

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LA REFERTILIZACIÓN P-S-K
Y MICRONUTRIENTES EN ALFALFA

por

Mateo BETANCOR PEREGALLI
William KEEL MORGAN

TESIS presentada como uno de los requisitos
para obtener el título de Ingeniero Agrónomo

Montevideo
URUGUAY
2003

Tesis aprobada por :

Director : _____
Nombre completo y Firma

Nombre completo y Firma

Nombre completo y Firma

Fecha : _____

Autores : *Mateo BETANCOR PEREGALLI* _____
Nombre completo y Firma

William KEEL MORGAN _____
Nombre completo y Firma

AGRADECIMIENTOS

A los docentes directores de tesis, *Aurora CERVEÑANSKY*, *Omar CASANOVA*, y *Martín Bordoli*, haciéndolo extensivo dicho agradecimiento a todos los integrantes de la Cátedra de Fertilidad de Suelos, docentes y no docentes, y aquellos que ayudaron en la realización de esta tesis.

1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
1.1 <u>INTRODUCCIÓN</u>	2
1.2 <u>FÓSFORO</u>	2
1.2.1 FÓSFORO EN EL SUELO.....	2
1.2.2 FÓSFORO EN LA PLANTA.....	4
1.2.2.1 <u>Funciones del fósforo en la planta</u>	4
1.2.3 FERTILIZACIÓN FOSFATADA.....	5
1.2.3.1 <u>Refertilización fosfatada</u>	6
2.3 <u>POTASIO</u>	10
2.3.1 POTASIO EN EL SUELO.....	10
2.3.2 POTASIO EN LA PLANTA.....	12
2.3.2.1 <u>Funciones del potasio en la planta</u>	13
2.3.3 FERTILIZACIÓN POTÁSICA.....	13
2.4 <u>AZUFRE</u>	14
2.4.1 AZUFRE EN EL SUELO.....	14
2.4.2 AZUFRE EN LA PLANTA.....	15
2.4.3 FERTILIZACIÓN AZUFRADA.....	16
2.5 <u>MICRONUTRIENTES</u>	18
2.5.1 COBRE.....	18
2.5.2 HIERRO.....	18
2.5.3 MANGANESO.....	19
2.5.4 ZINC.....	19

2.6 <u>FERTILIZANTES</u>	21
2.6.1 CLASIFICACIÓN.....	21
2.6.1.1 <u>Fertilizantes fosfatados solubles</u>	21
2.6.1.1.1 Superfosfato de Ca.....	21
2.6.1.1.2 Supertriple.....	21
2.6.1.2 <u>Fertilizantes fosfatados insolubles</u>	22
2.6.1.2.1 Hiperfos.....	22
2.6.1.2.2 Hiperfosfato.....	22
2.6.2 COMPARACIÓN DE FUENTES Y FERTILIZANTES.....	22
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>.....	27
2.1 <u>CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES</u>	27
2.2 <u>TRATAMIENTOS</u>	29
2.3 <u>MANEJO DE LOS ENSAYOS</u>	31
2.4 <u>ANÁLISIS DE LABORATORIO</u>	32
3.4.1 ANÁLISIS DE SUELO.....	32
3.4.2 ANÁLISIS DE PLANTA.....	32
3.4.2.1 <u>Preparación de las muestras</u>	32
3.4.2.1 <u>Determinación de P</u>	33
3.4.2.3 <u>Determinación de K</u>	33
3.4.2.4 <u>Determinación de N</u>	33
3.4.2.5 <u>Determinación de S</u>	33
3.4.2.6 <u>Determinación de micronutrientes</u>	34

3.5 <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICOS</u>	34
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	36
4.1 <u>RESULTADOS PARA CADA SITIO</u>	36
4.1.1 RISSO.....	36
4.1.1.1 <u>Comparación de rendimiento de MS del testigo vs el resto de los tratamientos</u>	37
4.1.1.2 <u>Contrastes de fuentes y dosis</u>	38
4.1.1.2.1 Comparación de respuesta entre dos fuentes solubles (Sf60 vs St60).....	38
4.1.1.2.2 Comparación de dos dosis de fertilizantes (St30 vs St60).....	39
4.1.1.2.3 Otras consideraciones.....	39
4.1.2 COLOLO.....	41
4.1.2.1 <u>Comparación de rendimiento de MS del testigo vs el resto de los tratamientos</u>	42
4.1.2.2 <u>Comparación de fuentes y dosis</u>	43
4.1.2.2.1 Comparación de respuesta a fuentes de fósforo solubles e insolubles.....	43
4.1.2.2.2 Comparación de respuesta entre St y St + micro....	43
4.1.2.2.3 Comparación de respuesta entre St y St + K.....	44
4.1.2.2.4 Comparación de respuesta entre dos dosis de una fuente insoluble –dosis 30 vs 60-.....	44
4.1.2.2.5 Otras consideraciones.....	45
4.1.3 KEEL.....	46
4.1.3.1 <u>Comparación de rendimiento de MS del testigo vs el resto de los tratamientos</u>	47

4.1.3.2 <u>Comparación de fuentes y dosis</u>	48
4.1.3.2.1 Comparación de respuesta entre fuentes de fósforo insolubles.....	48
4.1.3.2.2 Otras consideraciones.....	48
4.1.4 NVA PALMIRA.....	50
4.1.4.1 <u>Comparación de rendimiento de MS del testigo vs el resto de los tratamientos</u>	51
4.1.4.2 <u>Comparación de fuentes y dosis</u>	52
4.1.4.2.1 Comparación de respuesta entre dos fuentes solubles de fósforo (Sf vs St -dosis 60-).....	52
4.1.4.2.2 Comparación de respuesta entre H y H + S (dosis 60).....	52
4.1.4.2.2 Otras consideraciones.....	53
4.1.5 GUTIERREZ.....	54
4.1.5.1 <u>Comparación de rendimiento de MS del testigo vs el resto de los tratamientos</u>	55
4.1.5.2 <u>Comparación de fuentes y dosis</u>	56
4.1.6 PARODI.....	57
4.1.6.1 <u>Comparación de fuentes y dosis</u>	59
4.1.6.1.1 Comparación de respuesta entre fuentes solubles e insolubles en igual dosis.....	59
4.1.6.1.2 Comparación de respuesta entre dos dosis de St (30u. vs 60u.).....	60
4.1.6.1.3 Otras consideraciones.....	60
4.1.7 SOSA.....	61
4.1.7.1 <u>Comparación de rendimiento de MS del testigo vs el resto de los tratamientos</u>	62

4.1.7.2 <u>Comparación de fuentes y dosis</u>	63
4.1.7.2.1 Comparación de respuesta al agregado de micronutrientes junto a 60u. de St.....	63
4.1.7.2.2 Comparación de respuesta al agregado de K junto a 60u de St.....	63
4.1.7.2.3 Comparación de respuesta entre dos fuentes insolubles (Hf vs H –dosis 60-).....	63
4.1.7.2.4 Otras consideraciones.....	63
4.2 <u>RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE SITIOS</u>	65
5. <u>CONCLUSIONES</u>	73
6. <u>RESUMEN</u>	74
7. <u>SUMMARY</u>	76
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	78

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Cuadro N° 1. Contenidos de P total de suelos desarrollados a partir de diferentes materiales geológicos, y proporción de P ligado a cationes Al, Fe, y Ca en la fracción inorgánica del suelo (como porcentaje del total de los 3). (Hernández et al., 1995).....	3
Cuadro N° 2. Tipos y características de los fertilizantes fosfatados comerciales utilizados .	21
Cuadro N° 3. Composición química de la fosforita de Gafsa (Tunez), utilizada en este trabajo.....	22
Cuadro N° 4 . Efecto del tratamiento fosfatado sobre el rendimiento y contenido de P.....	25

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuadro N° 5 - Sitios experimentales donde se instalaron los ensayos.....	27
Cuadro N° 6 . Datos de análisis de suelos por sitio (2001).....	28
Cuadro N° 7 A y B- Tratamientos evaluados en cada sitio (en negrilla se destaca la diferencia en modelos de tratamientos especificándose cual fue utilizado en cada sitio experimental).....	29
Cuadro N° 8. Calendario de actividades.....	31

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro N° 9. Datos de análisis de suelo (12/06/01).....	36
Cuadro N° 10. Promedios de Materia Seca - por tratamiento, por corte y total- (kg/ha).....	36
Cuadro N° 11. Resultados de análisis estadístico.....	37
Cuadro N° 12. Absorción de P por la planta (kg de P/ha).....	38

COLOLÓ

Cuadro N° 13. Datos de análisis de suelo (29/05/01).....	41
Cuadro N° 14. Promedios de Materia Seca - por tratamiento, por corte y total- (kg/ha).....	41
Cuadro N° 15. Resultados de análisis estadístico.....	42

KEEL

Cuadro N° 16. Datos de análisis de suelo (12/07/01).....46

Cuadro N° 17. Promedios de Materia Seca - por tratamiento, por corte y total- (kg/ha).....46

Cuadro N° 18. Resultados de análisis estadístico.....47

NVA. PALMIRA

Cuadro N° 19. Datos de análisis de suelo (12/06/01).....50

Cuadro N° 20. Promedios de Materia Seca - por tratamiento, por corte y total- (kg/ha).....50

Cuadro N° 21. Resultados de análisis estadístico.....51

Cuadro N° 22. Absorción de P por las plantas de alfalfa (kg de P/ha).....52

GUTIERREZ

Cuadro N° 23. Datos de análisis de suelo (30/07/01).....54

Cuadro N° 24. Promedios de Materia Seca - por tratamiento, por corte y total- (kg/ha).....54

Cuadro N° 25. Resultados de análisis estadístico.....55

PARODI

Cuadro N°26. Datos de análisis de suelo (12/06/01).....57

Cuadro N° 27. Promedios de Materia Seca - por tratamiento, por corte y total- (kg/ha).....57

Cuadro N° 28. Resultados de análisis estadístico.....58

Cuadro N° 29. Absorción de P por el cultivo (kg de P/ha).....59

Cuadro N° 30. Absorción de P por el cultivo (datos promediados para cada tipo de fuente en kg/ha).....59

SOSA

Cuadro N° 31. Datos de análisis de suelo (30/07/01).....61

Cuadro N° 32. Promedios de Materia Seca - por tratamiento, por corte y total- (kg/ha).....61

Cuadro N° 33. Resultados de análisis estadístico.....	62
---	----

RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE SITIOS

Cuadro N° 34. Análisis de suelo para contenido inicial de P.....	65
Cuadro N° 35. Análisis de suelo para contenido de materia orgánica inicial.....	68
Cuadro N° 36. Análisis de suelo para contenido inicial de K.....	69
Cuadro N° 37. Análisis de suelo para pH inicial.....	71
Cuadro N° 38. Comparación de rendimiento (en kg de MS/ha para el total de los cortes) de distintas dosis de P para dos fuentes (H, St).....	71

Figura N° 1. Eficiencia del superfosfato en función del tiempo desde la aplicación (Fuente: Hernández 1999) REVISION BIBLIOGRAFICA.....	7
Figura N° 2. Respuesta en rendimiento de Materia Seca por unidad de P ₂ O ₅ para los distintos tratamientos (testigo = 0). RISSO.....	37
Figura N° 3. Respuesta en rendimiento de Materia Seca por unidad de P ₂ O ₅ para los distintos tratamientos (testigo = 0). COLOLÓ.....	42
Figura N° 4. Respuesta en rendimiento de Materia Seca por unidad de P ₂ O ₅ aplicado en los distintos tratamientos (testigo = 0). KEEL.....	47
Figura N° 5. Respuesta en rendimiento de Materia Seca por unidad de P ₂ O ₅ para los distintos tratamientos (testigo = 0). NVA. PALMIRA.....	51
Figura N° 6. Respuesta en rendimiento de Materia Seca por unidad de P ₂ O ₅ para los distintos tratamientos (testigo = 0). GUTIERREZ.....	55
Figura N° 7. Respuesta en rendimiento de Materia Seca por unidad de P ₂ O ₅ para los distintos tratamientos (testigo = 0). PARODI.....	58
Figura N° 8. Respuesta en rendimiento de Materia Seca por unidad de P ₂ O ₅ para los distintos tratamientos (testigo = 0). SOSA.....	62

RESULTADO COMPARATIVO ENTRE SITIOS

Figura N° 9. Respuesta promedio en kg de MS/u de P ₂ O ₅ para cada sitio y promedio de todos los sitios.....	65
Figura N° 10. Respuesta promedio de todos los sitios en kg de MS/u de P ₂ O ₅ para cada tratamiento.....	66
Figura N° 11. Rendimiento de los distintos sitios en kg de MS/ha para los tratamientos St 60, St60 + micro, y testigo.....	67
Figura N° 12. Rendimiento comparativo en kg de MS/ha para 2 fuentes de P solubles (dosis = 60).....	68
Figura N° 13. Rendimiento comparativo en kg de MS/ha entre tratamientos - testigo vs St vs St + K - (dosis = 60).....	69
Figura N° 14. Rendimiento comparativo en kg de MS/ha de 2 diferentes fuentes de fertilizante en igual dosis.....	70
Figura N° 15. Comparación de eficiencia de utilización entre fuentes solubles e insolubles (kg de MS/u de P ₂ O ₅).....	71

1. INTRODUCCIÓN

La alfalfa - leguminosa perenne de ciclo estival - es una de las especies forrajeras más importantes a nivel mundial, por su cantidad y calidad de producción, como por su carácter de mejoradora de suelos - a través de su alta capacidad de fijación de nitrógeno y de su profundo sistema radicular - ocupa un sitio de preferencia en los sistemas productivos.

La alfalfa es la leguminosa de mayores requerimientos de P: los suelos del Uruguay poseen bajos niveles de este nutriente, lo cual determina que este elemento sea el más limitante para la producción. Debido a ello, es necesario el agregado de fertilizantes fosfatados para una adecuada nutrición.

La alta estabilidad (baja solubilidad) de los compuestos fosfatados es la causa inmediata de las deficiencias de P en los suelos para las plantas. El agregado al suelo de un fertilizante fosfatado soluble al agua, puede provocar una rápida desaparición del mismo de la solución. Se observan diferentes eficiencias de utilización de los fertilizantes fosfatados debido a variaciones en la característica de retención de los suelos.

A través del tiempo se producen en los suelos cambios en la disponibilidad de P, como resultado de varios procesos que interaccionan entre sí, por ejemplo, el agregado de P, mineralización del P orgánico, procesos de reducción-oxidación de fosfatos de Fe, remoción por parte de plantas, fijación por parte del hierro, aluminio, y calcio del suelo (precipitación y adsorción)

En consecuencia la reposición de dosis frescas de P a través de la refertilización se hace imprescindible como forma de mantener el suministro de este nutriente en cultivos plurianuales.

Con el objetivo de lograr mayor persistencia y eficiencia de los insumos empleados es que nos planteamos asegurar un correcto manejo y dosificación de la refertilización.

La eficiencia de fuentes de fósforo de diferente solubilidad y composición (con y sin azufre), así como la necesidad de la complementación con micronutrientes y potasio sobre diferentes situaciones de suelo en la etapa de refertilización del cultivo de alfalfa (refertilización de 2º año) forman parte de los principales objetivos de este trabajo.

Respecto a la necesidad de la refertilización fosfatada del cultivo en forma anual, las interrogantes más frecuentes a nivel técnico apuntan a determinar:

- dosis de refertilización
- fuente de fósforo y azufre
- inclusión de micronutrientes
- nutrición potásica, luego de elevados rendimientos

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUCCIÓN

El manejo de la nutrición en alfalfa tiene un rol importante en el éxito de la producción actual. Para niveles de rendimiento promedio (en Estados Unidos) son removidas importantes cantidades de nutrientes desde el suelo, siendo mayores que las extraídas por un cultivo de grano.

La combinación de prácticas de producción dentro de un manejo efectivo crea la oportunidad para interacciones positivas entre varios componentes del mismo (cultivares, niveles de fertilidad del suelo, cosecha, control de enfermedades, condiciones favorables del medio ambiente), para alcanzar niveles de rendimiento altos (Lanyon et. al., 1988). De los factores citados anteriormente, se desarrolla sólo nivel de fertilidad del suelo, el cual explica tipo y cantidad de los nutrientes necesarios para el crecimiento vegetal.

La capacidad de suministro de nutrientes del suelo es variable. Los suelos con diferente composición mineralógica requieren diferentes proporciones de fertilizantes para mantener un adecuado nivel de nutrientes disponible.

2.2 FÓSFORO

2.2.1 FÓSFORO EN EL SUELO

El contenido total de fósforo en los suelos es bajo. La mayoría de los suelos contienen entre 0,02 y 0,08 % de P total. Para diferentes suelos del país se encontró un rango de entre 0,013 y 0,089 %, con un promedio de 0,032% (Hernández, 1995).

En la mayoría de los suelos, las cantidades de P total oscilan entre 0,022 y 0,083 % según Black (1975); pero Wild (1958) (citado por Black 1975) encontró que algunos suelos lo contenían en cantidades inferiores a 0,017 %. Hidalgo (1969) (citado por Muslera y Ratera, 1983), propone los siguientes límites mínimos para el P en el suelo y planta de alfalfa: 0,22% sobre materia seca en los tejidos de la planta; y 0,06% de P₂O₅ asimilable (método Burriel- Hernando) y 6 ppm de P₂O₅ activo en el suelo (método Tamés). Dichas variaciones son explicadas fundamentalmente por el material de origen de los suelos, y las condiciones de meteorización de los mismos (Hernández et al., 1995).

Considerando el material de origen de los suelos, los valores mas elevados de fósforo total se encuentran en suelos formados a partir de la alteración de rocas básicas, como Basalto. Le siguen en importancia los suelos derivados de sedimentos limo-arcillosos, como los de las formaciones Fray Bentos y Libertad. En el extremo opuesto se encuentran valores bajos de P total en suelos derivados de alteración de rocas ácidas de Basamento Cristalino y sedimentos de textura gruesa, como las areniscas Triásicas y Cretácicas

Cuadro N° 1: contenidos de P total de suelos desarrollados a partir de diferentes materiales geológicos, y proporción de P ligado a cationes Al, Fe, y Ca en la fracción inorgánica del suelo (como porcentaje del total de los 3). (Hernández et al., 1995)

Geología	Tipo de suelo	P total	P-Al	P-Fe	P-Ca
		ppm	%	%	%
Lavas basálticas (F. Arapey)	Vertisoles Litosoles	583 (4)	19	56	25
Lodolitas cutern. (F. Libertad)	Vertisoles Brunosoles	386 (4)	36	41	23
Limos terciarios (F. Bentos)	Brunosoles	374 (4)	37	36	27
Siltitos (F. Yaguarí)	Brunosoles Vertisoles	350 (3)	39	43	18
Granitos-migmat. (predevoniano)	Argisoles Luvisoles	260 (3)	27	62	11
Areniscas Cretácicas	Argisoles Planosoles	194 (3)	42	42	16
Areniscas Triásicas (F. Tacuarembó)	Luvisoles Acrisoles	163 (3)	47	34	19

Nota: el número entre paréntesis indica el número de suelos analizados

Del P total del suelo no todo esta disponible para las plantas. Existe una fracción dentro del mismo llamada P lábil que es aquella que responde rápidamente a un descenso en la concentración de P en la solución del suelo, tendiendo a reponer ese P a la solución hasta un nivel que sería el correspondiente a la constante del producto de solubilidad de los compuestos que lo forman. De esta manera el concepto de lábil queda referido al de compuestos meta estables, de baja cristalinidad y por tanto de alta reactividad química.

Para Hernández y Del Pino, citados por Hernández (1999), los valores de esta fracción para el campo natural van desde 1,6 a 8,3 ppm (Bray N°1).

Según datos del CIAAB (1971), el P lábil o asimilable para suelos del país toma valores de 2,5 a 9,0 ppm.

Las plantas toman el P desde la solución del suelo principalmente como P inorgánico (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}). Las concentraciones de P en la solución del suelo son generalmente muy bajas. (Morón, 1996).

Según Castro (1978) el P es un elemento de muy baja solubilidad en el suelo, y que su concentración en la solución puede variar de 0,3 a 1,0 ppm, siendo en general, independiente del contenido de humedad, lo que implica un equilibrio con la fase sólida.

La absorción de P por los cultivos y pasturas en un ciclo de crecimiento es superior varias veces a esa cantidad, por tanto debe existir una constante reposición desde la fase sólida para suplir las necesidades de las plantas (Morón, 1996).

La baja solubilidad de los compuestos inorgánicos tanto en sus formas naturales, como en los productos resultantes de las reacciones con los fertilizantes determina que las concentraciones de P en la solución del suelo sean tan bajas (Zamalvide, 1996).

2.2.2 FÓSFORO EN LA PLANTA

La concentración de P así como la de otros nutrientes decrece con la madurez de la planta. La mayor concentración de P en la planta se encuentra en las hojas, siendo menor su concentración en las hojas basales (Lanyon et. al., 1988).

Según Mills y Jones (1996), para alfalfa en estado vegetativo, en los primeros 15 cm. de la parte aérea, el rango óptimo de contenido de P en planta es 0,26 a 0,70.

La concentración y cantidad de P en la planta de alfalfa para cosecha de forraje, es menor que la observada para K y N. Melsted et al. (citados por Lanyon et. al., 1988) plantean un valor crítico de 3,5 g/kg de P en la parte aérea en el estadio de floración temprana.

Los contenidos de P del forraje de pasturas con leguminosas con un suministro adecuado de P, oscilan entre 0,3 y 0,4 % en la materia seca (Hernández, 1999).

Se ha sugerido un rango de suficiencia de 2,6 a 7 g/kg de P para el primer corte de alfalfa, con una altura de planta mayor a 15,2 cm. Estos valores están dentro de los rangos observados para alfalfa de alto rendimiento (Lanyon et. al., 1988).

2.2.2.1 Función del Fósforo en la planta

La función específica del P en la planta es su participación en la producción de ATP asociado con la actividad de la Nitrogenasa.

Vincent, Mortensen, y Bergersen (citados por Lanyon et. al., 1988), han asociado el alto requerimiento de ATP para la fijación del N y el rol esencial del P en el proceso simbiótico. El efecto del P sobre el metabolismo del N ha sido probado sobre alfalfa tropical (*sthylosantes humilis*) el número de nódulos, tamaño y nivel de fijación aumentan cuando se incrementa el nivel de P. El P es rápidamente movilizado en la planta; cuando ocurre una deficiencia lo que se encuentra contenido en los tejidos más viejos es transferido hacia las zonas meristemáticas en activo crecimiento.

Tisdale y Nelson, (1975) afirman que el transporte del P en las plantas incluye tres fases. En la primera el P inorgánico es absorbido y combinado con moléculas y radicales orgánicos. En la segunda fase los fosfatos primarios transfieren el grupo fosforil a otras

moléculas. En la tercera, el fosfato y el perifosfato son separados de los intermediarios fosforiles por separación hidrolítica o por sustitución del radical orgánico.

Debido a que el P es un elemento móvil en las plantas y a que las partes jóvenes en crecimiento tienen prioridad en situaciones deficitarias, los síntomas de deficiencia se presentan en las hojas viejas.

En las pasturas el déficit de P disminuye las tasas de crecimiento y afecta la concentración de P en el forraje y por tanto su calidad nutritiva (Morón, 1996).

2.2.3 FERTILIZACIÓN FOSFATADA

Una cierta concentración de fósforo en la solución, es mantenida por cantidades diferentes de fósforo en la fase sólida según los distintos suelos.

Escudero y Morón (1978) evaluaron la cantidad de P que debía quedar retenida por el suelo para mantener 1 mg de P L^{-1} en solución, encontrando que dicho nivel oscilaba, en 39 suelos estudiados, entre 19 y 248 ppm.

La capacidad de retener fósforo de un suelo - caracterizado por las isotermas de adsorción- se relaciona negativamente con la eficiencia de utilización del fertilizante fosfatado soluble aplicado (Barrow, 1975). En Uruguay - Escudero y Morón (1978)- determinaron para un amplio rango de suelos que el aumento en la capacidad de retención de P de los suelos, se encontraba asociado con el incremento en el contenido de óxidos de Fe libres, % de arcilla y la cantidad de Al intercambiable.

