leguminosa en el tercer año, sin refertilización.

Fuente	Dosis Iniciales de P_2O_5 /ha		
	40	80	160
Superfosfato	100	100	100
Fosforita Natural	164	167	228
Hyperfos	148	149	164

tan las distintas ecuaciones de predicción y su significancia.

Considerando los resultados obtenidos, a partir de estas ecuaciones se estimó la eficiencia relativa de cada fuente, para los distintos niveles iniciales empleados, confirmando lo discutido anteriormente (Cuadro 19).

Se comprueban importantes diferencias en favor de la FN y el Hy respecto del S, para todos los niveles iniciales evaluados. En términos muy generales, en este año la eficiencia de esas fuentes es entre 50 y 100% superior a la de la fuente soluble. Cabe destacar entonces que, a pesar que el suelo donde se condujo el trabajo no presenta las propiedades más favorables para las fuentes poco solubles, su eficiencia mejoró con el tiempo transcurrido, para superar la del S.

Forraje de leguminosa con refertilización

La refertilización (40 kg P_2O_5 /ha) determinó un importante aumento en la producción de forraje de trébol blanco durante el tercer año (Cuadro 20).

Del análisis estadístico para este año, resultaron los siguientes CV de 36,7% para parcelas mayores y de 19,9% subparcelas. Nuevamente se comprobó diferencia significativa ($P < 0,05$) entre fuentes, a favor de las menos solubles. Por otra parte, se registró un efecto altamente significativo ($P < 0,01$) de las dosis iniciales, así como de la refertilización anual. Como consecuencia, el rendimiento promedio de TB, que sin agregado anual del nutriente fue de 4.170 kgMS/ha, pasó a 9.155 kgMS/ha. Cuando no se aplicó P a la siembra, pero sí en cada uno de los dos años subsiguientes (Testigo refertilizado con 40 kg P_2O_5 /ha), se alcanzó una producción de la leguminosa muy similar a la obtenida con la dosis inicial mayor (160 kg P_2O_5 /ha), sin refertilización. Los registros presentados, permiten destacar el decisivo rol de la aplicación anual de mantenimiento, en el comportamiento productivo de estas pasturas, determinando importantes incrementos aún en las dosis iniciales más altas lo que a su vez es coincidente con lo encontrado y discutido en otras situaciones y ya expresado anteriormente.

Cuadro 20. Producción anual de forraje de TB (kgMS/ha) en el mejoramiento con diferentes dosis y fuentes de P, refertilizado, al tercer año.

Dosis (kg de P_2O_5)	S	FN	Hy	Promedio
0 + 40 + 40	7.073	6.044	8.047	7.055
40 + 40 + 40	6.534	9.212	10.007	8.584
80 + 40 + 40	9.313	9.460	10.815	8.963
160 + 40 + 40	10.232	13.893	11.934	12.020

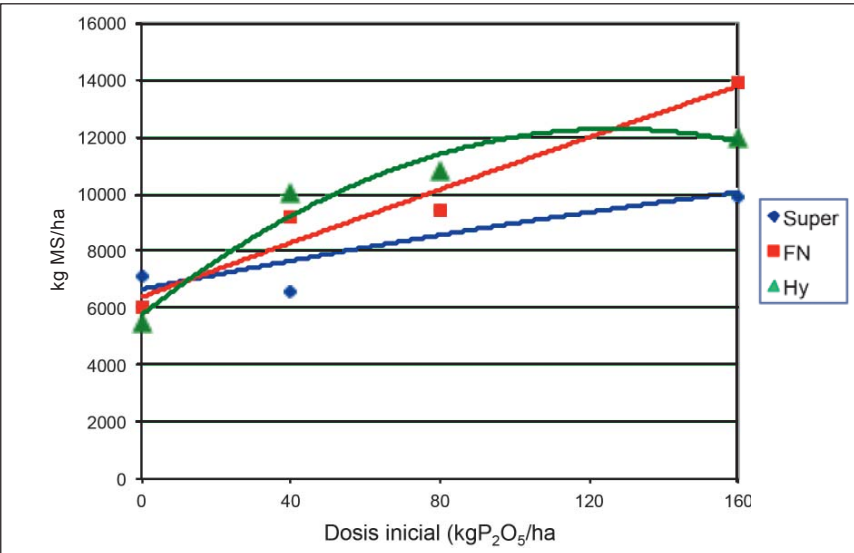


Figura 8. Respuesta en producción de forraje de TB, a la fertilización fosfatada en el mejoramiento de tercer año, refertilizado.

Cuadro 21. Ecuaciones de respuesta del trébol blanco a la fertilización inicial, refertilizado, al tercer año.

FUENTE	b0	b1	b2	R ²	Significancia
S	6.674,2	23,06	-	0,79	**
FN	6.390,3	47,89	-0,01	0,5	***
Hy	8.127,5	47,62	-0,15	0,9	NS

*** Significativa P<0,01; ** Significativa P<0,05; * Significativa P<0,1.

En la Figura 8 y Cuadro 21, se presentan las curvas de respuesta de la leguminosa a cada tratamiento.

Se observa además, que aún cuando atenuado por la refertilización, tres años después de la siembra se continúa evidenciando residualidad. Como se mencionara al comienzo del trabajo, dado que en el caso del S el término cuadrático no realizó un aporte de significación, se procedió a utilizar un ajuste lineal.

A partir de esta información, se calculó la eficiencia relativa de ambas fuentes, para los tratamientos refertilizados anualmente (Cuadro 22).

En este tercer año con buena disponibilidad de humedad, se destacan las altas

eficiencias relativas de la FN, lo que concuerda con otros resultados para suelos del Cristalino y Lomadas del Este (Risso, 1990; Bermúdez *et al.*, 2000).

En resumen, para el tercer año con mejores condiciones ambientales, se alcanzaron mayores niveles de producción total de forraje, si bien no se registraron efectos importantes por la incorporación inicial de fósforo y refertilizaciones. Esta situación se explica por el ya mencionado efecto de sustitución en la composición botánica. Por el contrario, el comportamiento de la leguminosa presentó una interesante respuesta a la fertilización fosfatada inicial e importantes incrementos productivos debidos a la aplicación anual del nutriente, destacando el

Cuadro 22. Eficiencia relativa de distintas fuentes y dosis de fósforo, para producción de forraje de leguminosa en el tercer año, refertilizado.

Fuente	Dosis Totales de P ₂ O ₅ /ha		
	40 + 40 + 40	80 + 40 + 40	160 + 40 + 40
Superfosfato	100	100	100
Fosforita Natural	158	178	189

decisivo rol de dosis moderadas de mantenimiento anual, aun en niveles iniciales altos, según ya fuera discutido.

Los fertilizantes no solubles al agua requieren un grado de acidez para transformar el P en formas químicas más solubles y utilizables por las plantas. También es conocido que el contenido de calcio intercambiable en estos suelos es relativamente elevado; éstas no serían las condiciones óptimas para lograr las máximas eficiencia de los fertilizantes no solubles al agua. Esto explicaría la dinámica de la eficiencia relativa de las fuentes, en las cuales el S prevalece en el primer año, luego en el segundo año las mismas tienen un comportamiento muy similar y en el tercer año existe un comportamiento superior de Hy y FN.

En el análisis de la producción de forraje de la leguminosa en los cuatro años, Hy como FN tanto sin, como con refertilización anual, presentan una tendencia a superar a la fuente soluble S. Este resultado sin embargo, es dinámico en el transcurso de la vida de la pastura. Inicialmente la fuente soluble presenta ventajas que en el correr del tiempo se van revirtiendo a favor de las fuentes menos solubles lo que estaría explicado por los procesos que sufren las distintas fuentes en estos suelos. La fuente soluble al agua tendría una mayor capacidad de suministro inmediato que con el transcurrir del tiempo disminuiría por las reacciones suelo - fertilizante (adsorción, precipitación), en particular en estos de suelos con altos porcentajes de arcilla y óxidos de hierro libres.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos en suelos sobre Basalto, llevan a destacar varios aspectos relevantes:

- El mejoramiento en base a TB con una adecuada estrategia de fertilización fosfatada, permitió obtener importantes niveles productivos con interesante persistencia.