Un nivel adecuado de P es necesario para el establecimiento de sistemas radiculares fuertes y los beneficios de la fertilización son más importantes sobre suelos infértiles o cuando en primavera frescas se ve restringida la absorción de P por las raíces (Lanyon et. al., 1988).

Smith y Powell (citados por Lanyon et. al., 1988) concluyen que 57 kg/ha de P (Bray N° 1) fue un nivel adecuado de P en el suelo para rendimientos de 7 a 8 toneladas de materia seca de alfalfa por hectárea.

El nivel crítico es un valor, por debajo del cual, la fertilización con el nutriente en cuestión es efectiva y por encima es antieconómica (Tomo III, Curso de Suelos II, 1974, Facultad de Agronomía).

La cátedra de fertilidad de suelos durante muchos años fue creando una importante base de información, la cual permitió definir – como pauta aceptable del nivel crítico de P para suelos medios y pesados del sur – un valor superior a las 20 ppm (Bray N° 1). (Mallarino A., Casanova O., Bordoli M., com. pers.,- citados por Cerveñansky, Casanova, 2002).

Para todos los sitios evaluados e independientemente del tipo de suelo, recomiendan fertilizar con P cuando el nivel del mismo se encuentra por debajo de las 20ppm (Bray N° 1) (Cerveñansky , Casanova ,2002).

Bordoli (1998) (citado por Hernández, 1999) determinó para la alfalfa un nivel crítico de P asimilable (método Bray N° 1) para suelos de texturas medias y pesadas del sur de 20 a 25 ppm.

Las temperaturas bajas están asociadas con la necesidad de mayores niveles de P disponible por la razón de que las raíces absorben el P en forma relativamente lenta a bajas temperaturas del suelo. A esto deben agregarse 3 efectos más de las bajas temperaturas: - menor tasa de difusión

-reducción en la mineralización del P orgánico

-menor crecimiento radicular

De esta manera la respuesta al agregado de P al suelo es superior en épocas frías, coincidentes con la implantación de la alfalfa (Hernández, 1999).

2.2.3.1 Refertilización fosfatada

El P luego de aplicado al suelo, sufre procesos de retrogradación por lo que se va volviendo menos disponible para las plantas. Básicamente se conocen 2 mecanismos de retención de P en el suelo: precipitación y adsorción. Ambos mecanismos ocurren simultáneamente aunque en algunos casos puede ser mas relevante uno que el otro (Hernández, 1999).

Luego de agregado al suelo, el fertilizante P tiene un efecto de suministro de P que persiste durante más de un ciclo de crecimiento, conocido como efecto residual, y que resulta de la permanencia del P en los compuestos metaestables, que integran el P lábil. Sin embargo, con el transcurso del tiempo la disponibilidad del P disminuye.

Según la mayoría de los autores, la retención del P se daría en los suelos en 2 etapas:

- 1- reacciones rápidas en las cuales el P es fundamentalmente adsorbido superficialmente, conservando por ello alta reactividad;
- 2- pasos lentos en los cuales el P se va transformando en compuestos precipitados cristalinos estables, menos reactivos y muy pocos disponibles para las plantas. Al producto final de estas reacciones se le llamaría P precipitado o cristalino.

Barrow (1980) (citado por Hernández, 1999), cita como datos promedio de varios autores una pérdida del P lábil, previamente aumentado por la fertilización, del 40 o 50 % anual.

La evolución de este P lábil en función del tiempo sería una progresión geométrica, con una pérdida porcentual constante del resto que va quedando lábil.

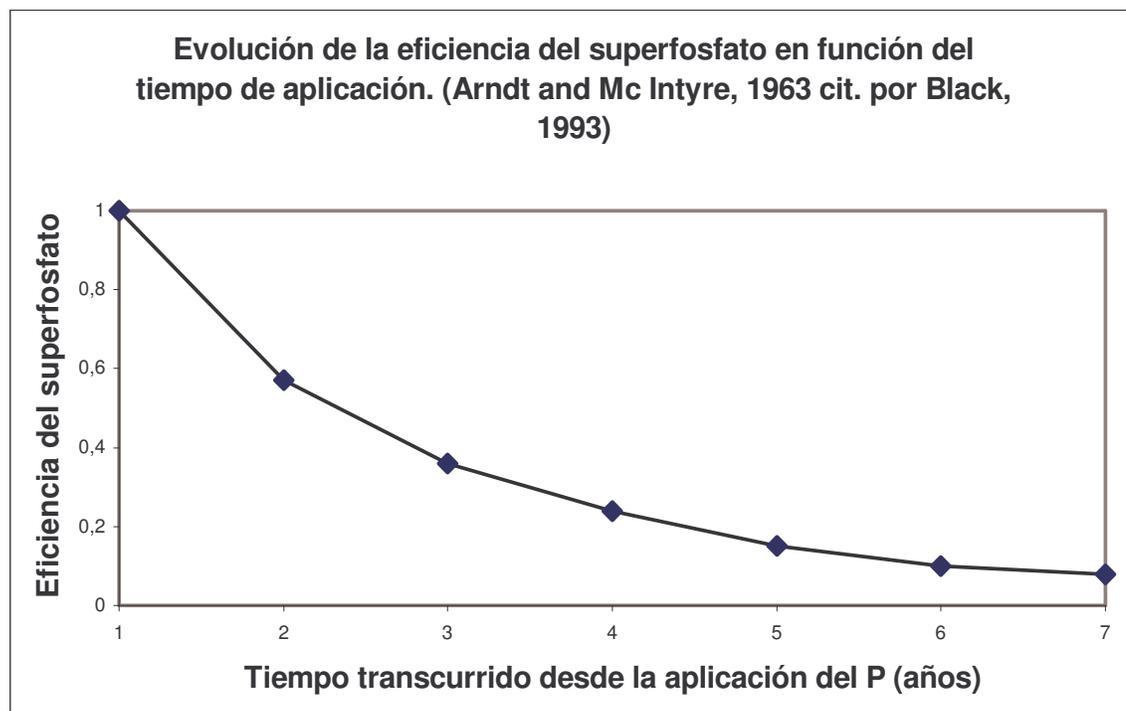


Figura N° 1. Eficiencia del superfosfato en función del tiempo desde la aplicación. (Fuente: Hernández 1999)

La tasa de descenso anual mide el % de P lábil aumentado por la fertilización que pasa anualmente a formas fijadas no asimilables. De acuerdo a los datos obtenidos por Castro et al. (1981), estos % variarían para suelos del Uruguay entre el 28 y el 50 %, usando como fertilizante al superfosfato de Ca.

A continuación se nombran estructuras de ortofosfatos de Ca en orden de solubilidad decreciente: $\text{CaH}_2\text{PO}_4\text{-H}_2\text{O}$ (MCP)- $\text{CaHPO}_4\text{-2H}_2\text{O}$ (DCPD) – $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6$ (DCP) – $\text{B-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (TCP) – $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ (HA) – $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ (FA).

Los productos de reacción formados en los estados iniciales de la reacción de los fosfatos solubles fertilizados con el suelo son metaestables y cambian con el tiempo, a más estables y compuestos fosfatados menos solubles.

Lehr y Brown (1958), (citados por Esilaba et al, 1992), observaron en estudios de invernadero que el DCPD cambia a OCP y apatita coloidal en aproximadamente 4 meses, mientras que el DCPD es totalmente disuelto en suelos ácidos con el transcurso del tiempo.

Bell y Black (1970), (citados por Esilaba et al, 1992), establecen que el DCPD cambia a OCP en 4 semanas en suelos con pH mayores a 7,9 y en 44 semanas en suelos con pH mayores a 6,9.

Han existido en nuestro país algunas dudas respecto a la respuesta de la alfalfa a la refertilización fosfatada dado su sistema radicular profundo y el hecho de que las aplicaciones de fertilizante en cobertura concentran el P cerca de la superficie. Ensayos realizados recientemente por INIA – La Estanzuela y por la cátedra de fertilidad de suelos de la Facultad de Agronomía del Uruguay (Cambra, 1987 -Tesis de Grado-; Dubois et al., 1986 -Tesis de Grado-) presentan importantes respuestas a la refertilización fosfatada. La respuesta a la refertilización es dependiente del nivel de disponibilidad de P en el suelo (Morón, 2000).

Bianco y Loza (1979), hallaron que todos los tratamientos refertilizados con 60 unidades de P_2O_5 /ha produjeron en promedio 1250 kg/ha de materia seca adicional, con respecto a las parcelas que no fueron refertilizadas, independientemente de las dosis aplicadas en el primer año.

Cambra (1987), sobre un experimento realizado en un Vertisol (Joanicó) con 18 ppm de P (Bray N°1) y un Brunosol (San Ramón) con 7,6 ppm de P (Bray N°1), en el que se realizaron refertilizaciones anuales con una dosis única de 60 u de P_2O_5 /ha como superfosfato simple concluyó que las parcelas que fueron refertilizadas tuvieron una mayor producción tanto de materia seca como de alfalfa pura.

En San Ramón encontró que el efecto de la refertilización fue independiente del P agregado a la siembra. En cambio en Joanicó los tratamientos de refertilización tuvieron una respuesta mayor cuando el nivel de P agregado inicialmente fue menor, por lo que dedujo que existió una interacción negativa entre el P inicial-refertilización.

De acuerdo a la falta de movilidad de los fosfatos en los suelos habría que predecir teóricamente poca eficiencia de esta práctica. Sin embargo, la aplicación en cobertura de P a pasturas ya establecidas es una práctica eficiente en términos de la utilización de P por la pastura. (Bordoli et al., 1984).

La eficiencia de la refertilización de pasturas podría explicarse en parte, por las siguientes causas: las gramíneas - y en menor grado las leguminosas- desarrollan raíces sobre o muy cerca de la superficie del suelo; las aplicaciones en cobertura reducen las posibilidades de fijación del fertilizante fosfatado soluble en agua, al minimizar el contacto del suelo con el fertilizante (Hernández, 1999).

Muslera Pardo y Ratera García (1983), afirman que una vez establecida la alfalfa, el fertilizante se distribuye en superficie y en razón a su escasa movilidad en el suelo, tarda en estar disponible a nivel de las raíces. Esto es más marcado en suelos con gran capacidad de fijación de P, por otra parte los que más necesitan de este elemento. Argumentan que en ensayos conducidos por los autores antes mencionados y también en la práctica no se ha encontrado respuesta a la fertilización fosfatada en cultivos puros de alfalfa, en suelos con un nivel bajo de P (Ratera y col., 1975 - citados por Muslera y Ratera, 1983-). Sin embargo las necesidades de este elemento y las extracciones por las plantas son altas. Este hecho

contradictorio se puede explicar porque las raíces exploran un mayor volumen de suelo del cual pueden obtener el P que necesitan.

Los resultados experimentales citados se refieren a suelos arcilloso profundos de buena calidad, de Sevilla, clasificados como xerorendzinas y tierras negras andaluzas (vertisoles). Bajo riego, la alfalfa sin fertilización produce un total de 57.772 kg de MS/ha durante 3 años, el mismo nivel de producción de las parcelas con dosis de hasta 240 kg/ha de P_2O_5 , siendo a partir del 4º año cuando los rendimientos fueron menores. En condiciones de secano, con producciones menores, no se encontraron respuestas.

Brownlee et al. (1975) trabajando en Australia en un clima seco, dirigieron un ensayo para verificar la incidencia de las refertilizaciones anuales de la alfalfa, en el incremento de la producción forrajera y ovina. Se produjeron al cabo de 3 años y medio grandes incrementos en la disponibilidad de P en el suelo como consecuencia de las refertilizaciones anuales. A pesar de esto los aumentos en materia seca del forraje y peso vivo de los ovinos eran pequeños, mientras que la concentración de P en el forraje era proporcionalmente aún menor. Esta baja respuesta fue atribuida a la permanencia del P en los primeros cms. del suelo.

En cambio, en otros climas no tan secos, los resultados pueden ser diferentes. Massey y Sheard (1970), trabajando con poblaciones de alfalfa y *Bromus inermis*, ya establecida, comprobaron la alta recuperación del P aplicado en superficie, señalando que la absorción activa de las raíces se hallaba en los primeros 3 cm. de profundidad. Entonces, aunque la alfalfa sea una planta que penetre profundamente en el suelo, las raíces más activas para la absorción del P serían las localizadas en los primeros cm. del perfil.

Por otra parte, se ha observado una mayor respuesta a la refertilización de pasturas con leguminosas cuando la práctica se realiza en otoño, lo que determina mayores aumentos en la producción de forraje en otoño - invierno. Esta mayor respuesta está asociada a una menor disponibilidad de P con las bajas temperaturas posteriores de esa época del año. Bordoli et al. (1984), en experimentos realizados sobre una pradera convencional de trébol rojo y raigrás en 3 suelos de la cuenca lechera sur (Uruguay), encontraron que las respuestas a la refertilización en el período otoño- invernal fueron mayores que las anuales.

Seay y Weeks (1955), realizaron un ensayo para determinar el efecto de la época de refertilización en la absorción y en la concentración de P y K en varias partes de las plantas de alfalfa. Las parcelas pertenecían a poblaciones de 2º año. La fecha de refertilización varió desde el otoño al verano del año siguiente. Observaron que el contenido de P de los ápices de alfalfa, decrecía durante el otoño y el de las coronas aumentaba, concluyendo que esta sería la época del año más adecuada para refertilizar ya que las plantas tomarían los nutrientes para la formación de reservas y así sobrevivirían hasta el rebrote de la primavera. Esto concuerda con lo dicho por Carámbula en 1977.

Con respecto a la frecuencia de las refertilizaciones, en general se ha observado que cuando la fuente de es el superfosfato, la aplicación anual determina una mayor persistencia de leguminosa, producción de forraje y calidad, que cuando la misma dosis era aplicada cada 2 años. Esto surge como mas relevante en suelos con alta capacidad de retención de P (Hernández, 1999).

Alva et. al y Tesar (citados por Lanyon et. al., 1988) no encontraron diferencias de rendimiento entre tasas anuales de 45–48 y 90–96 kg/ha de P aplicado. Tesar no reportó diferencias en 3 años entre rendimientos con tasas anuales de 0; 24; y 49 kg/ha de P, comparadas en niveles de rendimiento de 12 tt/ha, cuando habían sido aplicados 39 kg/ha a alfalfa creciendo sobre suelos arenosos, con una disponibilidad de P en el suelo de 24 kg/ha.

Sobre suelos sedimentarios con la misma disponibilidad de P, no hubo diferencias para similares niveles de rendimiento en 3 años de análisis de alfalfa que recibió 24 kg/ha de P sobre plantines y tampoco a 24 kg/ha de P anual (Lanyon et. al., 1988).

Hidalgo (1969) (citado por Muslera y Ratera, 1983), en distintos ensayos en Zaragoza sobre suelos alcalinos pobres en P, no obtuvo diferencias significativas entre las dosis de 184 y 92 kg de P_2O_5 /ha/año (como superfosfato), destacando que la aplicación en forma fraccionada del P durante un mismo ciclo vegetativo, presentó resultados inferiores a la aplicación en única al principio de la primavera.

Muslera y Ratera (1983), recomiendan para suelos livianos y/o pobres en P una fertilización anual con cantidades de 60 a 100 kg/ha de P_2O_5 , según las características del suelo y la producción esperada.

La aplicación de P en superficie para mantenimiento es poco eficaz en condiciones de secano pero es necesario en cantidades de 40 kg/ha de P_2O_5 en praderas de larga duración y suelos livianos, para producción de 6 tt/ha (Muslera y Ratera, 1983).

2.3 POTASIO

2.3.1 POTASIO EN EL SUELO

La concentración de K total en el suelo normalmente varía entre 0,5 y 2,5 %, con un promedio de 1,2 %.

El contenido de K total en la capa arable de los suelos es variable y puede oscilar entre unos pocos cientos de kg por hectárea en suelos de textura liviana formados sobre areniscas o cuarcitas, a 50.000 kg/ha. o mas en suelos de textura pesada formados sobre materiales con altos contenidos de minerales portadores de K (Hernández, 1992).

Existe un equilibrio de las diferentes formas de K en el suelo. El equilibrio entre las formas intercambiables y el K en solución es rápido, mientras que entre estas formas y el K

fijado, el equilibrio es lento. La caracterización de 3 de estas formas de K en muestras de horizonte A de 13 suelos de Uruguay muestran los siguientes resultados:

0,13 - 3,35 meq / 100g de K no intercambiable
 0,11 - 1,5 meq / 100g de K intercambiable
 0,0038 - 0,0311 meq / 100g de K en solución
 (Casanova, 1996)

La invasión de malezas, y reducción de la persistencia del stand de plantas de alfalfa han sido asociados con una disponibilidad inadecuada de K. La necesidad de mantenimiento adecuado de K es mas crítica en pasturas mezclas que en alfalfa pura (Lanyon et. al., 1988).

En sistemas de producción de alto rendimiento, la alfalfa establecida sobre suelos de alto contenido de K a causa de grandes cantidades de K aplicadas anualmente, es sometida a frecuentes cosechas en estado inmaduro, lo que lleva a altas concentraciones de K en el forraje cosechado, y mayor K removido desde el suelo. En décadas pasadas el estándar usado para K removido fue de 17 kg / tt MS, el cual es mas bajo que el reciente reporte de remoción en el heno de 22,5 a 25 kg / tt MS (Lanyon et. al., 1988).

Los factores que afectan la disponibilidad de K para las plantas son: cantidad y tipo de arcilla, CIC, profundidad del suelo, aireación, humedad, temperatura, pH, tipo de laboreo, nivel de otros nutrientes. (Casanova, 1996)

La difusión es el mecanismo principal de llegada del K a la superficie radicular (Barber, 1968; citado por Lanyon et. al. 1988).

La cantidad de K que llega a las raíces por difusión se incrementa en aquellos cultivos que tienen mayor requerimiento de K, tales como la alfalfa. Las tasas de difusión son afectadas por: humedad, temperatura, actividad radicular, y concentración de K en el suelo. En crecimiento activo las raíces de la alfalfa pueden crear zonas de deficiencia de K en la interfase raíz - suelo, incluso en suelos con altos niveles de K disponible (Renger y Strebel, 1979; citados por Lanyon et. al., 1988).

El K es absorbido por las plantas bajo forma de ion K^+ desde la solución del suelo. Los valores de K en solución reflejan la velocidad de reposición y en consecuencia el restablecimiento del equilibrio. El contenido de K en los suelos es por lo general muchas veces mayor que las cantidades extraídas por un cultivo durante una estación de crecimiento (Casanova, 1996).

Ca y Mg compiten con el K por la entrada a la planta. De esta manera, es de esperar que suelos con altos niveles de uno, o de ambos cationes, necesiten altos contenidos de K para un buen suministro a las plantas. Este concepto también indica que la asimilabilidad del K es dependiente de su concentración relativa a Ca y Mg (Casanova, 1996).

2.3.2 POTASIO EN LA PLANTA

Mills y Jones (1996), establecen para la alfalfa en estado vegetativo un rango óptimo en el contenido de K de 2,0 a 3,5 %, en la parte aérea de plantas de 15 cm. de altura. El nivel crítico de K en la parte aérea de la alfalfa varía entre 1,42 y 1,84 % dependiendo de la estación del año. La supervivencia en invierno y el rendimiento mejora cuando el nivel de K fue superior a 1,25 % de la M.S. del forraje.

Cuando hacemos 3 cortes por año, 0,9 a 1,1 % de K en el forraje cosechado fue adecuado para un buen rendimiento en alfalfa. Mc. Naught (1958), (citado por Kimbrough et al., 1971) establece 0,89 a 2,06 % como el rango por debajo del cual ocurre deficiencia de K, y por encima del que existe un exceso de K en planta. Máximos rendimientos de alfalfa para 4 cortes son obtenidos con contenidos de K entre 2 y 2,5 %. Tan amplias diferencias relacionadas con el rendimiento, pueden ser atribuidas a variaciones extremas en morfología y fisiología determinadas por el estado de crecimiento en el cual es cosechada la alfalfa. Es sabido que en pasturas jóvenes el % de K es mucho mas alto, que en pasturas viejas (Kimbrough et al., 1971).

Un suministro adecuado de K en planta aparece como un factor crítico en el desarrollo temprano: a un IAF = 1, aumenta mas la tasa de intercambio de Carbono, con adecuado nivel de K, que a un IAF = 2, aunque un nivel adecuado de K mejora la tasa de intercambio de C en ambos estados de crecimiento. A baja concentración de K estas tasas son similares. El K limitante incrementa la resistencia del mesófilo al pasaje de CO₂, lo que puede ser un factor determinante en la reducción de crecimiento de brotes y raíces bajo moderada deficiencia (Lanyon et. al., 1988).

El rendimiento e IAF incrementan más rápidamente con alto que con bajo K. La rápida tasa de rebrote con alto K puede posibilitar breves intervalos de corte, y establecer un corte adicional durante la estación. Kimbrough et al. (1971), encontraron (en experimentos de campo) incrementos en rendimiento de alfalfa altamente correlacionados con el incremento del % de K en hojas, o en planta entera (hojas y tallos). La correlación del % de K en tejidos con el rendimiento de materia seca, fue alta cuando se muestreo en estado temprano (crecimiento de brote) y declinó con el avance de la madurez en posteriores muestreos. El K en hojas y en planta entera (hojas y tallos) fue aumentado con la fertilización potásica. En planta entera el % de K fue mayor que en hojas, pero este % de K en planta entera declinó abruptamente con el avance de la madurez; lo que no ocurre en los tejidos de las hojas.

Lo anterior concuerda con lo afirmado por Lanyon et. al., (1988): la mayoría de los nutrientes tienen su mayor concentración en las hojas a excepción del K, al estar su mayor concentración en los tallos.

Ha sido observado un aumento en la concentración de N con la disponibilidad de K. La tasa de fijación simbiótica de N esta asociada a una buena nodulación; ella puede decrecer con inadecuada disponibilidad de K, ya que se reduce la actividad enzimática. Este

decrecimiento en la fijación de N es una posible respuesta secundaria de la reducción de la fotosíntesis, cuando el crecimiento de los brotes es restringido por bajos niveles de K (Lanyon et. al., 1988).

2.3.2.1 Funciones del potasio en la planta

- mantener el nivel de agua en la planta, la presión osmótica, y controlar la apertura y cierre de los estomas. (Esto puede ser cumplido por el Na)
- acumulación y translocación de los hidratos de Carbono sintetizados.
- activador de una gran cantidad de enzimas.

2.3.3 FERTILIZACIÓN POTÁSICA

La capacidad de los suelos de suministro de este nutriente en el país es muy heterogénea, en el relevamiento de 97 chacras comerciales realizado por el INIA se comprobó que existe un % significativo de las mismas con posibles problemas. Esto varía entre 20 y 50 % de las chacras con valores de K en planta inferiores a lo que se puede considerar como un nivel crítico de 2 a 2,5 % de K respectivamente (Morón, 2000).

Si bien el contenido de K intercambiable en el suelo puede ser un indicador de la capacidad de suministro de este nutriente, se presenta una asociación más clara entre el contenido de K en las plantas de alfalfa y la relación del K con respecto al Ca y Mg en el complejo de intercambio catiónico del suelo. No existe información nacional clara respecto al comportamiento de la alfalfa al agregado de fertilizantes potásicos para suelos de diversa capacidad de suministro de este nutriente (Morón, 2000).

Las fertilizaciones con potasio deben ser ajustadas de acuerdo con los niveles de K intercambiable en el suelo, considerándose los valores superiores a 0,25 meq/100gr de suelo como suficientes. En suelos de textura arenosa incluso se pueden fijar niveles superiores a 0,15 meq/100gr de suelo como adecuados sin necesidad de fertilizaciones (Casanova, 1996).

Suelos inicialmente con elevado suministro de K deberán producir con sistemas de elevadísimas extracciones anuales para manifestar respuesta, siendo la eficiencia de la fertilización baja una vez que debemos comenzar a agregar K (Casanova, 1996).