- Para el promedio de las fuentes empleadas en el período de cuatro años evaluado, el TB evidenció una importante respuesta (58 kg MS/kgP₂O₅) a la fertilización inicial, con un marcado efecto residual.
- En el mismo período, a pesar de la residualidad, se obtuvo una alta respuesta del TB a la fertilización inicial combinada con refertilizaciones anuales, que fue de 67,2 kgMS/kgP₂O₅.
- En general, se alcanzó una alta eficiencia global de la refertilización en el rendimiento de forraje de TB, con 87,3 kgMS/kgP₂O₅.
- Complementariamente, de acuerdo a estos resultados para mejoramientos con TB se favorecería la utilización de fuentes no solubles en estos suelos, en base a dos consideraciones: a) tanto Fosforita natural como Hy presentaron una mayor eficiencia en la producción de la leguminosa en el total del período evaluado; b) el costo relativo del kg de P₂O₅ de esas fuentes respecto del superfosfato, se ha venido presentando sensiblemente inferior.
- Por último, cabe señalar que si en términos generales, se asumiera una respuesta promedio de 60 kgMS de TB, con una eficiencia de utilización en pastoreo del 60% y una eficiencia de conversión de 12-14 kgMS TB/kg de Peso Vivo de novillo producido, la fertilización fosfatada de estos mejoramientos y en estos suelos, resulta en una respuesta económica claramente positiva de acuerdo a los valores actuales para la carne y el fertilizante.
- Los resultados obtenidos, avalarían el desarrollo de trabajos más específicos referidos al estudio de diferentes estrategias de fertilización anual (con dosis variables de P₂O₅/ha), que permitan identificar el balance óptimo de gramínea/leguminosa en el tapiz natural, para de esta manera obtener una mayor producción, calidad y persistencia de materia seca por hectárea.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA, W.; BERMUDEZ, R.** 2005. Estrategias de manejo en campos naturales sobre suelos de lomadas en la región Este. En: Ayala, W.; Bermúdez, R. Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural. Montevideo: INIA. p. 41-50 (Serie Técnica; 151).
- AYALA, W.; BERMUDEZ, R.; CARAMBULA, M.; RISSO, D.F.; TERRA, J.** 2001. Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de Lomadas del Este. En: Risso, D. F.; Berretta, E. J. (eds.). Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos de Uruguay, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 69-108. (Boletín de Divulgación; 76).
- BEMHAJA, M.; BERRETTA, E.J.** 1991. Respuesta a la siembra de leguminosas en basalto profundo. En: Carámbula, M.; Vaz Martins, D.; Indarte, E. Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva. Montevideo: INIA. p. 103-114. (Serie Técnica; 13).
- BEMHAJA, M.** 1998. Mejoramiento de campo: fertilización fosfatada. En: Seminario de actualización en tecnologías para Basalto, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 75-82. (Serie Técnica; 102).
- BEMHAJA, M.; ANTUNEZ, J.** 2000. Estación meteorológica Glencoe: lluvia, evaporación y temperaturas máximas y mínimas promedio: 1999-2000. En: Jornada de Producción Animal y Pasturas en Basalto, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 5-7. (Serie Actividades de Difusión; 239).
- BERARDO, A.; MARINO, M.A.** 2000. Fertilización fosfatada de pasturas en el Sudeste Bonaerense. I Residualidad del P aplicado y efecto de las refertilizaciones anuales. Revista Argentina de Producción Animal, 20(2): 103- 111.
- BERMUDEZ, R.; CARAMBULA, M.; AYALA, W.** 2000. Estudio comparativo de diferentes fuentes y dosis de fósforo sobre el comportamiento productivo de un mejoramiento extensivo con Trébol blanco y Lotus. En: Jornada Anual de Producción Animal: Resultados Experimentales, INIA Treinta y Tres, Unidad Experimental Palo a Pique. Montevideo: INIA. p. 17-24. (Serie Actividades de Difusión; 225).
- BERMÚDEZ, R.; AYALA, W.; MORÓN, A.; MAS, C.** 2004. Residualidad del fósforo en mejoramientos de trébol blanco y lotus sobre un suelo de colinas. En: Seminario de actualización técnica: Fertilización fosfatada de pastura en la región Este, INIA Treinta y Tres. Montevideo: INIA. p. 101-107. (Serie Actividades de Difusión; 356).
- BERRETTA, E. J.; BEMHAJA, M.** 1998. Producción estacional de comunidades naturales sobre suelos de Basalto de la Unidad Queguay Chico. En: Berretta, E. J. (ed.). Seminario de actualización en tecnologías para Basalto, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 11-22. (Serie Técnica; 102).
- BERRETTA, E. J.; RISSO, D. F.; BEMHAJA, M.** 2001. Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de Basalto. En: Risso, D. F.; Berretta, E. J. (eds.). Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos de Uruguay, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 1-37. (Boletín de Divulgación; 76).
- BERRETTA, E.J.** 2005. Producción y manejo de la defoliación en campos naturales de Basalto. En: Risso, D.F.; Ayala, W.; Bermúdez, R.; Beretta, E. Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural. Montevideo: INIA. p. 61-73. (Serie Técnica; 151).
- BOLAN, N. S.; WHITE, R. E.; HEDLEY, M. J.** 1990. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. Australian Journal of Experimental Agriculture, 30(2): 297-313.
- CHIEN, S. H.; CARMONA, G.; MENON, R. G.; HELLUMS, D. T.** 1993. Effect of phosphate rock sources on biological nitrogen fixation by soybean. Fertilizer Research, 34(2): 153-159.
- DURING, C.** 1993. Short-term residual value of phosphate fertiliser on grazed pastures. New Zealand Journal of Agricultural Research, 36(2): 261-269.
- FORMOSO, D.** 2005. La investigación en utilización de pasturas naturales sobre Cristalino desarrollada por el Secretariado Uruguayo de la Lana. En:

- Risso, D.F.; Ayala, W.; Bermúdez, R.; Beretta, E. Seminario de actualización técnica en manejo de campo natural. Montevideo: INIA. p. 51-59. (Serie Técnica; 151).
- HAMMOND, L.; CHIEN, S. H.; MOKWUNYE, A. U.** 1986. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Advances in Agronomy*, 40: 89-140.
- HORST, W. J.; KAMH, M.; JIBRIN, J. M.; CHUDE, V.O.** 2001. Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant and Soil*, 237(2): 211-223.
- KAMH, M.; HORST, W.J.; AMER, F.; MOSTAFA, H.; MAIER, P.** 1999. Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops. *Plant and Soil*, 211(1): 19-27.
- KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C.** 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, 30: 159-206.
- MAYS, D. A.; WILKINSON, S. R.; COLE, C. V.** 1980. Phosphorus nutrition of forage. En: Khasawneh, F. E.; Sample, E.C.; Kamprath, E.J. (eds.). *The role of phosphorus in agriculture*. Madison: ASA, CSSA, SSSA. p. 805-840.
- MORÓN, A.; BEMHAJA, M.; CASTRO, E.** 1982. Comparación de fuentes de fósforo para pasturas en un suelo de Basalto. En: *Fuentes de fósforo para pasturas*, Montevideo: CIAAB. p. 1-9. (Miscelánea; 42).
- MORÓN, A.; RISSO, D. F.; GONZÁLEZ, F.; AMORIN, J.** 1985. Fertilización fosfatada de pasturas naturales y mejoradas en suelos sobre Cristalino. En: *SEMINARIO NACIONAL SOBRE CAMPO NATURAL* (1º., 1985, Cerro Largo, Uruguay). Resúmenes. Cerro Largo, UY, UDELAR, FAGRO, MGAP, SUPN. p. 17.
- MORÓN, A.** 2002. Posibles usos de fosforitas para mejoramiento de pasturas en zonas ganaderas tradicionales en Uruguay. En: Risso, D.F.; Montossi, F. (eds.). *Mejoramientos de campo en la región de Cristalino: fertilización, producción de carne de calidad y persistencia*, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 97-113. (Serie Técnica; 129).
- PITTALUGA, O.; MAS, C.; FERREIRA, G.; MEDEROS, A.; ORDEIX, M.; DE MATTOS, D.; RISSO, D. F.; FIGURINA, G.; REVELLO, H.; CASTRILLEJO, A.; ARMENTANO, J.; SECCO, M.; TELLERÍA, R.; LEITES, J. M.** 2001. Pautas para la producción de carne ecológica, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. 26 p. (Boletín de Divulgación; 79).
- QUINTERO, C.; BOSCHETTI, N. G.; BENAVIDEZ, R. A.** 1995. Fertilización fosfatada de pasturas en implantación en suelos de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 13: 60-65.
- QUINTERO C. E.; BOSCHETTI, N. G.; BENAVIDEZ, R. A.** 1997. Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 15: 1-5.
- RISSO, D.F.** 1990. Efecto de la densidad de siembra y fertilización inicial en el comportamiento de tres leguminosas sembradas en cobertura. En: *SEMINARIO NACIONAL DE CAMPO NATURAL* (2º., 1990, Tacuarembó, Uruguay). Tacuarembó, UY, INIA, SUPN, FAGRO, Plan Agropecuario. p. 243- 247.
- RISSO, D. F.** 1991. Siembras en el tapiz: consideraciones generales y estado actual de la información en la zona de suelos sobre Cristalino. En: Carámbula, M.; Vaz Martins, D.; Indarte, E. *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva*. Montevideo: INIA. p. 71-82. (Serie Técnica; 13).
- RISSO, D. F.; MORÓN, A.** 1993. Rangeland improvement on granitic soils in Uruguay. En: *INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS* (17º., 1993, Palmerston North, , New Zealand). Proceedings, Palmerston North, NZ, New Zealand Grassland Association. p. 1728-1730.
- RISSO, D. F.; BERRETTA, E.J.; BEMHAJA, M.** 1997. Avances tecnológicos para la Región Basáltica: I Pasturas. En: *Tecnologías de producción ganadera para Basalto, Unidad Experimental Glencoe*, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 1-16. (Serie Actividades de Difusión; 145).

- RISSO, D. F.; BERRETTA, E. J. ; ZARZA, A.** 2001. Tecnologías para la mejora de la producción de forraje en suelos de Crsitalino. En: Risso, D. F.; Berretta, E. J. (eds.). Tecnologías forrajeras para sistemas ganaderos de Uruguay, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 39-67. (Boletín de Divulgación; 76).
- RISSO, D. F.; MORÓN, A.; ZARZA, A.** 2002. Fuentes y niveles de fósforo para mejoramiento de campos en la región de Cristalino. En: Risso, D. F.; Montossi, F. (eds.). Mejoramientos de campo en la región de Cristalino: fertilización, producción de carne de calidad y persistencia productiva, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 115 – 151. (Serie Técnica; 129).
- SAS** Institute Inc. 2001. SAS/STAT ®. Release 8.02. Copyright © 1999-2001 by SAS Institute Inc.; Cary, NC, USA.
- SINCLAIR, A. G.; JOHNSTONE, P. D.; WATKINSON, J. H.; SMITH, L. C.; MORTON, J.; JUDGE, A.** 1998. Comparison of six phosphate rocks and single superphosphate as phosphate fertilizers for clover-based pastures. New Zealand Journal of Agricultural Research, 41: 415-420.
- ZAMALVIDE, J.** 1998. Fertilización de pasturas. En: XIV Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical: Grupo Campos, Anales, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 97-107. (Serie Técnica; 94).