La respuesta en rendimiento de alfalfa con aplicaciones de K, se obtiene cuando es aplicado hasta un valor de 1,25 % de la M.S. de la pastura en el estado de floración temprana y ocurren respuestas significativas cuando más del 15 % de las plantas muestran síntomas de deficiencia de K (Kimbrough, 1971).

Según Muslera y Ratera (1983), la fertilización de mantenimiento debe realizarse en los casos en que sea necesario a la salida del invierno.

Los mismos establecen que las recomendaciones para fertilizar son 200 a 300 kg/ha de K_2O en suelos pobres (equivalente a unos 500 kg/ha de KCl) y refertilizaciones anuales de 100 a 200 kg/ha de K_2O según el contenido del suelo. Estas recomendaciones que se aplican a alfalfares en régimen de corte se modificarán según el sistema de explotación, debiendo reducirse cuando se haga un aprovechamiento total o parcial en pastoreo.

Las aplicaciones separadas pueden ser recomendadas cuando se agregan altas dosis de K. Sin embargo Tesar (1985) (citado por Lanyon et. al., 1988) establece que la separación en la aplicación de 372 kg de K fraccionado, una mitad en otoño o primavera, y una cuarta parte en cada corte, comenzando en primavera temprana, no hacen aumentar el nivel de rendimiento en 3 años sobre suelos con un potencial de rendimiento de 17 t/ha.

Sin embargo en tasas superiores a los 372 kg/ha de K, aplicaciones fraccionadas pueden tener ventajas para evitar daños potenciales por Cl, cuando se utiliza KCl como fertilizante (Lanyon et. al., 1988).

Las aplicaciones superficiales son recuperadas por alfalfa más eficientemente que las hechas en la profundidad del suelo. Peterson y Smith (1973), (citados por Lanyon et. al., 1988) estiman en un 41 % de recuperación del K cuando es aplicado superficialmente, al cabo de un año de crecimiento y sólo 10 a 15 % de recuperación cuando el K fue enterrado a 45 cm..

2.4 AZUFRE

2.4.1 AZUFRE EN EL SUELO

La proporción de S -en promedio- de la corteza terrestre esta estimada entre 0,06 y 0,1 %. El S se encuentra en forma elemental, así como sulfuros, sulfatos y en combinaciones orgánicas con C y N (Cerveñansky, 2000).

La proporción del S total existente en formas orgánicas, varía considerablemente en relación al tipo de suelo y profundidad del perfil, siendo menor en los subsuelos que en los horizontes superficiales.

Existe una relación entre el C orgánico, el N total y el S total en los suelos. En suelos de Iowa estudiados por Tabatabai y Bremmer (citado por Cerveñansky, 2000) la asociación C:N:S se da aproximadamente en una relación 110:10:1,5 respectivamente.

Stewart y Bettany (Universidad de Saskatchewan, -citado por Cerveñansky, 2000-), encontraron marcadas diferencias en las medias de las relaciones de C:N:S entre y dentro de tipos de suelos del mundo. Estas diferencias han sido atribuidas a variaciones en el material parental y a otros factores de formación del suelo (clima, vegetación, intensidades de lavado y drenaje).

La relación N:S en muchos de los suelos cae dentro del estrecho rango de 6-8 : 1 (Cerveñansky,2000).

El S inorgánico en los suelos es móvil y susceptible de ser lavado en profundidad, el S percolado puede acumularse en suelos de textura fina, y ser disponible para cultivos de raíces profundas tales como la alfalfa. (Lanyon et. al., 1988).

Las condiciones que promueven las deficiencias de S son: altos niveles de rendimiento y absorción de nutrientes por los cultivos, extracciones de S fuera del sistema, tasa de mineralización de la materia orgánica, especies exigentes o mas sensibles a las deficiencias, no incorporación de S con los fertilizantes, suelos pobres en su fertilidad natural (Zamalvide, 1995).

El S es absorbido por las plantas en forma inorgánica como ion SO_4^{-2} , por lo que para estar disponible para las plantas el S orgánico debe sufrir una transformación a inorgánico, por mineralización.

La mineralización del S está afectada por: su contenido en la M.O, temperatura, humedad, pH, presencia o ausencia de plantas, tiempo y cultivo, disponibilidad y suministro de nutrientes (Cerveñansky, 2000).

Aunque los análisis de suelo para contenido de S pueden ser útiles, dichos análisis por si solos no han probado ser satisfactorios, suelos testeados durante la estación de crecimiento de la alfalfa, no proveen para Meyer y Marcun (1980) (citado por Lanyon et. al., 1988), información útil. Sin embargo ellos piensan que con niveles de 11 o 24 mg de $\text{SO}_4\text{-S/kg}$ de suelo, antes que comience el crecimiento primaveral, solo se obtenía una pequeña respuesta por parte del cultivo, al agregado de S.

Gupta y Veinot (1974) (citado por Lanyon et. al., 1988), sugieren 2 mg de $\text{SO}_4\text{-S/kg}$ de suelo como el umbral para respuesta al S en estudios de invernadero.

Por su parte Nutall (1985), considera al análisis de suelo como incierto, sin embargo observa una concentración de 4 mg de $\text{SO}_4\text{-S/ kg}$ de suelo como el límite establecido por encima del cual no es recomendado el agregado de fertilizante azufrado.

2.4.2 AZUFRE EN LA PLANTA

Aunque la alfalfa acumula más S en raíces y brotes que las gramíneas de estaciones frescas como festuca y dactilis, esta es aparentemente poco específica en sus sitios de absorción de S en las raíces (Lanyon et. al., 1988)

Distintos indicadores de estatus de S en planta han sido utilizados con éxito, tales como: S total, S- SO_4 , y N/S total.

Se muestrearon plantas de alfalfa en la cuenca lechera sur, en suelos que durante muchos años habían recibido altas dosis de P con poco o ningún S. De acuerdo a los niveles críticos manejados en la bibliografía que lo ubican en el entorno de 0,2 % de S en planta, habría varios cultivos con nivel insuficiente y ninguno tendría contenidos altos.

Por lo expuesto anteriormente debe pensarse que existen en nuestro país algunas situaciones en las cuales probablemente el S esté limitando el crecimiento de las pasturas. Si continúa la tendencia a ir eliminando al S de los fertilizantes este problema irá cobrando mayor importancia (Zamalvide, 1995). Aunque esta situación se está revirtiendo en los últimos años con la incorporación de S en los fertilizantes P.

Las grandes remociones de S se producen con los altos rendimientos de alfalfa, el rango de suficiencias para los 152 mm superiores de la planta de alfalfa ha sido de 3 a 5 g de S/ kg de M.S. (Lanyon et. al., 1988).

Los máximos rendimientos fueron logrados con 1,5 a 2,1 gr de S/kg de M.S.; y a N/S = 11, el rendimiento no difirió, sin embargo, cuando la relación N/S fue menor de 17-18. (Lanyon et. al., 1988)

Quigley y Jung (1984), (citado por Lanyon et. al., 1988), establecen 2 gr de S/kg de M.S. como un nivel adecuado para el crecimiento de alfalfa para rendimientos de 11 tt/ha.

Mills y Jones (1996), establecen para alfalfa en estado vegetativo un rango óptimo para los primeros 15 cm de la parte aérea, de 0,26 a 0,50 % de S.

En estudios de campo de Canadá fueron pequeñas las respuestas a la aplicación de S cuando la planta contenía de 1,4 a 1,8 gr. de S/Kg de MS (Lanyon et. al., 1988).

2.4.3 FERTILIZACIÓN AZUFRAADA

La alfalfa es una leguminosa que presenta requerimientos importantes de S, a su vez son muy pocos los productores que aplican fertilizantes azufrados. Aunque según relevamientos realizados no se encontraron valores de S en planta que lleven a pensar en déficit de este nutriente. Pero sí existió una interacción positiva y significativa entre el contenido de S y N en las plantas de alfalfa, las plantas con mayor contenido de N contenían mayor concentración de S (Morón, 2000).

El cultivo de alfalfa baja sus rendimientos con bajos niveles de S, en parte por causa de decrecimientos en la fijación de N. El N y S en planta fueron correlacionados en estudios de campo en Australia y en estudios de crecimiento en cámara. Hoelt y Walsh (1975), (citados por Lanyon et. al., 1988), obtienen incrementos en la absorción de altas concentraciones de S en estudios de campo en Wisconsin luego de la aplicación de S, pero no hubo incrementos en la concentración de N.

Existen elementos de juicio para pensar que en sistemas productivos intensivos podría estar cambiando la situación para algunos nutrientes, como el S. El uso intensivo de los suelos determina mayores cantidades de S exportado en productos y perdido por lixiviación o erosión; la utilización creciente de fertilizantes fosfatados concentrados carentes de S en su composición ha conducido a una reducción significativa de las cantidades de S en los sistemas de producción.

Estos elementos tendrían su máxima expresión en suelos de textura mas liviana y/o de bajo contenido de M.O. (Morón, 1996).

Suelos de texturas gruesas, bajos en M.O. serian los de mayor requerimiento de S suplementario. Los factores que contribuyen al bajo nivel de M.O., o a la lenta descomposición de la misma, tales como baja temperatura, acidez contribuyen también a la baja disponibilidad del S (Lanyon et. al., 1988)

Según una clasificación tentativa de los cultivos acorde a sus requerimientos de fertilizante con S, la alfalfa se encuentra dentro del grupo de alto requerimiento de S con un rango de 30 a 70 kg de S/ha/año necesarios en áreas deficientes (Spencer in K.D. Mc Lachlan - citado por Cerveñansky,2000).

Cuando son necesarias aplicaciones de S pueden ser realizadas en conjunto con el programa de fertilización anual. Una aplicación de 28 kg/ha de S fue óptima para el crecimiento de alfalfa en sitios con respuesta en Wisconsin. La recuperación de S fue mayor a bajas tasas de aplicación (Lanyon et. al., 1988).

Las extracciones de S son altas, para una producción de 15 tt/ha de M.S. representan 40 a 45 Kg de S elemental, que es la cantidad de S contenido en 400 a 500 Kg de superfosfato común (Muslera y Ratera, 1983).

Andrews (1977) (citado por Lanyon et. al., 1988), midió mayores respuestas en rendimiento en aplicación primaveral que en aplicación otoñal de S, presumiblemente como resultado de cambios en la morfología radicular y la exploración de un volumen de suelo adicional durante la estación de crecimiento.

Lanyon et. al.(1988), afirma que dada su variada disponibilidad diferencial, la combinación de S como sulfato y S elemental fue recomendada para su aplicación una ves cada 3 años, cuando se requiere S para el crecimiento del cultivo.

En los experimentos llevados a cabo por Nuttall (1985), concluyó que para chequear el nivel de azufre en el suelo sería adecuado un intervalo de 4 a 5 años entre muestreos de campos.

2.5 MICRONUTRIENTES

2.5.1 COBRE

La concentración de Cu en la corteza terrestre es en promedio de 55 a 70 ppm.

Dentro de los factores que afectan la disponibilidad y movimiento del Cu se encuentran: textura del suelo, pH, CIC, contenido de materia orgánica y óxidos hidratados (Cerveñansky, 1996).

Algunos rendimientos responden según se ha informado al agregado de Cu en alfalfas que se desarrollan en suelos de alto contenido de materia orgánica y en suelos arenosos. El Cu es menos disponible cuando el pH del suelo es alto, por lo que pueden esperarse deficiencias altas y más frecuentes que a niveles de pH más bajos.

Con 5 ppm de Cu en el suelo es adecuado para alcanzar 9 ppm a nivel de plantas. Los niveles de Cu en la planta pueden variar significativamente de cosecha en cosecha, aparentemente los resultados difieren con la intensidad de luz y la temperatura durante el período de crecimiento (Lanyon et. al., 1988).

Mills y Jones (1996), establecen para los primeros 15 cm. de la parte aérea de la planta de alfalfa en estado vegetativo, un rango óptimo de 7 a 30 ppm de Cu.

2.5.2 HIERRO

Dado que el Fe puede concentrarse o diluirse en el suelo, durante los procesos de desarrollo del mismo, su concentración normal en el suelo varía ampliamente de 0,7 a 5,5%. El nivel promedio está estimado en 3,8 %. La mayoría de este Fe del suelo es encontrado en los minerales primarios, arcillas, óxidos e hidróxidos.

El Fe es absorbido por las raíces de las plantas como Fe^{+2} y puede ser transportado a la superficie de las raíces como quelatos de Fe.

La solubilidad del Fe es afectada por la hidrólisis, el pH, la quelatación y la oxidoreducción (Cerveñansky, 1996).

Morvedt (1980) (citado por Tisdale et al., 1985), en un ranking de sensibilidad de los cultivos a bajos niveles de Fe disponibles en el suelo, coloca a la alfalfa como tolerante a moderadamente tolerante, según variaciones en el suelo de las condiciones de crecimiento y de la diferente respuesta de las variedades de un cultivo dado.

Mills y Jones (1996), establecen para los primeros 15 cm. de la parte aérea de la planta de alfalfa en estado vegetativo un rango óptimo de 30 a 250 ppm de Fe.

2.5.3 MANGANESO

Las cantidades totales de Mn en los suelos están en el rango entre 20 y 3000 ppm y un promedio de 600 ppm. La mayoría de los suelos neutros o básicos son potencialmente

deficientes en Mn. Sobre suelos calcáreos o derivados de materiales calcáreos existen altas probabilidades de que ocurran deficiencias de este micronutriente.

Es aceptado generalmente que para una nutrición adecuada de los cultivos, los niveles de Mn de las formas solubles en agua, intercambiable y Mn fácilmente reducible estaría en el orden de 2 a 3 ppm, 0,2 a 5 ppm y 25 a 65 ppm respectivamente.

Los factores que influyen en la solubilidad del Mn del suelo incluyen: pH, potencial redox y formación de complejos. La humedad del suelo, la aireación y la actividad microbiana afectan la dinámica del proceso redox, mientras que la formación de complejos está afectada por la materia orgánica y la actividad microbiana.

La forma en que es absorbido por las plantas es Mn^{+2} (Cerveñansky, 1996).

Morvedt (1980) (citado por Tisdale et al. 1985), elaboró un ranking de sensibilidad de los cultivos a bajos niveles de Mn disponible en el suelo y colocó a la alfalfa dentro de la categoría sensible.

Mills y Jones (1996), establecen para los primeros 15 cm. de la parte aérea de la planta de alfalfa en estado vegetativo un rango óptimo de 31 a 100 ppm de Mn.

2.5.4 ZINC

Su contenido total en los suelos está en el rango de 10 a 200 ppm y su promedio es 50 ppm. La concentración total de Zn en el suelo, no es un criterio sobre su disponibilidad para las plantas como en el caso de otros nutrientes.

Las condiciones del suelo mas asociadas a deficiencias son: suelos arenosos ácidos, de bajo contenido total de Zn; suelos neutros o básicos, especialmente suelos calcáreos; suelos con altos contenidos de arcilla fina y limo; suelos con alto contenido de P disponible; algunos suelos orgánicos, y sus subsuelos expuestos por operaciones de nivelación o por la erosión del viento y el agua.

Las cantidades de Zn^{+2} encontradas en la solución del suelo son muy bajas. En suelos Nueva York fueron encontradas concentraciones de 75 ppb, mientras que en un grupo de suelos de Canadá, los niveles de Zn fueron menores a 2 ppb. En promedio un 60 % del Zn en solución en estos suelos estaba complejado, presumiblemente por la materia orgánica

Los factores que afectan la disponibilidad de Zn para las plantas son: pH, adsorción en la superficie de las arcillas, materia orgánica, carbonatos y óxidos minerales; complejación por la materia orgánica; interacciones con otros nutrientes; condiciones climáticas.

La alfalfa es considerada de sensibilidad media a bajos niveles de Zn disponibles en el suelo (Cerveñansky, 1996).

Mills y Jones (1996), establecen para los primeros 15 cm. de la parte aérea de la planta de alfalfa en estado vegetativo un rango óptimo de 21 a 70 ppm de Zn.

2.6 FERTILIZANTES

Los fertilizantes fosfatados utilizados en Uruguay se agrupan en 2 grandes categorías:

- Solubles -superfosfato de calcio
-supertriple
- Insolubles -hiperfosfato
-hiperfos

A continuación se desarrollan las características de estos fertilizantes.

Cuadro N° 2. Tipos y características de los fertilizantes fosfatados comerciales utilizados

	Formula	P ₂ O ₅ asimilable	P ₂ O ₅ total	Azufre
Superfosfato común	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	21	23	13
Superfosfato triple	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	44-53	44-53	1,5
Hiperfos	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ +francolita	14	28	4
Fosforita	francolita	10	28	-

(Hernández, 1999)

2.6.1 CLASIFICACIÓN

2.6.1.1 Fertilizantes fosfatados solubles

Estos materiales presentan un contenido elevado de P soluble al agua y citrato de amonio 1 N. Se obtienen a partir del tratamiento ácido o térmico en el que se aumenta la solubilidad del P.

2.6.1.1.1 Superfosfato de Ca

Era de uso generalizado en nuestro país, se obtiene mediante la reacción del H₂SO₄ sobre la roca fosfatada. El producto resultante es una mezcla de fosfato monocálcico (Ca(H₂PO₄)₂) y de yeso (CaSO₄), (Hernández,1999).

2.6.1.1.2 Supertriple

Se obtiene tratando al P de roca con H₃PO₄. Más del 90 % es soluble en agua y se clasifica como asimilable.

2.6.1.2 Fertilizantes fosfatados insolubles

2.6.1.2.1 Hiperfos (Fosfato de roca parcialmente acidulado)

En lugar de tratar la roca fosfatada con la cantidad total de ácido necesaria para transformar todo el P de la misma en P soluble en agua, se agrega una cantidad menor de ácido lo que resulta en una acidificación parcial. El resultado es un fertilizante que contiene una parte del P como soluble en agua o citrato de amonio y otra parte como P insoluble en agua y citrato de amonio, es decir con la solubilidad en ácido cítrico característica de la roca fosfatada original.

2.6.1.2.2 Hiperfosfato (Fosforita molida)

La roca fosfatada finamente molida puede ser utilizada directamente como fuente de fósforo para las plantas. Se han diferenciado las fosforitas duras y las fosforitas blandas, siendo estas últimas, las de usos directo como fertilizantes.

Las fosforitas blandas provienen siempre de depósitos de origen sedimentarios, la roca fosfatada aparece cristalizada y su composición química difiere mucho de la fluorapatita. En efecto, en estos materiales parte del PO_4^{-3} ha sido sustituido por F^{-1} y CO_3^{-2} y a su vez, parte del Ca ha sido reemplazado por otros cationes (Mg y Na). El resultado es un material generalmente menos rico en P que las fosforitas duras, mas pobre en Ca, pero térmicamente más inestable y de mayor reactividad química. Sería una francolita cuya formula general es:



Cuadro N° 3. Composición química de la fosforita de Gafsa (Tunez), utilizada en este trabajo.

	P ₂ O ₅	CaO	F	CO ₂	Na ₂ O	P (soluble en ácido cítrico)
Fosforita Gafsa	28,8	48,3	3,4	6,3	1,3	34,4

(Hernández, 1999)

2.6.2 COMPARACIÓN DE FUENTES Y FERTILIZANTES

Con respecto a la eficiencia de las fuentes solubles e insolubles para la refertilización en los trabajos realizados por Castro y colaboradores (1981), la eficiencia de las fosforitas en la refertilización de pasturas fue menor a la de las fuentes solubles, en todos los suelos estudiados. En experimentos realizados por la Cátedra de Fertilidad el mejoramiento con leguminosas en cobertura en diferentes suelos (Casanova, Cerveñansky, Hernández, Barbazán, com. pres.), también se observó cierta superioridad de la fuente soluble, sobre todo en dosis bajas de refertilización (Hernández, 1999).

Novella y Castro (1980) reseñan que los resultados obtenidos en la comparación de eficiencias de super e hiperfosfatos en el país han mostrado que, aunque la fosforitas pueden ser utilizadas con éxitos para la refertilización de pasturas en muchos suelos,

resultan de muy baja eficiencia en suelos con alto contenido de Ca del litoral oeste del Uruguay. El ensayo realizado consistió en la siembra de trébol blanco "Estanzuela Zapicán" sobre dos suelos, un brunosol y un planosol sobre formación Libertad, con aplicaciones de superfosfato común, hiperfosfato y una mezcla de hiperfosfato molido con azufre. Los resultados marcan una baja eficiencia inicial del hiperfosfato con respecto al superfosfato en estos suelos, la cual en el primer año es inferior al 30% cuando se toma en cuenta la cantidad de P_2O_5 agregado. La eficiencia relativa del hiperfosfato va aumentando con los años, llegando a igualar al superfosfato al tercer año en el brunosol. Aun así, al cabo de los períodos de evaluación la eficiencia total del hiperfosfato solo llega a ser un 56% de la del superfosfato en la mayoría de los suelos.

Cuando se incorpora al suelo un fertilizante fosfatado soluble en agua, la disponibilidad del P es máxima en el momento de su aplicación, luego disminuye debido a los fenómenos de fijación. En cambio, cuando se aplican fertilizantes insolubles la disponibilidad de P es mínima en el momento de su aplicación, luego aumenta al reaccionar con los agentes del suelo, liberan P soluble; este P soluble reaccionará en forma similar al proveniente de una fuente soluble (Otegui, 1989).

Un factor de importancia en la solubilización de las fosforitas es la capacidad de fijación de P del suelo en que se aplican. McLean y Logan, citados por Reinhorn, Hagin y Axelrot (1978), encontraron que en suelos con alta capacidad de fijación de P, el contenido de P en las plantas disminuía a medida que aumentaba la solubilidad de las fuentes de fertilizante utilizadas.

El nivel de P del suelo es otro factor que puede variar la respuesta a la fosforita. En el caso de zonas con muchos años de fertilización existe mucha evidencia que indica la capacidad de aporte del P del suelo al cultivo, opacando la respuesta al P incorporado en forma de fertilizante (Englestd y Terman 1980).

Por el contrario Khasawneh y Sample (1978), sostienen que en suelo con alto contenido de P la solubilización de las fosforitas se ve muy reducida y no es posible mantener los niveles de extracción de P por medio del uso de fuentes insolubles.

La eficiencia relativa de las fosforitas en relación a la del P soluble, aumenta al disminuir el pH; más aun cuando es usado en suelos ácidos, extremadamente deficientes en P. Esta relación ha sido interpretada como un efecto simple de pH, en el cual la acidez es el agente responsable para una mayor disponibilidad. (Englestd y Terman, 1980)

Algo similar encontraron Chu y colaboradores, 1962; (citados por Labella y Améndola, 1977); observaron que las mejores respuestas a las fosforitas se obtenían en suelos de bajo pH y bajo nivel de Fe. En suelos de pH similar la respuesta a la aplicación de fosforitas disminuía al incrementar el Ca intercambiable (Bennett et.al., 1957; citados por Labella y Améndola, 1977).

Sin embargo Labella y Amendola (1977), citan diferentes autores que han encontrado en suelos de similar pH, eficiencias relativas diferentes.

Asimismo Castro et al. (1981), encontraron poca relación entre pH y rendimiento de la fosforita en un amplio rango de suelos, estableciendo que otros factores como el contenido de materia orgánica, saturación de bases y capacidad de intercambio podrían explicar este comportamiento.

Las condiciones de suelo que favorecen la solubilización de las fosforitas son: adecuada humedad de suelo, buen contenido de materia orgánica y actividad biológica (Flieg citado por Amberger, 1978; y Trolldenier citado por Welte, 1978).

El efecto de la materia orgánica del suelo sobre el fertilizante aplicado es probablemente doble: el primero es inmediato y está relacionado al almacenamiento y reserva de Ca; el segundo es lento e indirecto, dado que la materia orgánica del suelo es un buen índice del status de fertilidad mineral total del suelo. El P inorgánico liberado del fosfato de roca puede ser incorporado al depósito de P orgánico del suelo, brindando de este modo un camino indirecto de liberación de P del fosfato de roca, del cual las plantas obtienen sus requerimientos de P por mineralización (Khasawneh y Doll, 1978).

En nuestro país cuando se compara la eficiencia de las distintas fuentes se separan los suelos en calcáreos y no calcáreos porque se piensa que la escasa solubilidad de las fosforitas no se debe exclusivamente a pH altos sino a la gran cantidad de Ca que interfiere en su disolución (Uruguay, CIAAB, 1971).

La actividad del ion Ca en la solución del suelo, es considerada un factor determinante en las diferencias de eficiencia que presenta una fuente de P insoluble en agua en suelos de pH similar; a menor actividad del ion Ca en la solución del suelo, mayor será la disolución de la fosforita (Rabuffetti et al, 1981; citado por Aliall y Duque, 1986).

Otro factor que afecta la eficiencia de uso de las fosforitas es el método de la aplicación de las mismas. En el caso de los fertilizantes solubles muchas veces es conveniente la aplicación en bandas de manera de lograr una ubicación más cercana al cultivo y mejorar de esta forma su absorción (Englestad y Helluans, 1993; citado por Collares Forteza, 1996).

En el caso de los fertilizantes insolubles como las fosforitas se recomienda realizar un mezclado lo mas uniforme posible con el suelo, por lo que muchos autores plantean como forma de aplicación el voleo y su posterior incorporación al suelo mediante arado, disquera u otra herramienta (Collares Forteza, 1996).

La capacidad de absorción de P se relaciona con la capacidad de absorción de Ca y la acidificación de la rizósfera. Aquellas especies que acumulan mucho Ca o que acidifican en mayor grado el volumen de suelo en contacto con las raíces, podrán absorber más fácilmente el P proveniente de una fuente insoluble. En general se dice, que las leguminosas debido a su mayor absorción de Ca son más eficientes que las gramíneas en la absorción del P de la fosforita (Rabuffetti, et. al., 1981; citado por Aliall y Duque, 1986).

Entre las especies cultivables las leguminosas, (Trébol blanco, Trébol rojo, lotus y alfalfa) y familias de las Brásicas (Mostaza, rábano, etc.), son conocidas por su capacidad de utilizar el P poco soluble proveniente de las fosforitas (Collares Forteza, 1996).

Russell y Russell (1968), citado por Morón (1982), reportan que algunas especies como la Brásica tienen capacidad considerable para utilizar fosfatos insolubles; leguminosas como trébol blanco, rojo y alfalfa tienen capacidad intermedia; y por último cereales, gramíneas y papa tienen capacidad menor.

Mc Lean (1956), llevó a cabo estudios comparativos, en invernáculo, de respuesta de cultivos de avena y alfalfa a la aplicación de fosfato de roca, superfosfato y una combinación de ambos en un suelo arcilloso. Los estudios presentaron al fosfato de roca como una fuente no muy eficiente de P. En ambos cultivos, el superfosfato produjo un incremento significativo del rendimiento sobre el de la combinación de ambos y sobre el fosfato de roca. (Ver cuadro N°4).

Cuadro N°4 .Efecto del tratamiento fosfatado sobre el rendimiento y contenido de P.

Tratamiento	Alfalfa		Avena	
	Rend.*	P (%)	Rend. *	P (%)
Testigo	2.52	0.155	6.18	0.130
Fosfato de roca	3.01	0.200	6.58	0.149
Superfosfato	4.04	0.239	11.76	0.257
Combinación	3.52	0.211	10.99	0.245
L.S.D (0,05)	0.51	0.015	0.83	0.013
(0,01)	0.73	0.021	1.19	0.019

* gr/ maceta

(Mc Lean, 1956)

En nuestro país se llevó a cabo un ensayo por Castro et al., (1981), en el cual se evaluó el comportamiento de una mezcla de trébol blanco, trébol subterráneo y féstuca sembrada sobre diversos suelos, y se comparó su respuesta a la fertilización inicial y a las refertilizaciones con dos fuentes de fertilizantes fosfatados.

Los suelos empleados variaban en un rango de pH de 5,4 a 6,2, de 2,2 a 5,7 % de materia orgánica y de 5,8 a 11,8 ppm de P asimilable, dentro de diferentes categorías de edades, desde campo recién roturado hasta chacra vieja. Los fertilizantes empleados fueron superfosfato e hiperfosfato, en diferentes dosis tanto en la implantación como en las refertilizaciones. Las eficiencias relativas del hiperfosfato frente al superfosfato calculadas en base a las aplicaciones iniciales, presentan valores variables desde 0,322 hasta 1,106. Todos los valores de eficiencias se mantuvieron por debajo de uno, excepto el valor de 1,106 que corresponde a una pradera arenosa sobre cretáceo, con valores de pH, MO y P-Bray más bajos de todos los suelos estudiados. La eficiencia del hiperfosfato en

refertilizaciones fue aparentemente menor que la lograda para fertilización inicial, especialmente para la pradera arenosa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A partir del 2001 y durante un año, se evaluó la respuesta de alfalfa a la refertilización fosfatada, para diferentes fuentes de fósforo, y el agregado de potasio, azufre y micronutrientes, como accesorios en tratamientos específicos.

Se instalaron a tales efectos ensayos de campo en diferentes sitios experimentales (Cuadro N° 5), sobre alfalfares de 2° año, para realizar la evaluación en diferentes suelos, elegidos principalmente por sus características físico-químicas.

El estado general de los alfalfares era bueno, exceptuando Cololó con una baja densidad de plantas por m².

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS EXPERIMENTALES

Cuadro N° 5 - Sitios experimentales donde se instalaron los ensayos.

N° SITIO	PRODUCTOR	UBICACION
1	Risso	Ruta N° 2, Dpto. Soriano
2	Cololó	Unidad Cooperaria N°1 Cololó, Dpto. Soriano
3	Keel	Ruta N° 1, Km. 99, Dpto. San José
4	Nva. Palmira	Nueva Palmira, Dpto. Colonia
5	Gutierrez	Ruta N° 1, Km. 108, Dpto. Colonia
6	Parodi	Ruta N° 1, Km. 45.500, Dpto. San José
7	Sosa	Ruta N° 1, Km. 61, Colonia Italia, Dpto. San José

Según la "Carta de Reconocimiento de Suelos" (escala 1:1.000.000), los sitios pertenecen a las siguientes unidades con sus respectivos suelos dominantes:

Sitio	Unidad	Suelos dominantes
Parodi	Libertad	Brunosoles Eutricos. L.
Sosa	Libertad	Brunosoles Eutricos. L.
Gutierrez	Ecilda Paullier- Las Brujas	Brunosoles Eutricos (subeutricos) Tipicos (Luvicos) Fr / L.
Keel	Ecilda Paullier- Las Brujas	Brunosoles Eutricos (subeutricos) Tipicos (Luvicos) Fr / L.
Nva. Palmira	Fray Bentos	Brunosoles Eutricos Tipicos L Ac / Fr.
Risso	Risso	Brunosoles Eutricos Tipicos Fr / L Ac.
Cololo	Cuchilla Corralito	Brunosoles Subeutricos Luvicos / Tipicos Ar/ Fr (Ar).

Cuadro N° 6 .Datos de análisis de suelos por sitio (2001).

Sitio	Muestreo	Bloque	pH agua	P (ppm)	meq / 100 g				MO (%)
					Ca	Mg	K	Na	
Sosa	30/07/01	1	5,5	13,7	10,0	4,28	0,56	0,63	3,3
		2	5,6	12,8	9,4	3,78	0,63	0,68	3,2
		3	5,6	11,5	9,7	3,70	0,60	0,72	3,3
<i>Promedio</i>			5,6	12,7	9,7	3,92	0,60	0,68	3,2
D. Gutierrez	30/07/01	1	5,6	13,4	11,7	3,09	0,95	0,51	3,7
		2	5,9	12,9	10,8	2,86	0,88	0,46	4,2
		3	6,3	12,7	11,9	3,16	0,93	0,46	4,2
<i>Promedio</i>			5,9	13,0	11,5	3,04	0,92	0,48	4,0
Cololo	29/05/01	1	5,9	28,4	17,1	2,76	0,94	0,38	4,3
		2	6,2	29,9	17,6	2,92	1,01	0,44	4,1
		3	6,0	23,9	18,9	3,00	0,92	0,49	3,9
<i>Promedio</i>			6,0	27,4	17,9	2,89	0,96	0,44	4,1
L. Parodi	12/06/01	1	6,3	14,9	8,2	3,56	0,81	0,62	3,8
		2	6,2	13,9	8,4	3,54	0,77	0,59	3,7
		3	6,2	14,3	8,7	3,54	0,66	0,59	3,6
<i>Promedio</i>			6,2	14,4	8,4	3,55	0,75	0,60	3,7
Nva. Palmira	12/06/01	1	6,2	16,1	13,8	1,87	0,92	0,32	4,9
		2	6,3	17,8	13,6	2,13	0,94	0,32	4,3
		3	6,4	11,6	12,2	2,01	0,82	0,32	4,4
<i>Promedio</i>			6,3	15,2	13,2	2,00	0,89	0,32	4,5
Risso	12/06/01	1	6,2	5,6	18,1	4,72	0,69	0,65	3,8
		2	6,2	6,5	18,3	4,61	0,67	0,53	3,7
		3	6,2	6,6	17,0	5,13	0,75	0,66	3,6
<i>Promedio</i>			6,2	6,2	17,8	4,82	0,70	0,61	3,7
Keel	12/07/01	1	5,7	7,9	10,6	4,10	0,78	0,57	3,8
		2	5,7	7,5	11,1	4,28	0,84	0,48	4,0
		3	5,7	8,9	10,5	4,32	0,87	0,53	3,8
<i>Promedio</i>			5,7	8,1	10,7	4,23	0,83	0,53	3,9

3.2 TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados en el diseño experimental se especifican con códigos y nomenclatura utilizados en el texto y gráficos

Se utilizó un diseño experimental de bloques con parcelas al azar, con tres repeticiones; siendo las parcelas de tres por dos metros.

Cuadro N° 7 A y B- Tratamientos evaluados en cada sitio (en negrilla se destaca la diferencia en modelos de tratamientos especificándose cual fue utilizado en cada sitio experimental)

A.- COLOLÓ - RISSO - KEEL - Nva. PALMIRA - SOSA - GUTIERREZ.

CODIGO	TRATAMIENTO	NOMENCLATURA
1	Testigo	0
2	Superfosfato 60 Kg. P ₂ O ₅ /há.	Sf 60
3	Hiperfos 60 Kg. P ₂ O ₅ /há.	Hf 60
4	Hiperfosfato 30 Kg. P ₂ O ₅ /há.	H 30
5	Hiperfosfato 60 Kg. P ₂ O ₅ /há.	H 60
6	Hiperfosfato 60 + Azufre	H 60 + S
7	Supertriple 30 Kg. P ₂ O ₅ /há.	St 30
8	Supertriple 60 Kg. P ₂ O ₅ /há.	St 60
9	Supertriple 60 Kg. P ₂ O ₅ /há. + Micro s/azufre	St 60 + Micro
10	Supertriple 60 Kg. P ₂ O ₅ /há. + 60 K ₂ O	St 60 + 60 K ₂ O

B.- PARODI

CODIGO	TRATAMIENTO	NOMENCLATURA
1	Testigo	0
2	Superfosfato 60 Kg. P ₂ O ₅ /há.	Sf 60
3	Hiperfos 60 Kg. P ₂ O ₅ /há.	Hf 60
4	Hiperfosfato 30 Kg. P ₂ O ₅ /há.	H 30
5	Hiperfosfato 60 Kg. P ₂ O ₅ /há.	H 60
6	Supertriple 30 Kg. P ₂ O ₅ /há.	St 30
7	Supertriple 60 Kg. P ₂ O ₅ /há.	St 60
8	Supertriple 60 Kg. P ₂ O ₅ /há. + Micro s/azufre	St 60 + Micro
9	Supertriple 60 Kg. P ₂ O ₅ /há. + 60 K ₂ O	St 60 + 60 K ₂ O
10	Supertriple 30 Kg. P₂O₅/há en otoño + 30 Kg. P₂O₅/há en primavera.	St 30 + 30

Las características de las fuentes de fósforo utilizadas fueron:

- Superfosfato común, granulado (0-21-23-0-13).
- Supertriple, granulado (0-46-46-0-1.5).
- Hiperfos, granulado (0-14-28-0-4).

- Hiperfosfato, en polvo (0-12-28-0).

La fuente de azufre aplicada fue Azufre agrícola en polvo. La dosis aplicada se calculó tomando en cuenta la relación P:S = 1:1.

En el tratamiento con micronutrientes se aplicaron 10 kg./ha de Sequelene Combi (producto comercial) con la siguiente composición:

- ◆ Producto comercial:

MgO sol. en H ₂ O - 4.3 %.	B sol. en H ₂ O - 0.9 %.
Fe “ “ “ - 2.2 % (EDTA).	Cu “ “ “ - 0.8 %.
Mn “ “ “ - 1.5 % (EDTA).	Mo “ “ “ - 0.2 %.
Zn “ “ “ - 1.1 %.	

En el tratamiento con potasio se aplicaron 100 kg/ha de KCl.

3.3 MANEJO DE LOS ENSAYOS

La instalación de los ensayos se realizó entre mayo y julio del 2001. La refertilización de otoño se realizó en cobertura al voleo con la dosis y fuente correspondiente. (Cuadro N° 7 A y B)

La cosecha de forraje se realizó con equipo AGRIA. Los momentos de corte se determinaron en función de las condiciones normalmente tenidas en cuenta por los productores y acorde a las características del cultivo (10 a 50 % floración o a brotación de macollos basales). En cada corte se evaluaron todas las parcelas del ensayo, cortándose el forraje remanente, retirándolo de la zona experimental.

Cuadro N° 8. Calendario de actividades

Sitio	Fecha Instalación	N° corte	Fecha de corte
Parodi	12/06/01	1	28/09/01
		2	07/11/01
		3	13/12/01
		limpieza	29/01/02
Sosa	30/07/01	1	28/09/01
		2	07/11/01
		3	13/12/01
		limpieza	29/01/02
Gutierrez	30/07/01	1	28/09/01
		2	07/11/01
		3	13/12/01
		limpieza	29/01/02
Keel	12/07/01	1	28/09/01
		2	07/11/02
		3	13/12/01
		limpieza	09/01/02
Nva. Palmira	12/06/01	1	09/08/01
		2	05/10/01
		3	09/11/01
		4	14/12/01
		limpieza	30/01/02
Risso	12/06/01	1	09/08/01
		2	05/10/01
		3	09/11/01
		4	14/12/01
		limpieza	30/01/02

Cololó	29/05/01	1	09/08/01
		limpieza	05/10/01
		2	09/11/01
		limpieza	14/12/01
		3	30/01/02

3.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

3.4.1 ANÁLISIS DE SUELO

En la instalación - en cada sitio experimental - se muestreó el suelo con calador por bloque, a una profundidad de 15 cm. Las muestras compuestas de 3 tomas de calador fueron posteriormente secadas en estufa (a 40° C), molidas y tamizadas. Se realizaron los siguientes análisis en suelo: fósforo (Bray N°1), pH en agua, materia orgánica (Walker y Black), K intercambiable, Ca y Mg intercambiables (determinados por absorción atómica).

3.4.2 ANÁLISIS DE PLANTA

En cada corte se realizó un muestreo de forraje para todos los tratamientos evaluados, a partir del cual se determinó el porcentaje de materia seca (secado en estufa a 70° C) por 48-72 horas.

3.4.2.1 Preparación de las muestras

Las muestras destinadas para el análisis de planta se molieron posteriormente en un molino Micro Waley.

Posteriormente, las muestras se vuelven a secar a 60°C. (Con las bolsas abiertas).

Se pesan 0,5 gr. de cada muestra y se la coloca en tubos de digestión bien secos, y se les agrega 10 ml de H₂SO₄.

Luego se coloca los tubos con las muestras atacadas con H₂SO₄ en el digestor durante 1 hora a 350°C. Luego se dejan enfriar y se les agrega 4ml. de H₂O₂ (perhidrol).

Se colocan nuevamente en el digestor por 15 minutos.

Cuando están fríos los tubos se pasa el contenido de los mismos a tubos aforados de 250mlts. y se enrasan con agua destilada

Las muestras ya están listas para realizar los distintos análisis.

3.4.2.2 Determinación de P

Para determinar fósforo se utilizó el método de colorimetría.

-Se pipetearon 2 ml. de la digestión foliar a un matraz aforado de 50 ml.

-Se agrega agua destilada hasta aproximadamente la mitad. Se le adicionan 8 ml. de la solución B (molibdato + tartrato+ ascórbico), y se agita por rotación.

-Se afora, y se agita por inversiones sucesivas.

-Se lee en espectrofotómetro a 882nm después de 1 hora.

3.4.2.3 Determinación de K

Se realizó por el método de fotometría de llama. Para ello se midió directamente de la solución en el fotómetro de llama.

3.4.2.4 Determinación de N

Se utilizó el método Kjeldahl. El mismo consiste en:

- extraer 100 cc. de la solución y se vierten en un balón de destilación.

- se agregan 250 ml de agua destilada y gotas de fenoftaleína

- se preparan los Erlenmeyer de 250 ml con 25 ml de ácido bórico y se colocan en los tubos de desprendimiento del aparato de destilación, para recoger en ellos el destilado (aprox. 100 ml).

- luego se agregan 40 ml de hidróxido de sodio al 50% al balón de destilación; se agita; y se enciende el mechero.

- valorar el contenido del matraz (destilado) con HCl 0,1 N hasta que el líquido vire al color rosado. Con el gasto de HCl se calculó el N total.

3.4.2.5 Determinación de azufre

Se determinó por la técnica de Ba residual no precipitado medido por absorción atómica

Para ello se procedió de la siguiente manera:

-Colocar 1 gr. de muestra vegetal previamente secada en estufa a 65°C en tubos de digestión.

-Agregar 5ml de ácido nítrico y dejar una noche.

-Colocar los tubos en el digestor y elevar paulatinamente la temperatura hasta 80-90°C, mantener durante 1/2 hora, retirar y dejar enfriar.

-Agregar 3ml de ácido perclórico y calentar hasta 200°C, mantener durante 1 hora, retirar, dejar enfriar y pasar a matraces aforados de 50 ml.

-Tomar 10ml del mineralizado en matraz de 100 ml, ajustar el pH a 2,5-3 con "Orange IV" y NH₄OH hasta virar a color amarillo- rojizo.

-Agregar 5ml de solución 500 ppm de Ba, aforar, agitar, y dejar en reposo hasta el día siguiente.

-Medir el Ba en el líquido sobrenadante en espectrofotómetro de absorción atómica. Con este valor se realizan los cálculos de % S.

3.4.2.6 Determinación de micronutrientes (Fe, Mn, Cu,Zn)

Para la determinación se utilizó la técnica de digestión de muestras foliares por vía seca; la misma consiste en:

- pesar 1 gr. de muestra seca y molida y colocarla en crisol de porcelana. Colocar los crisoles en plancha electrónica para quemar la muestra, y luego en una mufla y llevar a 200°C, manteniéndolos durante 1 hora; luego elevar la temperatura a 500°C y mantenerlos 5 horas.

- sacar los crisoles y dejar enfriar.

- agregar unas gotas de agua a las cenizas; agregar 5 ml de HCl al 20% para disolver las mismas.

- pasar las cenizas a un aforado de 50 ml, llevando a volumen con agua destilada.

- luego se realiza la determinación por absorción atómica y emisión.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se procesaron estadísticamente utilizando un programa de análisis estadístico (SAS). El análisis de varianza se realizó utilizando 3 niveles de significación: 10; 5; 1 %.

Este mismo programa realizó el test de Tukey`s para los mismos datos usando un nivel de significación de: $\alpha = 0,05$. Este método de análisis es de un nivel de exigencia mayor -en la comparación de las medias de rendimiento de MS- para la detección de diferencias, además compara el rendimiento de todos los tratamientos entre sí, mientras que en el ANOVA se comparan solo los contrastes planteados.

Ambos análisis estadísticos se realizaron para los rendimientos en Materia Seca (Kg/ha) de cada tratamiento y de cada corte y para el total de MS de la suma de los cortes.

En el ANOVA, para cada sitio se compararon estadísticamente algunos tratamientos entre sí. Los contrastes realizados fueron los siguientes

- 1- Testigo vs resto
- 2- Solubles vs insolubles
- 3- Dosis 60: superfosfato vs supertriple
- 4- 30 supertriple vs 60 supertriple
- 5- Dosis 60: supertriple vs supertriple + micro
- 6- Dosis 60: supertriple vs supertriple + potasio
- 7- Dosis 60: hiperfos vs hiperfosfato
- 8- 30 hiperfosfato vs 60 hiperfosfato
- 9- Dosis 60: hiperfosfato vs hiperfosfato + Azufre

Se buscó con estos contrastes obtener datos de respuesta a distintos elementos accesorios que fueron incluidos en la fertilización como: micronutrientes, potasio y azufre (contrastes 5; 6 y 9 respectivamente) ; también a distintas dosis de fertilización utilizadas (contrastes 4 y 8); a diferentes fuentes de fósforo (contraste 2); diferentes tipos de fertilizantes (contrastes 3 y 7) ; y a la fertilización fosfatada en general (contraste 1).

En el sitio N° de 6 se excluyó el contraste N° 9 realizado para los demás sitios y se agregó un contraste diferente que no se utilizó en el resto de los sitios -Supertriple 30-30 vs supertriple 60. En el mismo se pretende evaluar una misma dosis de fertilización pero subdividida en dos aplicaciones. El orden de los contrastes para este sitio fue:

- 1- Testigo vs resto
- 2- Solubles vs insolubles
- 3- Sf 60 vs St 60
- 4- St 30 vs St30
- 5- St 30-30 vs St 60
- 6- St 60 vs St 60 + micro
- 7- St 60 vs St 60 + K
- 8- Hf 60 vs H 60
- 9- H 30 vs H 60.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo de este capítulo comenzará con un análisis de los resultados por sitios y luego se realizará un estudio comparativo entre sitios.

4.1 RESULTADOS PARA CADA SITIO

Se desarrollará un análisis estadístico; se plantearán los contrastes enumerados anteriormente y se discutirá sobre los mismos.

4.1.1 RISSO

Cuadro N° 9. Datos de análisis de suelo (12/06/01)

Bloque	pH agua	P(ppm)	meq/100g suelo			MO (%)	
			Ca	Mg	K		Na
1	6.2	5.6	18.1	4.72	0.69	0.65	3.8
2	6.2	6.5	18.3	4.61	0.67	0.53	3.7
3	6.2	6.6	17.0	5.13	0.75	0.66	3.6
Promedio	6.2	6.2	17.8	4.82	0.70	0.61	3.7

Cuadro N° 10. Promedios de Materia Seca -por tratamiento, por corte y total- (kg/ha)

CODIGO	TRATAMIENTOS			C 1 09/08/01	C 2 05/10/01	C 3 09/11/01	C 4 14/12/01	TOTAL Año 2001
	FUENTE FOSFORO kg P ₂ O ₅ /ha		Acc.					
	FUENTE	DOSIS						
1	---	---	---	731	1128	1087	1007	3953
2	Sf	60	---	940	1675	1674	1551	5840
3	Hf	60	---	1048	1348	1465	1202	5063
4	H	30	---	785	1431	1223	1207	4646
5	H	60	---	1037	1252	1270	1463	5022
6	H	60	Az.	867	1424	1123	1412	4826
7	St	30	---	698	1282	1044	1208	4233
8	St	60	---	1195	1438	1183	1167	4983
9	St	60	Micro	1105	1874	1390	1326	5695
10	St	60	K	1061	1634	1444	1404	5542

La respuesta a la refertilización en este sitio fue igual o mayor a 15 kg de MS/uP₂O₅ para la mayoría de los tratamientos con excepción del St30. Para Sf60 esta eficiencia fue mayor a 30 kgMS/uP₂O₅ (Figura N°2).

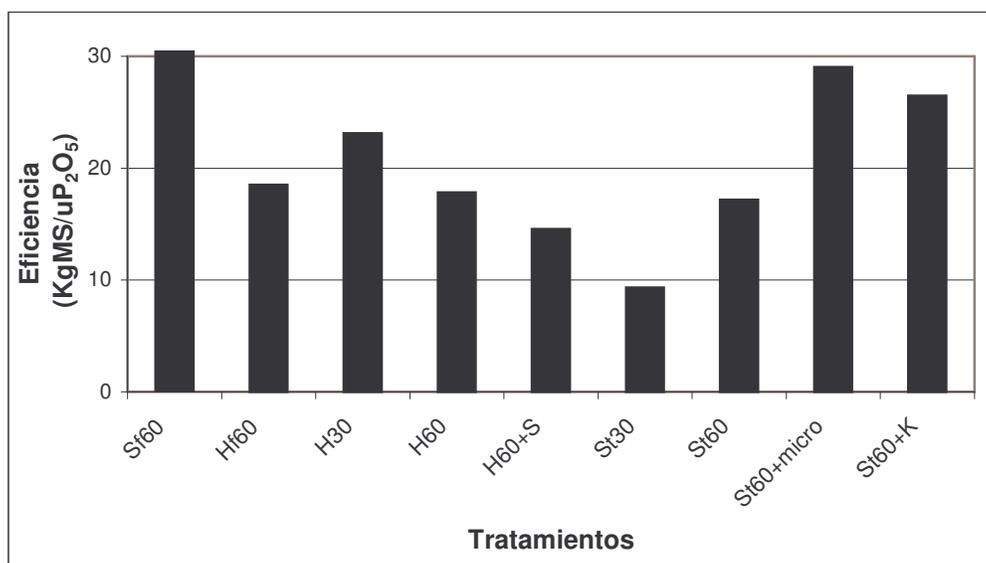


Figura N° 2. Respuesta en rendimiento de Materia Seca por unidad de P₂O₅ para los distintos tratamientos (testigo =0).

Cuadro N° 11. Resultados de análisis estadístico.

Contraste	Ago-01	Oct-01	Nov-01	Dic-01	Total
1	0.20 _{NS}	0.13 _{NS}	0.06	0.07	0.01
2	0.57 _{NS}	0.14 _{NS}	0.31 _{NS}	0.93 _{NS}	0.15 _{NS}
3	0.30 _{NS}	0.44 _{NS}	0.00	0.09	0.12 _{NS}
4	0.05	0.61 _{NS}	0.38 _{NS}	0.85 _{NS}	0.17 _{NS}
5	0.71 _{NS}	0.16 _{NS}	0.19 _{NS}	0.48 _{NS}	0.19 _{NS}
6	0.58 _{NS}	0.52 _{NS}	0.11 _{NS}	0.30 _{NS}	0.30 _{NS}
7	0.96 _{NS}	0.75 _{NS}	0.22 _{NS}	0.25 _{NS}	0.94 _{NS}
8	0.31 _{NS}	0.56 _{NS}	0.76 _{NS}	0.26 _{NS}	0.48 _{NS}
9	0.50 _{NS}	0.57 _{NS}	0.35 _{NS}	0.82 _{NS}	0.71 _{NS}
C.V	31.14	25.37	14.54	20.82	12.79

4.1.1.1 Comparación del rendimiento de MS del testigo vs el resto de los tratamientos

Para el contraste N° 1 (testigo vs. resto), como era de esperar, se detectaron diferencias significativas según análisis de varianza con un nivel de significación de 6 y 7 % para los cortes realizados en noviembre y diciembre de 2001 respectivamente, analizando respuesta en rendimiento de materia seca por hectárea a los distintos tratamientos de fertilización, y con un nivel de significación de 1% para el total de los 4 cortes. Estas diferencias traducidas a kilogramos de materia seca por hectárea fueron 226;319;y 1141 para noviembre, diciembre, y total de 2001 respectivamente. (Ver anexo N° 15)

Hubo respuesta positiva al agregado de fertilizante con los niveles de significación descriptos anteriormente; aunque no se verificó respuesta significativa para los 2 primeros cortes realizados en agosto y octubre de 2001.

Apoyando lo anterior, los datos de análisis de planta para P absorbido muestran lo siguiente:

Cuadro N° 12. Absorción de P por la planta (kg P/Ha)

	9/11/01	14/12/01
Testigo	1.87	1.35
Resto	2.31 - 3.92	1.65 - 2.69

4.1.1.2 Contrastes de fuentes y dosis

4.1.1.2.1 Comparación de respuesta entre dos fuentes solubles (Sf vs St-dosis 60-).

La comparación de estas dos fuentes de fósforo solubles a una única dosis mostró diferencias significativas para 2 de los 4 cortes. En el corte de noviembre la diferencia entre ambas (nivel de significación del 0%) fue de 491 kg MS/ha, el tratamiento con Superfosfato rindió un 41,5% más que el Supertriple; en la cosecha de diciembre también fue diferente (nivel de significación de un 9%) , con una respuesta en kg de MS por ha superior de 33 % (384 kg) para Superfosfato. (Ver anexo N° 15)

Para los 2 primeros cortes realizados en agosto y octubre, al igual que para el total de MS obtenido de todos los cortes no hubo diferencias significativas ($p < 10\%$).

Este comportamiento diferencial podría estar explicado por el contenido de S de cada fertilizante, el cual es mayor en el superfosfato (13% de S); con el que se obtuvieron los mayores rendimientos (teniendo en cuenta que el nivel de M.O. inicial fue de 3,7%).

Lo anterior se puede respaldar con el análisis de planta que para superfosfato dio - para el total de los cortes- una absorción de 15,5 kg de S/ha y para supertriple dio una absorción de 11,1 kg de S/ha.

Este efecto se pudo ver en los cortes de noviembre y diciembre, en estos meses las temperaturas son mayores lo que favorecería la mineralización y por lo tanto la utilización de P del suelo por las raíces mejoraría, por lo que el S podría estar pasando a ser el primer nutriente limitante.

El análisis de planta muestra que en noviembre es cuando se da la mayor diferencia de S absorbido en favor del superfosfato (8,93 kgS/Ha) contra 4,91 kg S/Ha para supertriple.

También hay que destacar que los tratamientos con supertriple rindieron bajo no alcanzando a superar en algunos casos a los que se les aplicó fuentes insolubles.

4.1.1.2.2 Comparación de dos dosis de fertilizante (St 30 vs 60)

Para las 2 dosis de supertriple aplicadas, hubo diferencias (nivel de significación del 5%) solo en el primero de los 4 cortes realizados. El tratamiento con 60 unidades de P_2O_5 rindió un 71 % más (497 kg MS/ha) que el que se le agregó 30 unidades de P_2O_5 . (Ver anexo N° 15)

El rango óptimo manejado por Bordoli (1998), para alfalfa en estos suelos es de 20-25 ppm (Bray N°1) para instalación, para refertilizaciones es de alrededor de 18 ppm. En este suelo el nivel de P es de 6,2 ppm valor muy por debajo del óptimo. Una posible explicación para este bajo nivel de P podrían ser las bajas temperaturas en agosto no permitirían una alta tasa de mineralización como para aumentar la disponibilidad de P para las plantas, por lo que serían totalmente dependientes del P agregado en el fertilizante, lo que estaría explicando las diferencias significativas entre dosis para este corte, que luego se atenúan al aumentar la temperatura del suelo para los cortes siguientes.

Para este corte de agosto, el rendimiento del testigo fue mayor que para el tratamiento con supertriple a una dosis de 30 u de P_2O_5 , por lo que podría haber algún factor adicional a los manejados anteriormente que afecte el comportamiento de la alfalfa en este caso. (Ver anexo N°3)

Analizando estadísticamente el resto de los contrastes entre tratamientos no se presentaron diferencias significativas.

4.1.1.2.3 Otras consideraciones

Las fuentes solubles e insolubles no presentaron diferencias. El supertriple en sus 2 dosis tuvo bajas eficiencias lo que estaría reduciendo el promedio de rendimiento de MS de estas fuentes; a su vez el St 30 en el primer y tercer corte tuvo un rendimiento menor que el testigo llevando a igualar el rendimiento de las fuentes en forma errónea.

El agregado de accesorios como K y micronutrientes mejoro la respuesta en MS al St, pero de todas maneras no llego a ser significativamente diferente con el St solo, además, si se compara al St + accesorios con el superfosfato -ambos en dosis 60- fue menor la respuesta en el primero.

Un factor a tener en cuenta es el alto error experimental denunciado por el alto coeficiente de variación, que en algunos casos conduce a que diferencias de 150 a 400 kg de MS entre St y St + accesorios no resulten significativas.

El test de Tukey`s desarrollado para los promedios totales de cada tratamiento en este sitio marcó diferencias (Alfa = 0,05) solo entre el testigo (A) y el tratamiento con 60

unidades de superfosfato(B). El promedio total con superfosfato fue superior en un 48 % lo que significó 1888 kg MS/ ha más que el testigo sin fertilizante.

Aunque estadísticamente no se detectaron muchas de las diferencias con los demás tratamientos por resultar menores a la diferencia mínima significativa (1865 kg MS/ha), podrían algunas de ellas ser agronómicamente importantes y de peso en la producción de forraje. (Ver anexo N° 22)

4.1.2 COLOLO

Cuadro N° 13. Datos de análisis de suelo (29/05/01)

Bloque	pH agua	P(ppm)	meq/100g suelo				MO (%)
			Ca	Mg	K	Na	
1	5.9	28.4	17.1	2.66	0.94	0.38	4.3
2	6.2	29.9	17.6	2.92	1.01	0.44	4.1
3	6.0	23.9	18.9	3.0	0.92	0.49	3.9
Promedio	6.0	27.4	17.9	2.89	0.96	0.44	4.1

Cuadro N° 14. Promedios de Materia Seca -por tratamiento, por corte y total- (kgMs/ha)

TRATAMIENTOS							
FUENTE FOSFORO							
kg P ₂ O ₅ /ha							
CODIGO	FUENTE	DOSIS	Acc.	C 1	C 2	C 3	TOTAL
				09/08/01	09/11/01	30/01/02	2001
1	---	---	---	651	1362	884	2898
2	Sf	60	---	1163	1862	1176	4201
3	Hf	60	---	943	1779	1043	3765
4	H	30	---	807	1711	929	3447
5	H	60	---	1108	1636	846	3591
6	H	60	Az.	1032	1569	1045	3647
7	St	30	---	994	1831	850	3674
8	St	60	---	916	1822	1038	3776
9	St	60	Micro	1299	1828	1260	4387
10	St	60	K	1432	2052	1047	4531

Para todos los tratamientos la eficiencia del fertilizante fue superior a 10 kg de MS/uP₂O₅, y para cuatro de ellos el nivel de respuesta estuvo en un rango de 20-30 kg de MS/u de P₂O₅ (Figura N° 3).

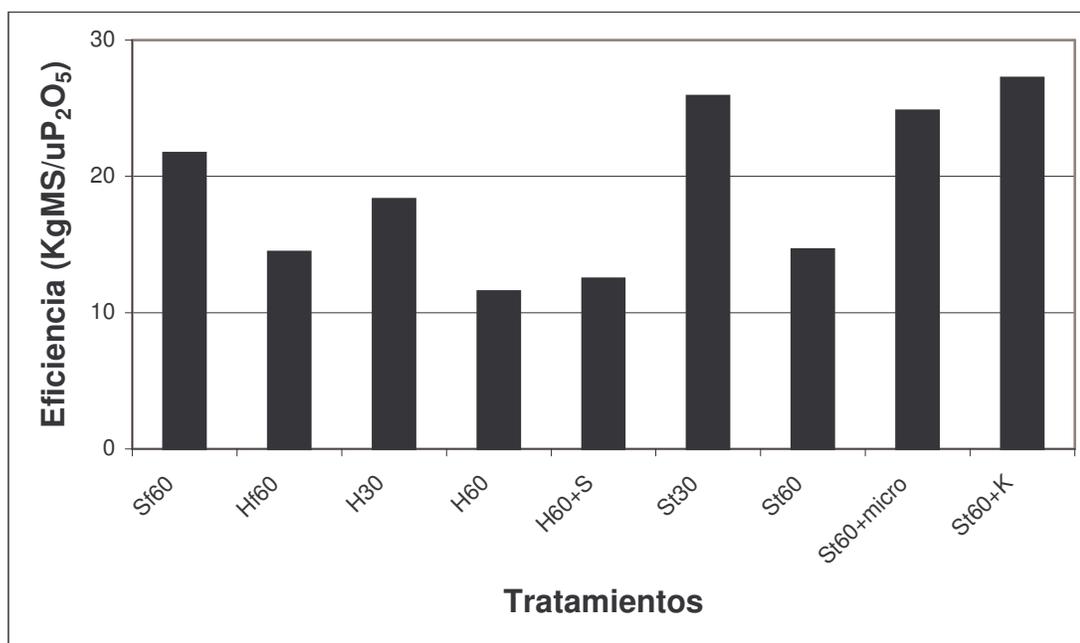


Figura N° 3. Respuesta en rendimiento de MS por u de P₂O₅ para los distintos tratamientos (testigo =0)

Cuadro N° 15. Resultados de análisis estadístico.

Contraste	Ago-01	Nov-01	Ene-02	Total
1	0.00	0.02	0.26 _{NS}	0.00
2	0.01	0.07	0.18 _{NS}	0.00
3	0.10 _{NS}	0.86 _{NS}	0.41 _{NS}	0.19 _{NS}
4	0.60 _{NS}	0.97 _{NS}	0.26 _{NS}	0.75 _{NS}
5	0.02	0.98 _{NS}	0.19 _{NS}	0.07
6	0.00	0.31 _{NS}	0.96 _{NS}	0.03
7	0.26 _{NS}	0.53 _{NS}	0.24 _{NS}	0.58 _{NS}
8	0.05	0.74 _{NS}	0.62 _{NS}	0.65 _{NS}
9	0.60 _{NS}	0.76 _{NS}	0.24 _{NS}	0.86 _{NS}
C.V	16.98	15.50	19.71	10.06

4.1.2.1 Comparación de rendimiento de MS entre el testigo y el resto de los tratamientos

Contrariamente a lo que se esperaba por los niveles críticos de P en el suelo manejados en la revisión bibliográfica existió respuesta a la refertilización fosfatada.

Contrastando el testigo con el resto de los tratamientos hubo diferencias significativas para el corte de agosto, noviembre y para los promedios totales de los 3 cortes. Esto se traduce en una superioridad de un 65,5% (426 kg) en rendimiento de MS/Ha para el primer corte; de 31,3 % (426 kg) para el segundo corte (nov.01); y de 34,3 % (993 kg) para el total de MS de los tres cortes. (Ver anexo N° 16)

Para el corte de enero de 2002 no hubo diferencias significativas (1; 5 y 10%) en el contraste planteado; esta falta de respuesta a la fertilización en este último corte podría estar explicada por el tiempo transcurrido desde la aplicación del fertilizante.

El aumento de la temperatura del suelo también podría tener efecto (por lo ya explicado anteriormente), que opaca la respuesta de la pastura al fertilizante, mas todavía si se tiene en cuenta el nivel de P inicial que había en el suelo al momento de la refertilización.

El análisis de planta se realizó para los cortes de noviembre, enero y total. En noviembre que fue uno de los cortes en que hubo respuesta significativa al agregado de P, la absorción del mismo por ha. en el testigo (5,16 kg P/ha) estuvo dentro del rango de absorción de los demás tratamientos (4,26 - 5,65 kg P/ha). Lo mismo se vio para el corte de enero y para el total de los cortes. Puede tener que ver con este comportamiento de la alfalfa en este sitio el alto nivel de P inicial en el suelo (27,4 ppm de P - Bray N° 1). Además los valores de absorción de P por las plantas son altos comparados con los obtenidos para otros sitios.

4.1.2.2 Comparación de fuentes y dosis

4.1.2.2.1 Comparación de respuesta a fuentes de fósforo solubles e insolubles

Comparando las respuestas en kg de Materia Seca por hectárea entre los tratamientos con fuentes de fósforo soluble e insolubles, aparecen diferencias significativas (1%) para el corte de agosto, para el total de los cortes de cada tratamiento (0%); y también para el corte de noviembre de 2001 (7%). En el corte de agosto se obtuvo una respuesta 19,4 % (188 kg MS/ha) superior con fuentes solubles; en noviembre la respuesta fue 12,3 % superior (205 kg MS/ha) a favor de las fuentes solubles; y en el total de los cortes sumados la diferencia fue de un 13,9% (501 kg MS/ha) a favor de las fuentes solubles. (Ver anexo N° 16)

El alto contenido de Ca intercambiable en el suelo (17,9 meq/100gr) a este pH (6) podría estar explicando este comportamiento. Ya que la actividad del ion Ca en la solución del suelo es considerado un factor determinante en las diferencias de eficiencia que presenta una fuente de P insoluble, en suelos de pH similar (Rabuffetti et al.; 1981).

4.1.2.2.2 Comparación de respuesta entre St y St + micro

Cuando hacemos el contraste de supertriple y supertriple + micronutrientes, los dos a dosis de 60 unidades de P₂O₅, encontramos diferencias estadísticamente significativas (2; 7 %), para el corte de agosto de 2001 y para el total de los 3 cortes de cada tratamiento, respectivamente. El tratamiento St + micro rindió en el primer corte 1299 kg de MS/ha y fue un 41,8 % superior a la misma fuente en igual dosis sin el agregado de micronutrientes la que obtuvo un rendimiento de 916 kg de MS/ha (efecto inmediato). En el total de los

cortes la superioridad a favor del tratamiento con micronutrientes fue de 16,2% (611 kg de MS/ha). (Ver anexo N° 16)

Para los 2 cortes restantes (nov/01; ene/02) no se manifestaron diferencias significativas al contrastar una misma dosis de supertriple con o sin el agregado de micronutrientes.

4.1.2.2.3 Comparación de respuesta entre St y St + K

Se observa respuesta al agregado de K junto a 60 u. de supertriple, a pesar del alto nivel de K en el suelo (0.96 meq/100 gr), comparado a 60 u. supertriple sin K solo en el primero de los cortes realizados (agosto 2001), y para el total de MS de los tres cortes realizados.

A igual tratamiento (60 u de supertriple) con el agregado de K se obtuvieron 516 kg MS /ha más que cuando no se agregó el K (56,3% más), para el corte de agosto, mientras que para el total de los cortes fue un 20 % (755kg/ha) superior el que se le agregó K. (Ver anexo N° 16)

Los valores de K total absorbido por planta en estos dos tratamientos (cortes 11/01 y 01/02) fueron para el St + K 64,58 kgK/ha y 58,76 kgK/ ha para el tratamiento sin K.

Al igual de lo que sucedió con los micronutrientes en el segundo y tercer corte no hubo diferencias significativas en kg MS/ha obtenidos con el agregado de K,

La diferencia en agosto a favor del tratamiento con el agregado de K podría estar explicada por 2 de los factores que afectan la disponibilidad de K para las plantas, que son temperaturas y nivel de otros nutrientes.

Generalmente se acepta que las temperaturas bajas disminuyen los procesos fisiológicos, el crecimiento y la tasa de absorción de K (Hernandez; 1992).

Por otro lado la asimilabilidad del K es mas dependiente de su concentración relativa a Ca y Mg que del contenido de K presente en la solución (Casanova, 1996).

Por lo tanto sería de esperar, debido al alto contenido de Ca intercambiable en el suelo (17,9 meq/100 gr), que halla respuesta al K aplicado, a pesar del alto nivel inicial de K en el suelo.

4.1.2.2.4 Comparación de respuesta entre dos dosis de una fuente insoluble -dosis 30 vs 60-

En cuanto a la comparación de 2 dosis de una fuente insoluble como lo es el hiperfosfato se constató una diferencia significativa sólo en el corte realizado en agosto de 2001. Esta diferencia fue a favor del tratamiento con la dosis mayor (60 u de P₂O₅) de P, el

cual tuvo un rendimiento 37,3 % superior lo que equivale a 301 kg de MS/ha de alfalfa. (Ver anexo N° 16)

Como ya se mencionó, no hubo para los demás cortes, ni para el total de los cortes diferencias significativas para este contraste entre 2 dosis de Hiperfosfato.

4.1.2.2.5 Otras consideraciones

En el caso de aplicación de dos dosis de un mismo fertilizante, se observó que no existe diferencia de respuesta entre ellas (para el H solo fue diferente uno de los cortes, igualandose para el total), por lo tanto se podría pensar que superando las 30 unidades de P como P_2O_5 agregado dejaría de haber respuesta.

Nuevamente se observa en este sitio una baja eficiencia del supertriple (dosis 60) al compararla con la del Sf (en igual dosis), aunque las diferencias no llegaron a ser significativas rindió más de 400 kg de MS el Sf por encima del St. Con el agregado de accesorios se mejoro la eficiencia del supertriple llegando incluso a superar a la del Sf.

Cuando abordamos el test de Tukey`s para este lugar encontramos que existen diferencias significativas ($\alpha = 0,05$) entre el testigo sin aplicación de fertilizantes y 2 de los tratamientos con dosis de 60 u de P_2O_5 como supertriple, uno con el agregado de K y el otro con el agregado de micronutrientes, además fue diferente al testigo el tratamiento con 60u de P_2O_5 como superfosfato. La diferencia minima significativa utilizada para la suma del total de los cortes fue 1117kg de MS.

En este sitio la tendencia a ser superiores en respuesta en rendimiento de las fuentes solubles sobre las insolubles fue mas clara, por mas que al igual que en el sitio anterior no hayan sido detectadas como significativas para este test. (Ver anexo N° 23)

4.1.3 KEEL

Cuadro N° 16. Datos de análisis de suelo (12/07/01)

Bloque	pH agua	P(ppm)	meq/100g suelo				MO (%)
			Ca	Mg	K	Na	
1	5.7	7.9	10.6	4.10	0.78	0.57	3.8
2	5.7	7.5	11.1	4.28	0.84	0.48	4.0
3	5.7	8.9	10.5	4.32	0.87	0.53	3.8
Promedio	5.7	8.1	10.7	4.23	0.83	0.53	3.9

Cuadro N° 17. Promedio de Materia Seca -por tratamiento, por corte y total- (kgMS/ha)

CODIGO	TRATAMIENTOS			C 1 28/09/01	C 2 07/11/01	C 3 13/12/01	TOTAL 2001
	FUENTE FOSFORO		Acc.				
	FUENTE	DOSIS					
1	---	---	---	1595	1311	1072	3978
2	Sf	60	---	2136	1433	1438	5008
3	Hf	60	---	2238	1842	1596	5677
4	H	30	---	1762	1514	1296	4572
5	H	60	---	2104	1492	1352	4948
6	H	60	Az.	2686	1344	1445	5475
7	St	30	---	2276	1568	1344	5188
8	St	60	---	2201	1471	1388	5060
9	St	60	Micro	2149	1348	1454	4952
10	St	60	K	2646	1740	1403	5789

La mayor eficiencia en respuesta al agregado de P se logró con el St30, incluso el rendimiento en MS para el total de los cortes comparado con la dosis de 60 unidades de la misma fuente, fue superior en el primero. Por lo que podemos inferir que la respuesta a la refertilización se detuvo luego de las 30 unidades.

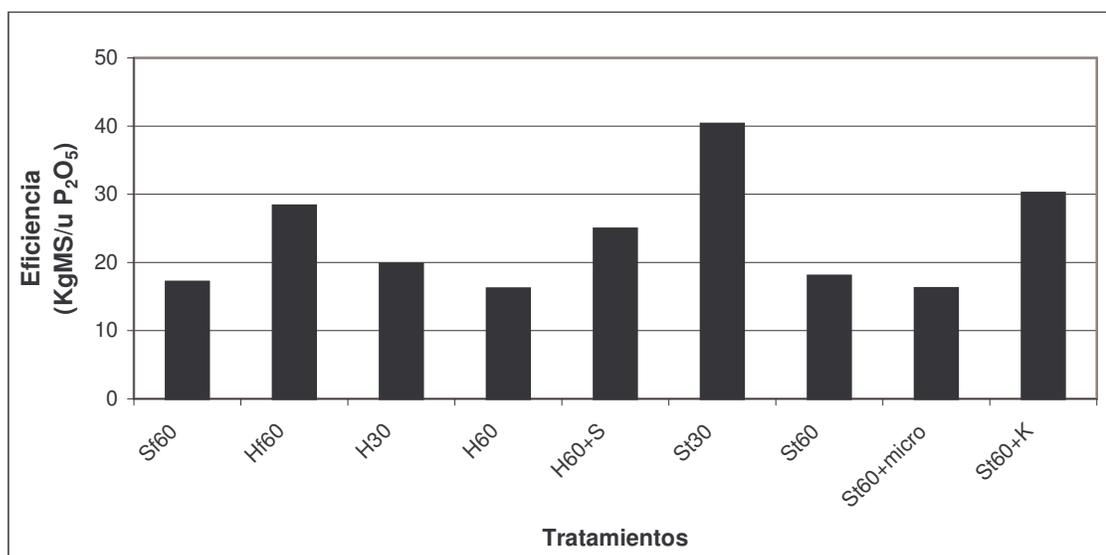


Figura N° 4. Respuesta en rendimiento de MS por unidad de P₂O₅ aplicado en los distintos tratamientos (Testigo = 0)

Cuadro N° 18. Resultados de análisis estadístico.

Contraste	Set.-01	Nov.-01	Dic.-01	Total
1	0.03	0.14 _{NS}	0.05	0.01
2	0.64 _{NS}	0.69 _{NS}	0.87 _{NS}	0.91 _{NS}
3	0.86 _{NS}	0.85 _{NS}	0.82 _{NS}	0.93 _{NS}
4	0.85 _{NS}	0.61 _{NS}	0.84 _{NS}	0.83 _{NS}
5	0.89 _{NS}	0.53 _{NS}	0.76 _{NS}	0.86 _{NS}
6	0.25 _{NS}	0.17 _{NS}	0.94 _{NS}	0.24 _{NS}
7	0.73 _{NS}	0.08	0.27 _{NS}	0.24 _{NS}
8	0.38 _{NS}	0.91 _{NS}	0.80 _{NS}	0.54 _{NS}
9	0.14 _{NS}	0.45 _{NS}	0.65 _{NS}	0.39 _{NS}
CV	21.09	15.38	18.96	14.40

4.1.3.1 Comparación de respuesta entre testigo y el resto de los tratamientos

Para este sitio realizando el contraste entre testigo vs. el resto de los tratamientos existieron diferencias significativas, para 2 de los 3 cortes, y para el total de los cortes ($p < 10\%$).

En el corte de setiembre los tratamientos refertilizados promediados tuvieron un rendimiento en kg de MS de un 40,7 % superior al testigo lo que significa 649 kg; el otro corte en que existieron diferencias significativas con el testigo fue el de diciembre en que el porcentaje de superioridad del resto de los tratamientos en kg de MS fue de 31,7 % (340 kg). En cuanto a las diferencias significativas percibidas para el total de los cortes también

a favor del resto en contraposición con el testigo sin fertilizar fue de 30,3 % (1207 kgMS/ha). (Ver anexo N° 17)

Para el corte de diciembre que fue para el que se realizó el análisis foliar en este sitio, la absorción de P fue de 1,87 kg P/ha para el testigo, mientras que para el resto del los tratamientos estuvo en un rango de 1,98 - 3,30 kg P/ha, confirmando esto que la mayor respuesta podría estar explicada en parte por la mayor absorción del mismo por las plantas.

4.1.3.2 Comparación de fuentes y dosis

4.1.3.2.1 Comparación de respuesta entre fuentes de P insolubles.

Para este sitio en el otro contraste que surgió una diferencia significativa y solo para uno de los cortes (noviembre de 01) fue entre las 2 fuentes más insolubles (Hf vs. H), a igual dosis (60 u P₂O₅). Esta diferencia fue de un 23,4 % (350 kg MS/ha), a favor del Hiperfos. (Ver anexo N° 17)

4.1.3.2.2 Otras consideraciones

No existieron diferencias significativas de rendimiento entre los tratamientos con fuentes solubles e insolubles, podría esto estar explicado por el bajo pH del suelo. En el primer corte (28/09/01) existió una diferencia de respuesta de más de 500 kg de MS entre el H 60 y el H 60 + S en favor de este último, no llegando a ser significativa debido quizá al alto error experimental denunciado por el alto coeficiente de variación (21%). En los 2 cortes siguientes desapareció esta diferencia.

Tampoco existieron diferencias en rendimiento de MS entre las dos fuentes solubles (St60 y Sf 60). Por otra parte la eficiencia del St no fue mejorada por el agregado de micronutrientes pero si por el agregado de K. El St + K rindió 700 kg de MS más que el St sólo, para el total de los cortes, aunque esta diferencia no se registró como significativa ($p < 10\%$).

Entre las 2 dosis de H existió en el primer corte (28/09/01) una diferencia en rendimiento de 340 kg de MS a favor de la mayor dosis, sin embargo, y probablemente debido al alto error experimental el análisis de varianza no lo detecto como significativo. En los dos cortes siguientes los rendimientos de MS se igualaron.

No detectándose otras diferencias significativas para este sitio con el análisis de varianza de los datos recurrimos al test de Tukey's, y no encontramos, para ninguno de los cortes, ni para la suma de los cortes totales diferencias significativas ($\alpha = 0,05$). DMS para el total 2137 kg de MS .

Además al comparar las medias totales no se encontró, mas allá de que no fueran significativas sus diferencias, una tendencia, y ni siquiera un orden lógico de respuesta en

rendimiento de materia seca a los distintos tratamientos, con la salvedad de que el testigo sin fertilizar estuvo último en el ranking. (Ver anexo N° 24)

4.1.4 N. PALMIRA

Cuadro N°19. Datos de análisis de suelo (12/06/01)

Bloque	pH agua	P(ppm)	meq/100g suelo				MO (%)
			Ca	Mg	K	Na	
1	6.2	16.1	13.8	1.87	0.92	0.32	4.9
2	6.3	17.8	13.6	2.13	0.94	0.32	4.3
3	6.4	11.6	12.2	2.01	0.82	0.32	4.4
Promedio	6.3	15.2	13.2	2.00	0.89	0.32	4.5

Cuadro N°20. Promedios de Materia Seca -por tratamiento, por corte y total-(kgMS/ha)

		TRATAMIENTOS							
		FUENTE FOSFORO							
		kg P ₂ O ₅ /ha							
					C 1	C 2	C 3	C 4	TOTAL
CODIGO	FUENTE	DOSIS	Acc.		09/08/01	05/10/01	09/11/01	14/12/01	2001
1	---	---	---		1034	1621	1157	1053	4866
2	Sf	60	---		1351	2234	1669	1577	6832
3	Hf	60	---		1212	2359	1734	1571	6876
4	H	30	---		1244	1449	1562	1274	5528
5	H	60	---		1273	1875	1637	1415	6200
6	H	60	Az.		1131	1184	1529	1230	5074
7	St	30	---		1152	1772	1509	1126	5559
8	St	60	---		1067	1648	1791	1315	5821
9	St	60	Micro		1234	1890	1785	1455	6364
10	St	60	K		1341	1976	1613	1435	6365

Salvo para dos de las fuentes (H60+S; St60), la respuesta fue superior a 20 kg de MS por unidad de P₂O₅.(Figura N°5)

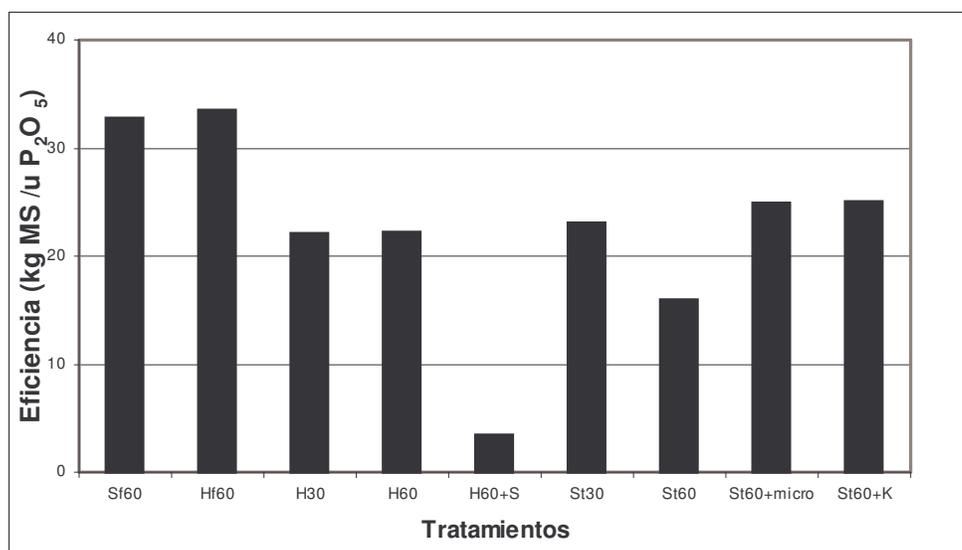


Figura N° 5. Respuesta en rendimiento de MS por u de P₂O₅ para los distintos tratamientos (testigo=0).

Cuadro N° 21. Resultados de análisis estadístico.

Contraste	Ago-01	Oct-01	Nov-01	Dic-01	Total
1	0.15 NS	0.39 NS	0.02	0.03	0.01
2	0.86 NS	0.21 NS	0.63 NS	0.91 NS	0.29 NS
3	0.11 NS	0.07	0.63 NS	0.16 NS	0.07
4	0.62 NS	0.69 NS	0.27 NS	0.31 NS	0.62 NS
5	0.33 NS	0.44 NS	0.98 NS	0.44 NS	0.31 NS
6	0.12 NS	0.30 NS	0.48 NS	0.51 NS	0.31 NS
7	0.72 NS	0.13 NS	0.70 NS	0.40 NS	0.21 NS
8	0.87 NS	0.18 NS	0.77 NS	0.44 NS	0.21 NS
9	0.41 NS	0.04	0.67 NS	0.32 NS	0.04
CV	17.12	20.67	18.90	16.31	10.69

4.1.4.1 Comparación de respuesta entre el testigo y el resto de los tratamientos.

En este sitio al comparar el testigo sin fertilización con el resto de los tratamientos fertilizados hubo diferencias significativas para 2 de los 4 cortes realizados (Nov. y Dic.), y para el total de MS de los 4 cortes ($p < 10\%$).

Para el corte de noviembre los tratamientos fertilizados fueron superiores al testigo en 42,4 % (491 kg), en el corte de diciembre la superioridad fue de 30,8 % (324 kg), mientras que para la suma total de MS de los 4 cortes fueron superiores los fertilizados en un 24,7 % (1203 kg). (Ver anexo N° 18). Para los 2 primeros cortes la respuesta a la refertilización no fue significativa.

A continuación se incluyen los datos de absorción de P determinados por el análisis de planta

Cuadro N°22. Absorción de P por las plantas de alfalfa (kg P/Ha)

	09/11/01	!4/12/01
Testigo	2,89	1,43
Resto	3,06 - 4,98	1,77 - 3,52

Vemos con estos valores que una mayor absorción de P por el cultivo va acompañada con un mayor rendimiento.

4.1.4.2 Comparación de fuentes y dosis

4.1.4.2.1 Comparación de respuesta entre dos fuentes solubles de P (Sf vs St-dosis 60-)

Se contrastaron 2 fuentes solubles de fósforo, una de ellas como el superfosfato (conteniendo azufre) mientras que el supertriple carece de él, aplicadas a una única dosis (60 u de P₂O₅). Las diferencias significativas (7%) aparecieron en el segundo corte (Octubre) y en el total de forraje acumulado en los 4 cortes; para el corte de octubre la diferencia fue a favor del superfosfato en 35,6 % (586 kg), mientras que para el total la diferencia fue de 1011 kg, un 17,4 % más que el fertilizado con supertriple. (Ver anexo N° 18)

El análisis de planta realizado en los cortes de noviembre y diciembre dio una absorción total de 12,5 kg de S/ha para el tratamiento con superfosfato y 6,5 kg de S/ha para el supertriple (no se realizó análisis de S en planta para el corte de octubre). Asumiendo que esta mayor absorción de S con el tratamiento de Sf ocurrió también en octubre, esto explica que las diferencias en rendimiento se podrían deber a una mayor absorción de S por la planta. (a pesar de que el contenido de MO en el suelo no es bajo).

El supertriple en este sitio tuvo un rendimiento en MS notoriamente bajo, lo que nos hace pensar que la causa de esta diferencia podría ser un error de manejo (mala distribución del fertilizante por ejemplo).

4.1.4.2.2 Comparación de respuesta entre H y H+S (dosis=60)

Del contraste entre estas 2 fuentes insolubles de P a una misma dosis de 60 u de P₂O₅, una con el agregado de azufre y la otra sola, se aprecian diferencias significativas para el corte del mes de octubre y para el total de los cortes; dándose tanto en uno como en el otro la superioridad del tratamiento de H sin el agregado de azufre. Por tratarse de un caso aislado (solo para ese corte, y en este sitio) en que se destaca un valor del tratamiento de H60 + S muy bajo (de casi 500 kg de MS menos que el testigo), probablemente se trate de un error experimental en esa parcela para ese corte.

En octubre la diferencia de respuesta en rendimiento de MS ante el agregado de estas 2 fuentes de P, fue de 58,4% (691 kg). Para los totales hubo una diferencia porcentual de 22,2 % (1126kg). (Ver anexo N° 18)

Para ninguno de los otros 3 cortes el análisis de varianza detectó diferencias significativas ($p < 10\%$).

4.1.4.2.3 Otras consideraciones

En primer lugar se observa un bajo rendimiento en MS con el tratamiento de St60 (una diferencia de 1000 kg de MS total con el Sf60).

Además, a pesar del pH 6,3 se observa un alto rendimiento en MS de los tratamientos con fuentes insolubles (a excepción del H + S).

En el corte de octubre, hay 3 tratamientos que tienen rendimientos muy bajos (St60; H30; y H60+S), dos de ellos incluso por debajo del testigo. Estos comportamientos anormales, a la hora de promediar la respuesta de todos los tratamientos para compararlos con el testigo en el contraste N° 1, podrían estar enmascarando el verdadero nivel de respuesta a la refertilización.

El agregado de accesorios al St mejora la eficiencia de este en respuesta por unidad de P_2O_5 , y por lo tanto el rendimiento en MS total.

Para el tratamiento con St en este sitio existe una baja probabilidad de que las respuestas en rendimiento de MS sean diferentes entre las dos dosis.

Con el H, sin embargo, existe una alta probabilidad (79%) de que la dosis 60 tenga una mayor respuesta en rendimiento de MS que la dosis 30.

El test de Tukey's para las medias totales detectó diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre el testigo sin fertilización y las dosis de 60 unidades de P_2O_5 como superfosfato e hiperfos con un DMS de 1862 kg de MS, no siendo para este test significativas las diferencias con las demás fuentes y dosis. Aunque hubo diferencias que agrónomicamente podrían considerarse importantes, estas fueron de 210 a 1500 kg MS/ha, lo que indica una respuesta al agregado de P. (Ver anexo N° 25)

4.1.5 GUTIERREZ

Cuadro N° 23. Datos de análisis de suelo(30/07/01)

Bloque	pH agua	P(ppm)	meq/100g suelo				MO (%)
			Ca	Mg	K	Na	
1	5.6	13.4	11.7	3.09	0.95	0.51	3.7
2	5.9	12.9	10.8	2.86	0.88	0.46	4.2
3	6.3	12.7	11.9	3.16	0.93	0.46	4.2
Promedio	5.9	13.0	11.5	3.04	0.92	0.48	4.0

Cuadro N° 24. Promedio de Materia Seca-por tratamiento, por corte y total- (kgMS/ha)

TRATAMIENTOS							
FUENTE FOSFORO							
kg P ₂ O ₅ /ha							
CODIGO	FUENTE	DOSIS	Acc.	C 1	C 2	C 3	TOTAL
				28/09/01	07/11/01	13/12/01	2001
1	---	---	---	1693	1324	1267	4285
2	Sf	60	---	1914	1733	1357	5004
3	Hf	60	---	2297	1479	1529	5305
4	H	30	---	1774	1539	1457	4770
5	H	60	---	1964	1528	1371	4863
6	H	60	Az.	1934	1468	1204	4606
7	St	30	---	2169	1580	1316	5065
8	St	60	---	2177	1479	1371	5026
9	St	60	Micro	1914	1559	1650	5123
10	St	60	K	2023	1529	1577	5129

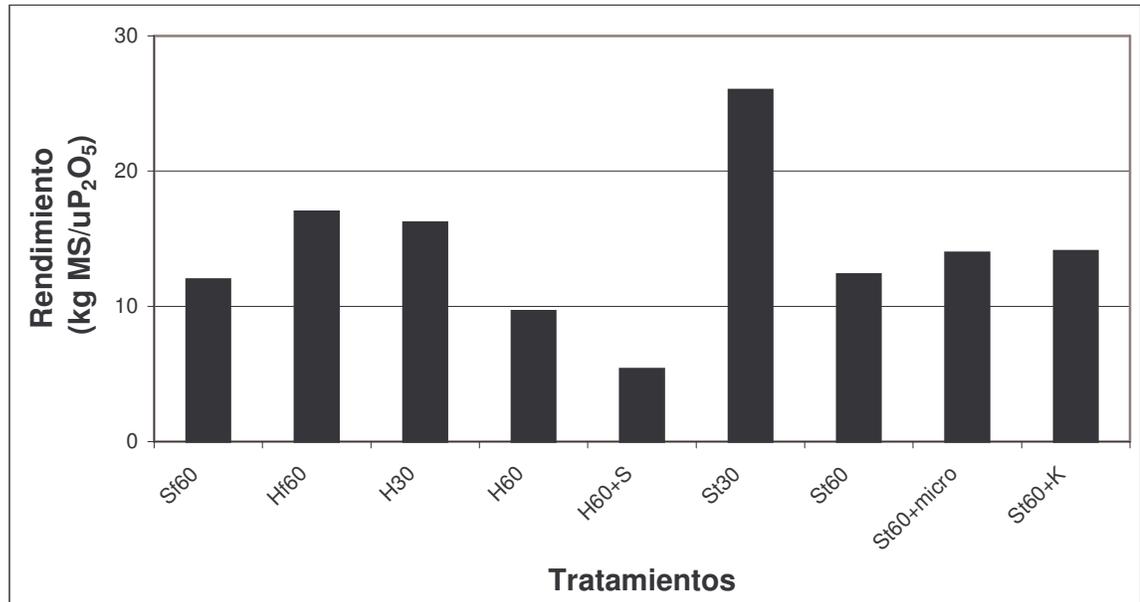


Figura N° 6. Respuesta en rendimiento de MS por u de P₂O₅ para los distintos tratamientos (testigo=0)

Cuadro N° 25. Resultados de análisis estadístico.

Contraste	Set.-01	Nov-01	Dic.-01	Total
1	0.07	0.24 _{NS}	0.25 _{NS}	0.06
2	0.66 _{NS}	0.54 _{NS}	0.46 _{NS}	0.42 _{NS}
3	0.25 _{NS}	0.31 _{NS}	0.94 _{NS}	0.96 _{NS}
4	0.97 _{NS}	0.68 _{NS}	0.76 _{NS}	0.94 _{NS}
5	0.25 _{NS}	0.75 _{NS}	0.13 _{NS}	0.84 _{NS}
6	0.50 _{NS}	0.84 _{NS}	0.26 _{NS}	0.83 _{NS}
7	0.15 _{NS}	0.84 _{NS}	0.38 _{NS}	0.36 _{NS}
8	0.40 _{NS}	0.96 _{NS}	0.63 _{NS}	0.85 _{NS}
9	0.89 _{NS}	0.81 _{NS}	0.36 _{NS}	0.60 _{NS}
CV	13.72	19.61	15.39	11.73

4.1.5.1 Comparación de respuestas entre el testigo y el resto de los tratamientos

La respuesta a la fertilización fosfatada apareció en el 1° de los cortes con un nivel de significación de 7% y en el total de los cortes con un nivel de significación de 6%. En el corte de setiembre la superioridad del fertilizado fue de 19.2 % (325kg), mientras que para el total la diferencia fue de 703 kg, un 16,4 % más de rendimiento de MS/ha. (Ver anexo N° 19)

La absorción total de P por la planta (suma de los 3 cortes) para el testigo fue de 6,83 kg de P/ha, mientras que para el resto de los tratamientos el rango de absorción fue de

6,25-8,46 kg de P/ha. Esto nos demuestra que no se marcaron diferencias a favor del refertilizado.

Luego del primer corte, donde aparecen diferencias significativas a favor de la refertilización, observamos un pronunciado descenso en los rendimientos de MS obtenidos para todos los tratamientos en los cortes siguientes, lo que puede explicar que esas diferencias entre el testigo y los refertilizados no se mantengan como significativas.

Además como ocurrió en sitios anteriores, para el corte de diciembre el tratamiento de H+S tuvo un rendimiento anormalmente bajo, llegando a ser el mismo menor que el del testigo, lo que nuevamente al promediar el nivel de respuesta a la refertilización P, enmascara la situación real.

4.1.5.2 Comparación entre fuentes y dosis

En este sitio, si bien existió respuesta en rendimiento de MS al agregado de P, no hubo diferencias significativas (probabilidad < 10%) entre las distintas fuentes y dosis aplicadas.

El tratamiento con mayor respuesta en rendimiento de MS fue el Hf60 que rindió un 23,8% más que el testigo (5305 kg MS/ha).

En el test de Tukey's no se marcaron diferencias para ninguno de los cortes ni para las medias totales. (Ver anexo N° 26)

4.1.6 PARODI

Cuadro N° 26. Datos de análisis de suelo (12/06/01)

Bloque	pH agua	P(ppm)	meq/100g suelo				MO (%)
			Ca	Mg	K	Na	
1	6.3	14.9	8.2	3.56	0.81	0.62	3.8
2	6.2	13.9	8.4	3.54	0.77	0.59	3.7
3	6.2	14.3	8.7	3.54	0.66	0.59	3.6
Promedio	6.2	14.4	8.4	3.55	0.75	0.60	3.7

Cuadro N° 27. Promedios de Materia Seca-por tratamiento, por corte y total- (kgMS/ha)

TRATAMIENTOS							
FUENTE FOSFORO kg P ₂ O ₅ /ha				C 1	C 2	C 3	TOTAL
CODIGO	FUENTE	DOSIS	Acc.	28/09/01	07/11/010	13/12/01	2001
1	---	---	---	546	1194	973	2712
2	Sf	60	---	719	1198	1305	3223
3	Hf	60	---	521	1431	1203	3156
4	H	30	---	564	1626	1108	3297
5	H	60	---	724	1195	1078	2996
6	St	30	---	647	1331	997	2975
7	St	60	---	849	1314	1389	3552
8	St	60	Micro	811	1866	1301	3978
9	St	60	K	773	1355	1096	3225
10	St	30-30	---	804	1599	1412	3815

La eficiencia fue mayor a 10 kg de MS/u. de P₂O₅ solo en cuatro de los tratamientos empleados, en los restantes, si bien hubo respuesta, fue menor. (Figura N° 7)

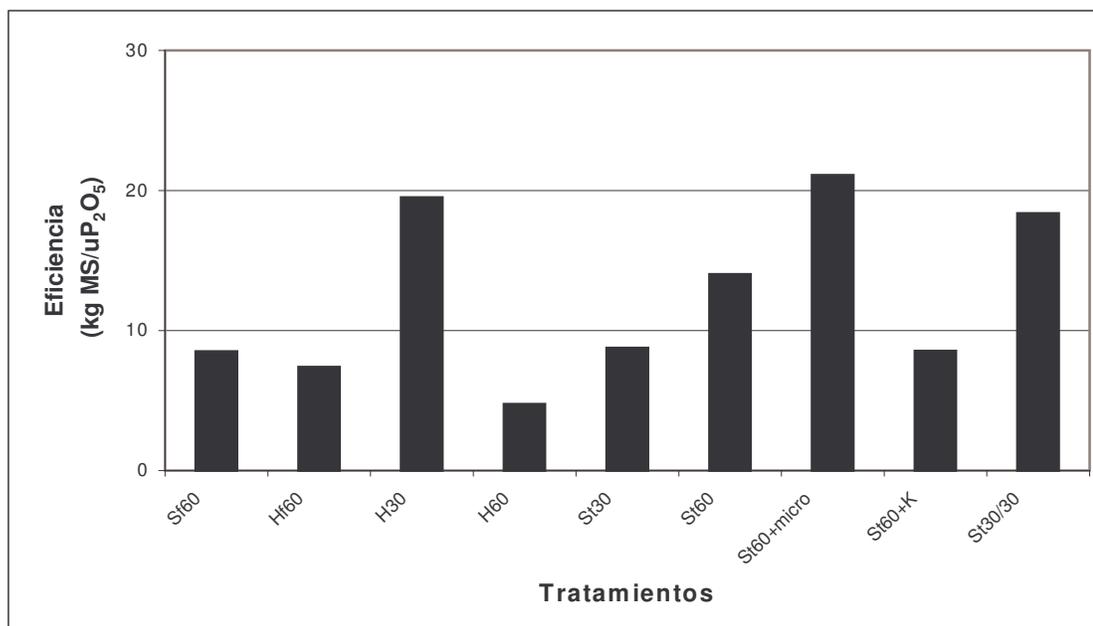


Figura N° 7. Respuesta en rendimiento de MS por u de P₂O₅ para los distintos tratamientos (testigo=0).

Cuadro N° 28. Resultados del análisis estadístico

Contraste	Set.-01	Nov-01	Dic.-01	Total
1	0.11 _{NS}	0.38 _{NS}	0.17 _{NS}	0.17 _{NS}
2	0.02	0.88 _{NS}	0.30 _{NS}	0.32 _{NS}
3	0.35 _{NS}	0.75 _{NS}	0.71 _{NS}	0.59 _{NS}
4	0.15 _{NS}	0.96 _{NS}	0.09	0.35 _{NS}
5	0.74 _{NS}	0.43 _{NS}	0.92 _{NS}	0.67 _{NS}
6	0.78 _{NS}	0.14 _{NS}	0.70 _{NS}	0.49 _{NS}
7	0.58 _{NS}	0.91 _{NS}	0.21 _{NS}	0.60 _{NS}
8	0.15 _{NS}	0.52 _{NS}	0.58 _{NS}	0.80 _{NS}
9	0.25 _{NS}	0.24 _{NS}	0.90 _{NS}	0.63 _{NS}
CV	23.60	30.29	23.26	22.62

En este sitio las respuestas al agregado de P comparando el testigo con el promedio de los tratamientos refertilizados fueron significativas al 11% para el 1° de los cortes y al 17% para el último y el total de los cortes. Según el criterio utilizado en este trabajo estos niveles de significación no son suficientes para considerar diferentes a 2 tratamientos. Una posible explicación para el alto nivel de significación ocurrido en el corte de noviembre puede ser el alto error experimental (CV=30%).

Si comparamos cada tratamiento individualmente con el testigo observamos en algunos casos diferencias importantes de rendimiento en MS, que quizá si se plantearan los

contrastes individuales, estos detecten diferencias significativas. Estas diferencias para los totales de MS van desde 263kg de MS (St30) hasta 1266 kg de MS (St60+micro).

Los análisis foliares para absorción de P , se muestran a continuación.
(los rangos están acotados por el tratamiento de mayor y el de menor absorción)

Cuadro N° 29. Absorción de P por el cultivo (kg P/ha)

	28/09/01	07/11/01	13/12/01
Testigo	1,44	3,54	1,88
Resto	1,24 - 2,35	3,01 - 5,10	2,17 - 2,94

En el corte de diciembre es cuando se da que la absorción por el testigo no entra dentro del rango del resto del los tratamientos, pero esta menor absorción de P no va acompañada de una diferencia significativa en rendimiento.

4.1.6.1 Comparación de fuentes y dosis

4.1.6.1.1 Comparación de respuesta entre fuentes solubles e insolubles en igual dosis

Como era de esperar se ve una superioridad de las fuentes solubles sobre las insolubles, la diferencia entre ambas fue significativa (2%) de 27,2 % (164 kg) en rendimiento de MS/ha. Dicha diferencia se manifestó solo en el primer corte (setiembre). (Ver anexo N° 20)

Los datos del análisis foliar se muestran a continuación:

Cuadro N° 30. Absorción de P por el cultivo (datos promediados para cada tipo de fuente en kg/Ha)

	28/09/01
Solubles (Supertriple; Superfosfato) *	1.862
Insolubles (Hiperfos; Hiperfosfato)	1.535

* dentro de solubles se incluyeron los tratamientos en que se agregaron accesorios.

Como se puede ver (cuadro N°30), hubo una mayor absorción de P por el cultivo cuando las fuentes eran solubles; a pesar de no haber una diferencia muy grande en rendimiento fue significativa.

La menor eficiencia de la fuente insoluble (medida en kg MS/u P₂O₅) se manifestó en el primer corte, perdiéndose dicho efecto en los demás cortes.

Esta menor eficiencia puede ser explicada por ser este suelo uno de los de mayor pH de los manejados (6,2), lo que según Engelstad y Terman (1980), es agente responsable de la menor eficiencia de las fuentes insolubles.

4.1.6.1.2 Comparación de respuesta entre dos dosis de St (30 vs 60)

La dosis mayor de supertriple (60u P₂O₅), tuvo una respuesta significativamente(9%) mayor que la dosis menor (30u P₂O₅); esta diferencia fue de 392 kg Ms/ha (39,3%), y sólo para el corte de diciembre de 2001. (Ver anexo N° 20)

4.1.6.1.3 Otras consideraciones

Fue mas eficiente el St aplicándolo fraccionado (18 kg MS/u de P₂O₅) que en una única aplicación (14 kg MS/u de P₂O₅). La diferencia entre ambos de rendimiento en kg de MS/ha fue de 263.

Los micronutrientes mejoraron la eficiencia del St cuando se aplicaron junto a él, lo contrario sucedió con el agregado de K. La diferencia en rendimiento de MS entre el St y el St+micro fue de 426 kg/ha. Esta diferencia podría estar explicada en parte por el nivel de materia orgánica del suelo (3,7%).

El test de Tukey`s no marcó diferencias significativas (alfa =0,05), para ninguno de los cortes, ni para el total de los cortes. Las diferencias mínimas significativas utilizadas para este método fueron:

- Setiembre 481 kg de MS
- Noviembre 1280 kg de MS
- Diciembre 808 kg de MS
- Total 2181 kg de MS (ver anexo N° 27).

4.1.7 SOSA

Cuadro N° 31. Datos de análisis de suelo (30/07/01)

Bloque	pH agua	P(ppm)	meq/100g suelo				MO (%)
			Ca	Mg	K	Na	
1	5.5	13.7	10.0	4.28	0.56	0.63	3.3
2	5.6	12.8	9.4	3.78	0.63	0.68	3.2
3	5.6	11.5	9.7	3.70	0.60	0.72	3.3
Promedio	5.6	12.7	9.7	3.92	0.60	0.68	3.2

Cuadro N° 32. Promedios de Materia Seca-por tratamiento, por corte y total- (kgMS/ha)

TRATAMIENTOS							
FUENTE FOSFORO				C 1	C 2	C 3	TOTAL
kg P ₂ O ₅ /ha							
CODIGO	FUENTE	DOSIS	Acc.	28/09/01	07/11/01	13/12/01	2001
1	---	---	---	1472	1225	1685	4382
2	Sf	60	---	1818	1558	2137	5513
3	Hf	60	---	1801	1635	2485	5922
4	H	30	---	1699	1519	1766	4983
5	H	60	---	1717	1442	2029	5187
6	H	60	Az.	1618	1800	1856	5274
7	St	30	---	1673	1540	1878	5091
8	St	60	---	1732	1503	1897	5132
9	St	60	Micro	1898	1699	2518	6116
10	St	60	K	1549	1646	2217	5413

La eficiencia fue mayor o igual a 15 kg de MS/u de P₂O₅ en la mayoría de los tratamientos con excepción de St60 y H60 (Figura N° 8)

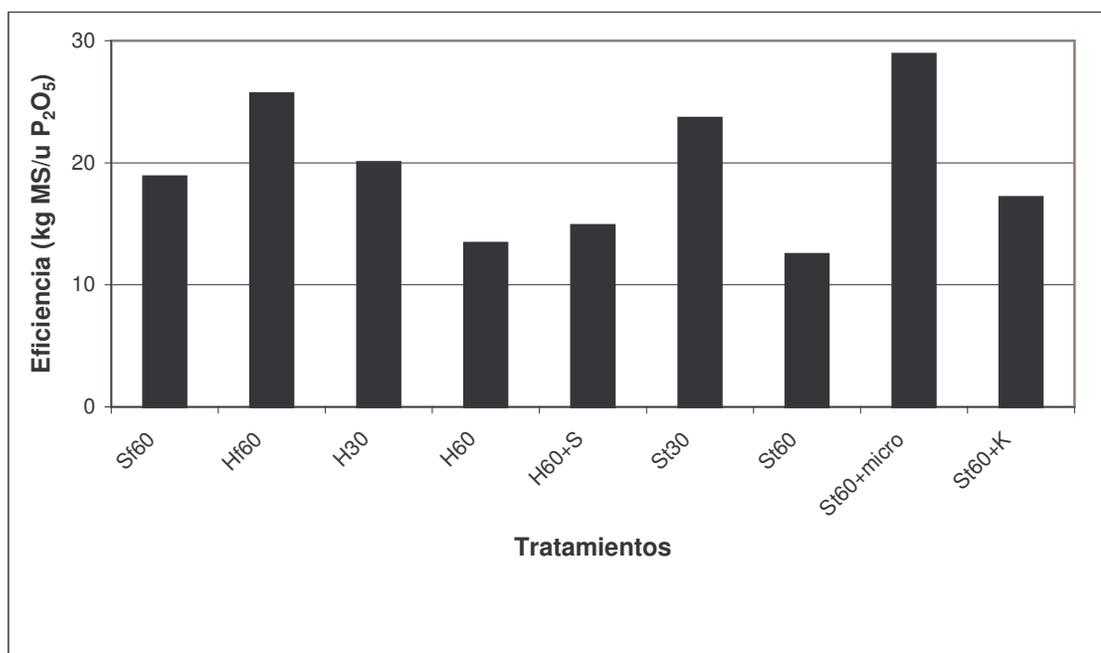


Figura N° 8 . Respuesta en rendimiento de MS por u de P₂O₅ para los distintos tratamientos (testigo=0)

Cuadro N° 33. Resultados del análisis estadístico

Contraste	Set.-01	Nov-01	Dic.-01	Total
1	0.08	0.08	0.00	0.00
2	0.78 _{NS}	0.94 _{NS}	0.24 _{NS}	0.46 _{NS}
3	0.65 _{NS}	0.84 _{NS}	0.17 _{NS}	0.24 _{NS}
4	0.75 _{NS}	0.90 _{NS}	0.91 _{NS}	0.90 _{NS}
5	0.38 _{NS}	0.47 _{NS}	0.00	0.01
6	0.33 _{NS}	0.60 _{NS}	0.07	0.38 _{NS}
7	0.65 _{NS}	0.48 _{NS}	0.01	0.03
8	0.92 _{NS}	0.78 _{NS}	0.13 _{NS}	0.52 _{NS}
9	0.60 _{NS}	0.20 _{NS}	0.31 _{NS}	0.79 _{NS}
CV	13.30	20.97	9.96	7.24

4.1.7.1 Comparación de respuesta entre testigo y el resto de los tratamientos

En este sitio tubo superioridad en producción de MS la fertilización frente al testigo (en cada corte y para total de los cortes). En setiembre fue del 17,1% (251 kg MS/ha); en noviembre del 30,1% (369 kg MS/ha); en diciembre del 23,9% (402 kg MS/ha); y para el total de los cortes del 23,3% (1021 kg MS/ha). (Ver anexo N° 21).

Sin embargo la absorción de P determinada por el análisis foliar fue similar. En el caso del testigo la absorción fue de 10,95 kg de P/ha - para el total de los cortes -, mientras

que en el resto de los tratamientos la absorción estuvo en un rango de 10,95 a 14,81 kg de P/ha de cultivo (para el tratamiento de menor y mayor absorción respectivamente).

4.1.7.2 Comparación de fuentes y dosis

4.1.7.2.1 Comparación de respuesta al agregado de micronutrientes junto a 60u de St

Al aplicar una misma dosis de supertriple (60 unidades) a dos tratamientos diferentes, pero con el agregado de micronutrientes a uno de ellos, se observó respuesta significativa (0%) y positiva a la adición de micronutrientes para uno de los 3 cortes realizados, así como para el total de MS recogido en los 3 cortes (1%). Esta respuesta fue de 32,7 % (621kg) en el corte de diciembre y de 19,2 % (984kg) para el total de los cortes. Esto podría estar explicado en parte por el nivel de materia orgánica del suelo (3,2%). (Ver anexo N° 21)

4.1.7.2.2 Comparación de respuesta al agregado de K junto a 60 u de St

En la comparación de estos dos tratamientos a los cuales se les agregó igual dosis de supertriple, pero a uno se le incluyó K. La respuesta al K como accesorio fue significativa (7%) solo para un corte de los 3 que se realizaron, la diferencia fue de 320kg, un 16,9 % más de rendimiento en MS/ha(Ver anexo N° 21). Para el total de MS de todos los cortes no hubo respuesta significativa.

4.1.7.2.3 Comparación de respuesta entre dos fuentes insolubles (Hf vs H-dosis=60-)

Cuando se contrastaron estas dos fuentes de fósforo insoluble se observaron diferencias significativas (1y 3%) para diciembre y total respectivamente. La diferencia fue a favor del Hiperfos con un 22,5% (456kg MS/ha) en el corte de diciembre, y de 14,2 % (735kg MS/ha) para el total. (Ver anexo N° 21)

El análisis de planta encontró una absorción de 3,98 kg de P/ha con el Hf; y de 3,02 kg de P/ha con el H, para el corte de diciembre.

Para los demás cortes realizados las diferencias no fueron significativas.

4.1.7.2.4 Otras consideraciones

No existieron diferencias de rendimiento en MS entre las fuentes solubles e insolubles de P promediadas, esto podría estar explicado en parte por el bajo pH del suelo (5,6) que mejoraría la solubilidad de las fuentes insolubles.

La eficiencia del St fue baja comparada con la del Sf (los 2 en dosis 60). Lo que podría estar sucediendo en este caso es que debido al nivel de materia orgánica del suelo (3,2) la disponibilidad de S del suelo para las plantas sea baja. Esto no sucedió cuando se le agregó S al H60, o sea, el agregado de S no mejoró la eficiencia de esta fuente.

No hubo diferencia significativa de respuesta (probabilidad < 10%) en MS entre las 2 dosis utilizadas (30 y 60 u de P_2O_5) para las distintas fuentes utilizadas (St, H), por lo tanto las eficiencias fueron mayores en los dos casos a dosis menores (ver figura N° 8).

El test de Tukey`s para las medias del total de los cortes detectó diferencias significativas (alfa = 0,05). El tratamiento con 60u de supertriple + K; Hiperfos y superfosfato, ambos en dosis de 60u fueron superiores al testigo. (con una DMS de 1125 kg MS /ha)(Ver anexo N° 28)

4.2 RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE SITIOS

A continuación se muestra graficada (Figura N°9) la respuesta promedio de todos los tratamientos para cada sitio.

Los promedios de eficiencia por unidad de P_2O_5 agregado fueron realizados utilizando los datos de MS total de todos los tratamientos para cada sitio (incluyendo: distintas dosis, fuentes y tratamientos con accesorios). El promedio total es el promedio de todos los sitios.

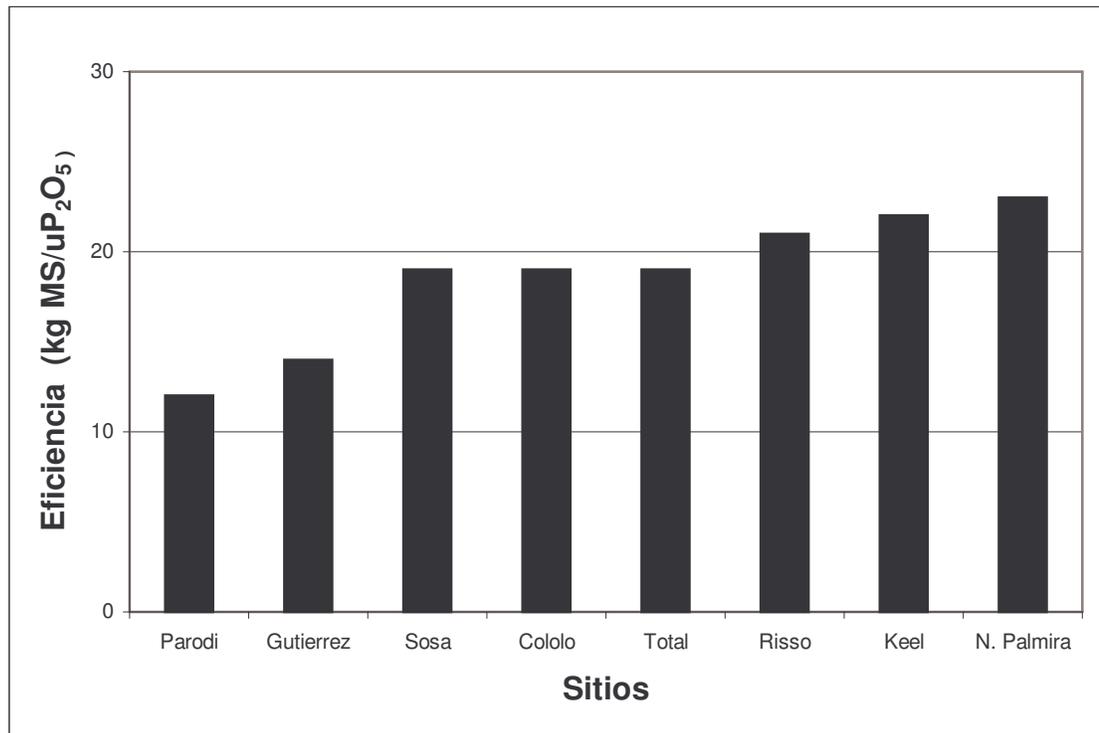


Figura N° 9. Respuesta promedio en kg de MS por u de P_2O_5 para cada sitio y promedio de todos los sitios.

El nivel de respuesta fue superior a 10 kg de MS por unidad de P_2O_5 para todos los sitios ; sin inclusión de los sitios Parodi y Gutierrez, la respuesta fue igual o mayor a 19 kg de MS por unidad de P_2O_5 . Estos niveles de respuesta se asemejan bastante a los esperados para la fertilización de base, a la siembra (10-25 kg MS/u P_2O_5), cuando en realidad se esperaba que fueran menores.

Cuadro N° 34. Análisis de suelo para contenido inicial de Fósforo

Sitios	Parodi	Gutierrez	Sosa	Cololo	Risso	Keel	N. Palmira
P (ppm)	14	13	13	27	6	8	15

Se puede asumir como premisa, que independientemente de los valores de P en el suelo que arrojan los análisis, existe respuesta al agregado de fósforo en la refertilización al año de instalación.

La respuesta de cada tratamiento promedio para el total de los sitios, como muestra el gráfico es igual o superior a 20 kg MS/unidad de P_2O_5 para los tratamientos con Hf 60, H 30, St 30, St60 + micro y St 60 +K, y para todos las fuentes y dosis superior a 12 kg MS/unidad de P_2O_5 . (Figura N°10)

La mayor eficiencia de las dosis menores (30 unidades de P_2O_5) con respecto a las dosis mayores (60 u de P_2O_5) se explica por la teoría de los "incrementos decrecientes", o sea que a mayor agregado de un nutriente, por encima del óptimo, menor es la respuesta por unidad del mismo.

La respuesta en rendimiento de MS/ha al agregado de hiperfos en general fue alta sobre todo en los suelos de menor pH y contenido de Ca, donde superó a las fuentes solubles (Keel -pH 5,7-; Gutierrez -pH 5,9- y Sosa -pH 5,6-)

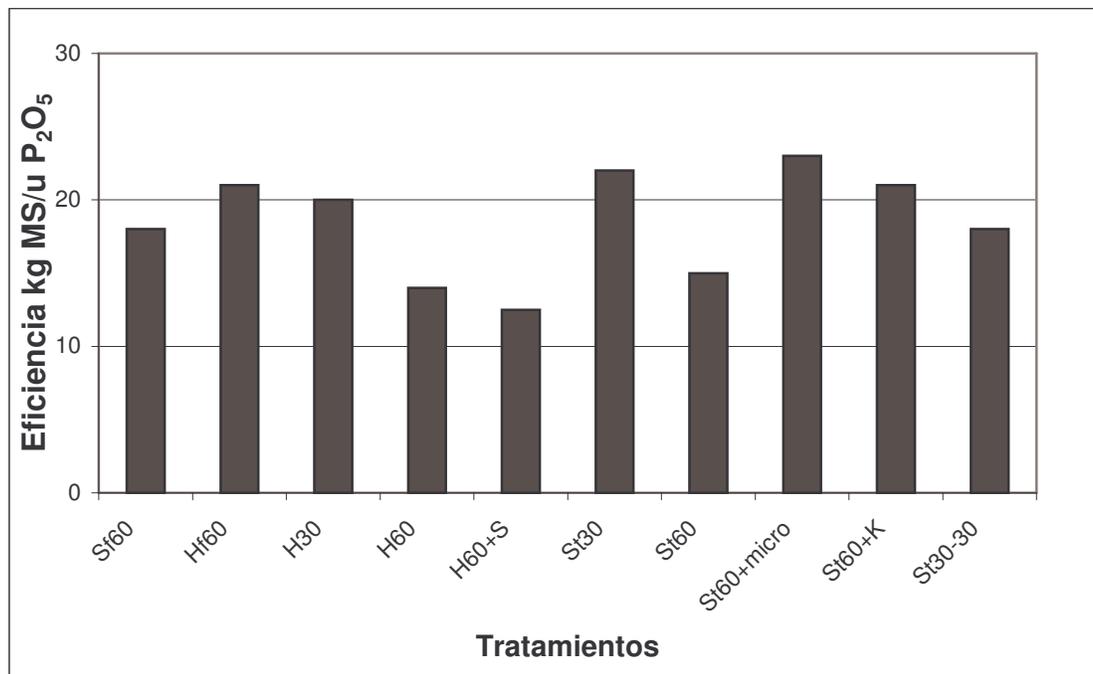


Figura N° 10 . Respuesta promedio de todos los sitios en kg de MS por u de P_2O_5 para cada tratamiento

En la mayoría de los sitios se observa una baja respuesta comparativa a el agregado de St 60. Una posible explicación para este fenómeno podría ser la mala distribución del fertilizante al aplicarlo, debido a su alta concentración de P (46%), lo que lleva a que una misma dosis esté compuesta por la mitad del número de gránulos que el superfosfato.

Otra posible explicación de la diferencia de respuesta encontrada entre las fuentes podría ser la concentración de S en cada una de ellas que es superior en el superfosfato (13%) e incluso en el Hiperfos (4%) que en el supertriple (1,5%).

Sin encontrar una explicación lógica con el agregado de accesorios (micronutrientes y K) al supertriple esta situación se revertiría, llegando a igualar y en algunos casos a superar el nivel de respuesta obtenido para otras fuentes en igual dosis. (Figura N° 11)

Aunque la respuesta al agregado de micronutrientes no fue estadísticamente diferente respecto al supertriple sólo (probabilidad < 10%) en la mayoría de los casos, agrónomicamente podemos tenerla en cuenta ya que significó una diferencia de 100 a 1000 kg de MS /ha (con excepción de Keel donde la respuesta fue menor que la del St solo). Pero si comparamos los rendimientos del St+micro con los obtenidos para otras fuentes como el superfosfato sólo, en igual dosis, estas diferencias se reducen, por lo que deja dudas sobre si la respuesta obtenida es efectivamente debida a los micronutrientes o a que mejora la distribución del supertriple.

En los sitios de menor contenido de materia orgánica (Sosa 3.2% y Parodi 3.7%) el tratamiento de ST + micro si supero al superfosfato sólo, así como a el resto de los tratamientos. Por lo que acá hace pensar que si se deba a la mayor disponibilidad de micronutrientes para la planta. En Risso donde el nivel de materia orgánica es igual que en Parodi el rendimiento en MS/ha del St + micro fue alto comparativamente pero no superior a el superfosfato.

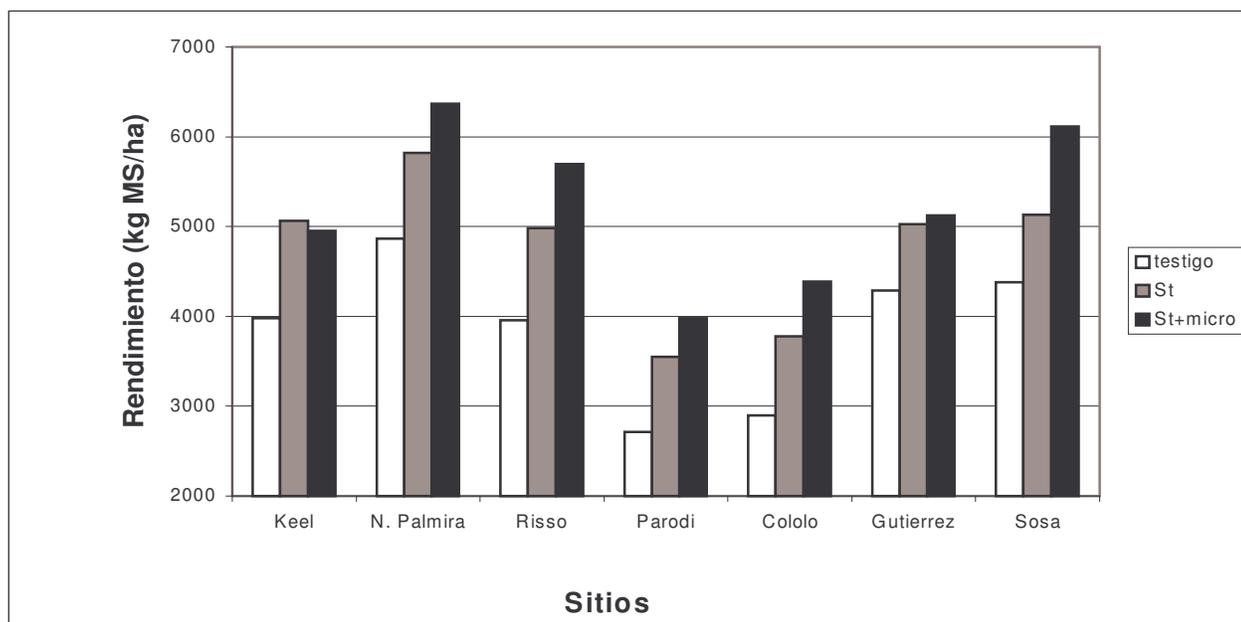


Figura N° 11 . Rendimiento de los distintos sitios en kg de MS/ha para los tratamientos St60, St60+micro y testigo.

Cuando se compararon fuentes solubles de fertilizante (supertriple vs superfosfato), existen diferencias significativas solo para un sitio, a favor del superfosfato, aunque se observo también esta tendencia para otros sitios, la misma fue poco clara. (Figura N° 12)

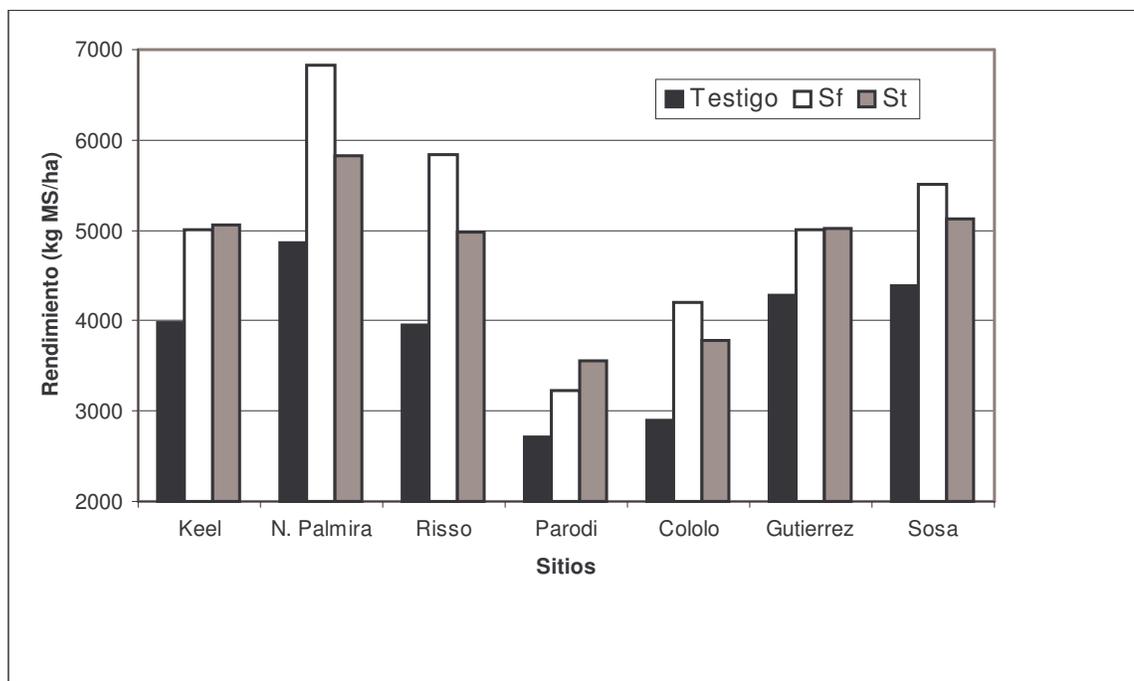


Figura N° 12 . Rendimiento comparativo en kg de MS/ha para dos fuentes de P soluble (dosis=60)

Cuadro N° 35. Análisis de suelo para contenido de Materia Orgánica inicial

Sitio	Keel	N. Palmira	Risso	Parodi	Cololo	Gutierrez	Sosa
M.O. (%)	3,90	4,50	3,70	3,70	4,10	4,00	3,20

Vemos que no existió una relación clara entre contenido de M.O. en el suelo y nivel de respuesta a la aplicación de fertilizantes con distintos contenidos de azufre. No quiere decir que no estén relacionados, sino que existen otros factores mencionados anteriormente que estarían afectando el grado de respuesta al St.

La respuesta al agregado de K junto a las 60 unidades de supertriple fue positiva para la mayoría de los sitios. Si bien no fue significativa - salvo para Cololó- en los demás sitios se mantuvo la tendencia, excepto en Parodi. (Figura N° 13)

Debido a que la respuesta al St(60 u de P_2O_5) fue anormalmente baja en algunos sitios, se lo compara al St+K con otra fuente soluble como el Sf en igual dosis (60 u de P_2O_5), se observa un nivel de respuesta similar entre ambos, por lo que no queda claro que exista respuesta al agregado de K, ya que el Sf tiene S que puede estar afectando la

comparación. Tal vez el K esté mejorando la eficiencia del St por algún otro factor. Además con los niveles de K intercambiable en los suelos en que se trabajó difícilmente pueda haber respuesta al agregado de K en el fertilizante. (Cuadro N° 36)

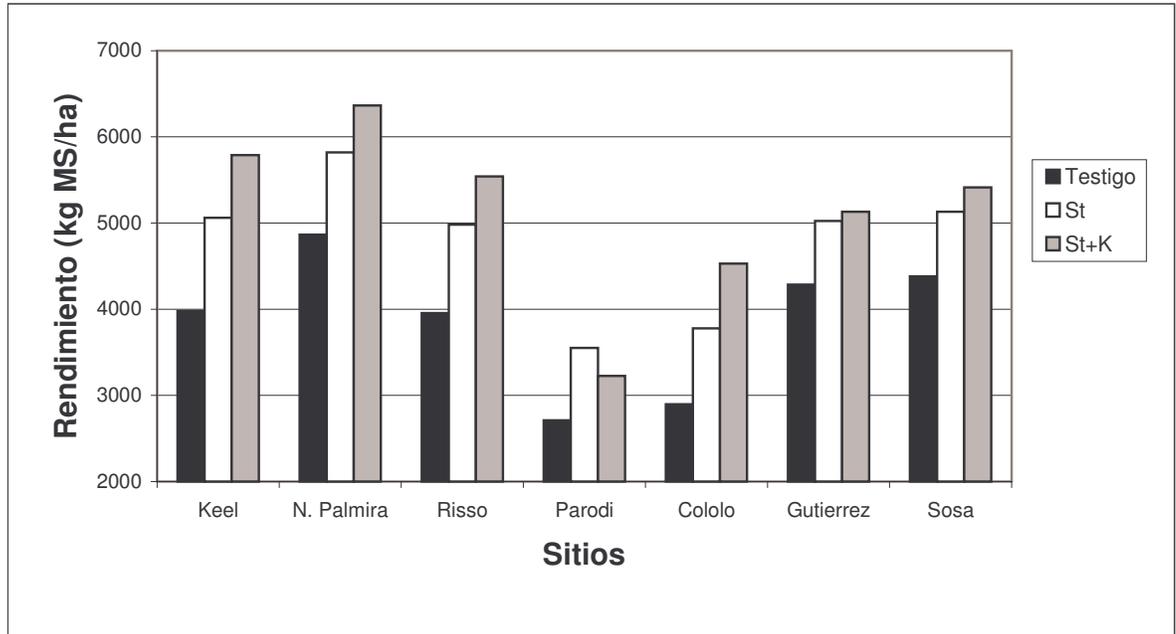


Figura N° 13. Rendimiento comparativo de MS/ha entre tratamientos-testigo vs St vs St+K- (dosis=60)

Cuadro N° 36. Análisis de suelo para contenido inicial de K

Sitio	Keel	N.Palmira	Risso	Parodi	Cololo	Gutierrez	Sosa
K (meq/100 gr)	0,83	0,89	0,70	0,75	0,96	0,92	0,60

Cuando se compararon fuentes insolubles (Hiperfosfato vs Hiperfos), hubo diferencias significativas ($p < 10\%$) solo en un sitio (Sosa), para el total de los cortes, en respuesta al fertilizante medida en kg MS/ha, pero en todos los sitios fue superior la misma para el Hiperfos. El grado de acidez en estos suelos tal vez no halla sido suficiente como para que exista una respuesta mayor al agregado de P como Hiperfosfato, a pesar de que este se aplicó en polvo, mientras que el Hiperfos, para el que existió una mayor respuesta, se aplicó granulado. La diferencia de respuesta entre ambas fuentes podría estar explicada, entre otras cosas, por la mayor concentración de P soluble del Hiperfós. (Figura N° 14)

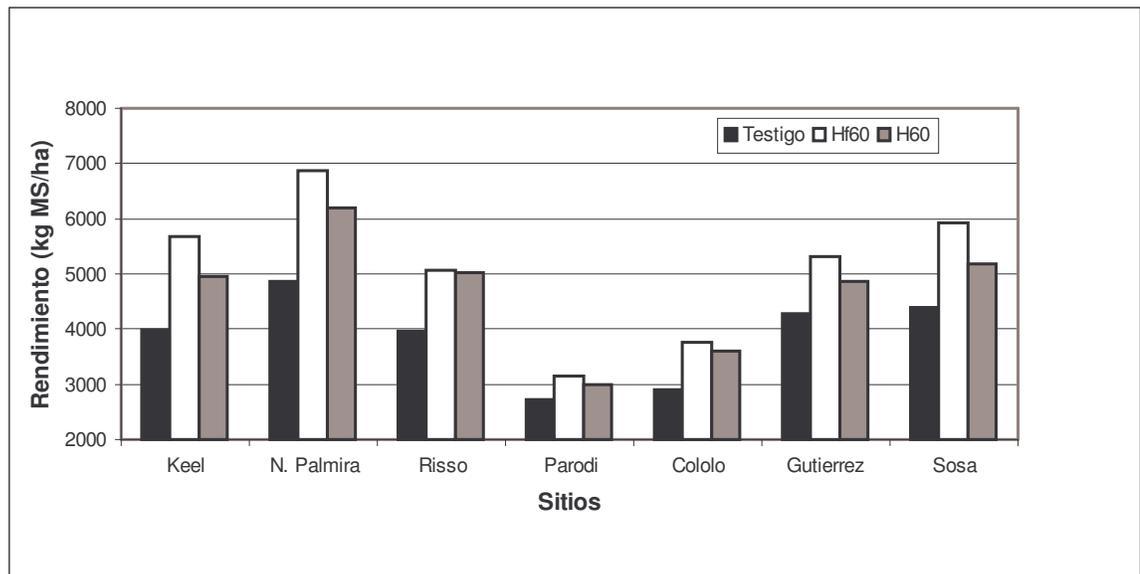


Figura N° 14. Rendimiento comparativo en kgMs/ha de dos diferentes fuentes de fertilizante en igual dosis

Evaluando niveles de respuesta, y comparándolos entre fuentes solubles (supertriple y superfosfato), e insolubles (hiperfos e hiperfosfato), medida en kg MS/uP₂O₅, se observa para todos los sitios una respuesta superior a las fuentes solubles, aunque en un solo sitio esta diferencia entre fuentes fue significativa -para el total de los cortes- (Cololó). (Figura N° 15)

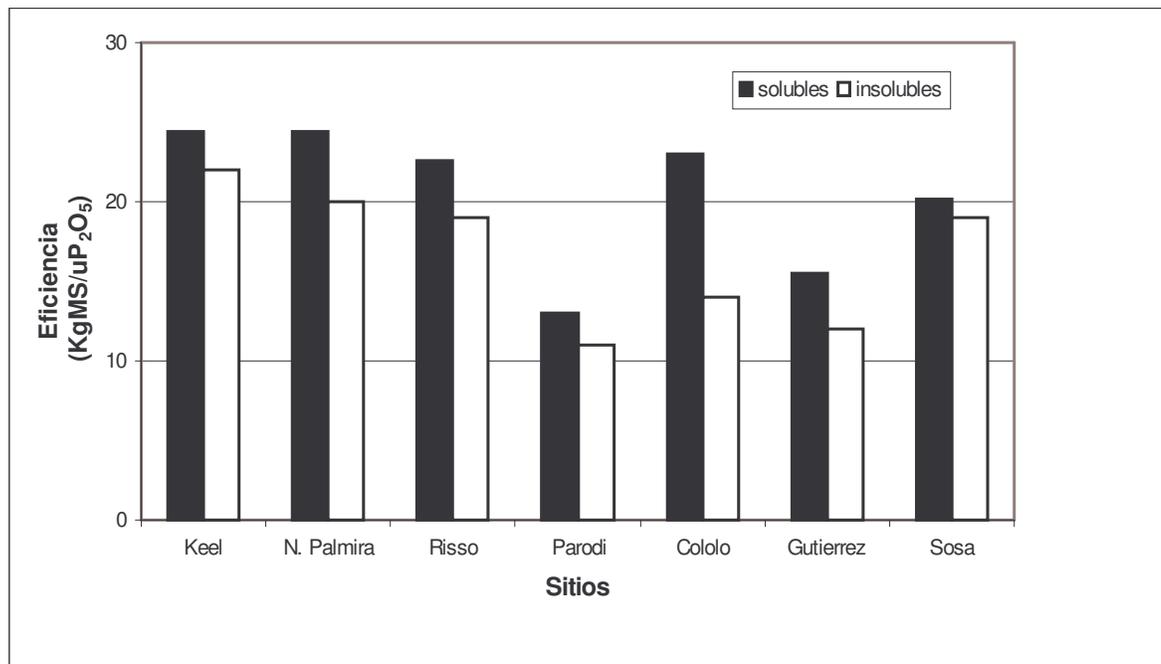


Figura N° 15. Comparación de eficiencia de utilización entre fuentes solubles e insolubles (kgMS/uP₂O₅)

Cuadro N° 37. Análisis de suelo para pH inicial

Sitio	Keel	N.Palmira	Risso	Parodi	Cololo	Gutierrez	Sosa
pH	5,70	6,30	6,20	6,20	6,00	5,90	5,60

Existe una relación entre pH del suelo y diferencia de respuesta entre fuentes solubles e insolubles. Se atribuye esto a que el pH es uno de los factores determinantes de la solubilidad de las fuentes insolubles en el suelo (a menor pH mayor solubilidad).

Se evaluó la respuesta al agregado de diferentes dosis de fertilizante para 2 de las fuentes, una soluble (supertriple), y una insoluble (hiperfosfato), comparando 30 y 60 unidades de dichos fertilizantes, y se observó para las 2 fuentes un máximo de eficiencia a dosis 30, en ambas se alcanzaron valores de 22,4 y 19,9 kg MS/u P₂O₅ para supertriple e hiperfosfato respectivamente, mientras que a dosis 60 estos valores fueron de 14,9 y 13,7 kg MS/uP₂O₅ respectivamente.

Cuadro N° 38. Comparación de rendimiento (en kg de MS/ha para el total de los cortes) de distintas dosis de P para 2 fuentes (H, St)

	Risso	Cololó	Keel	Nva. Palmira	Gutierrez	Parodi	Sosa
H60	5022	3591	4948	6200	4863	2996	5187
H30	4646	3447	4572	5528	4770	3297	4983
St60	4983	3776	5060	5821	5026	3552	5132
St30	4233	3674	5188	5559	5065	2975	5091

Ninguna de las diferencias entre dosis presentadas en el cuadro fue significativa (a probabilidades menores a 10%), por lo que al momento de tomar la decisión sobre la dosis a aplicar adquiere mayor peso el componente económico.

5. CONCLUSIONES

- Existió respuesta en rendimiento a la refertilización fosfatada medida en kg de MS/ha.

- El nivel de respuesta fue superior a 10 kg de MS/u de P_2O_5 para todos los sitios, siendo el promedio de respuesta de todos de 19 kgMS/u de P_2O_5

- La respuesta a la refertilización fosfatada también se reflejó en los niveles de fósforo en planta lo que se traduce en un forraje de mayor calidad.

- La fuente a utilizar con la que se obtendrían los mejores resultados agronómicos es el superfosfato. El Hiperfos tuvo un buen nivel de respuesta en suelos de pH menor a 5,9, por lo que podría considerarse como una fuente alternativa en suelos de esas características.

- No existió diferencia de respuesta en rendimiento ($p < 10\%$) medido en kg de MS/ha entre las 2 dosis utilizadas (30 y 60 u de P_2O_5) para las fuentes en que se compararon (St y H), por lo tanto hay una mayor eficiencia -kg de MS/u de P_2O_5 - de las dosis 30, independientemente del nivel de P del suelo.

-Al final de este trabajo no se está en condiciones de concluir sobre la ventaja desde el punto de vista agronómico del agregado de accesorios y azufre elemental a los fertilizantes fosfatados.

6. RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de alfalfas de segundo año en diferentes tipos de suelo a la refertilización fosfatada, con diferentes fuentes y dosis de fósforo y al agregado de K, micronutrientes y azufre como tratamientos adicionales.

Para evaluar esta respuesta se instalaron en otoño de 2001 ensayos de campo en 7 sitios del litoral oeste y sur-oeste del país con diferentes tipos de suelo y distintos niveles de P y pH. El estado de los alfalfares escogidos para la instalación de los ensayos fue bueno en general.

Se utilizó un diseño experimental de bloques con parcelas al azar, con tres repeticiones; siendo las parcelas de tres por dos metros.

Los métodos de análisis estadístico desarrollados fueron ANOVA y Tukey's. Para la comparación de los tratamientos se plantearon contrastes. Se consideraron diferencias significativas aquellas con probabilidades menores a 10%.

El ensayo comprendía 10 tratamientos:

- testigo sin fertilizar
- 60 unidades de P_2O_5 como Superfosfato
- 60 unidades de P_2O_5 como Hiperfos
- 60 unidades de P_2O_5 como Hiperfosfato
- 60 unidades de P_2O_5 como Supertriple
- 60 unidades de P_2O_5 como Supertriple + micronutrientes (10 kg/ha de Sequelene combi)
- 60 unidades de P_2O_5 como Supertriple + Potasio (100 kg/ha de KCl)
- 60 unidades de P_2O_5 como Hiperfosfato + Azufre (se calculo la dosis en relación 1: 1 con el fósforo)
- 30 unidades de P_2O_5 como Hiperfosfato
- 30 unidades de P_2O_5 como Supertriple

En uno de los sitios se utilizó la división de la dosis de 60 unidades de P_2O_5 como Supertriple en dos aplicaciones de 30 unidades cada una.

La refertilización se realizó al voleo en el otoño y los cortes se determinaron en función de las condiciones normalmente tenidas en cuenta por los productores y acorde a las características del cultivo (10-50 % de floración o aparición de macollos basales).

Los resultados obtenidos muestran que existió respuesta en rendimiento a la refertilización fosfatada medida en kg de MS/ha. El nivel de respuesta fue superior a 10 kg de MS/u de P_2O_5 para todos los sitios, siendo el promedio de respuesta de todos de 19 kgMS/u de P_2O_5 .

La respuesta a la refertilización fosfatada también se reflejó en los niveles de fósforo en planta lo que se traduce en un forraje de mayor calidad.

La fuente a utilizar con la que se obtendrían los mejores resultados agronómicos es el superfosfato. El Hiperfos tuvo un buen nivel de respuesta en suelos de pH menor a 5,9, por lo que podría considerarse como una fuente alternativa en suelos de esas características.

No existió diferencia de respuesta en rendimiento ($p < 10\%$) medido en kg de MS/ha entre las 2 dosis utilizadas (30 y 60 unidades de P_2O_5) para 2 de las fuentes (Supertriple e Hiperfosfato), por lo tanto hay una mayor eficiencia -kg de MS/u de P_2O_5 - de las dosis 30, independientemente del nivel de P del suelo.

Al final de este trabajo no se esta en condiciones de concluir sobre la ventaja desde el punto de vista agronómico del agregado de accesorios (potasio y micronutrientes) y azufre elemental a los fertilizantes fosfatados.

7. SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the response of the second year lucerne in different types of soil to the phosphated refertilization with different sources and doses of phosphorus and to the addition of K, micronutrients and sulphur as additional treatments.

To evaluate this response we did field tests in seven sites in the west and south-west during the fall of 2001. The tests were performed in different types of soil and at different levels of p and ph. The condition of the lucerne fields chosen for the tests was good in general.

An design in its experimental phase was used, composed of blocks in different plots set up randomly.

The plots were of three by two meters.

The statistic analisis methods used where ANOVA and Turkey's. To compare the treatments, contrasts were set up. Differences with probabilities of less than 10% were considered as significative.

The test included 10 treatments :

- *witness with no fertilization*
- 60 units of P205 as Ordinary Superphosphate
- 60 units of P205 as Phosphate Rock (partially acidulated)
- 60 units of P205 as Phosphate Rock for direct application
- 60 units of P205 as Triple Superphosphate
- 60 units of P205 as Triple Superphosphate + micronutrients(10kg/ha of Sequelene combi)
- 60 units of P205 as Triple Superphosphate + Potassium (100kg/ha of KCl)
- 60 units of P205 as Phosphate Rock + Sulphur (the dose was calculated in a 1:1 ratio with the phosphorus)
- 30 units of P205 as Phosphate Rock
- 30 units of P205 as Triple Superphosphate

In one of the sites (Parodi), a division of the 60 units dose of P205 was used as Triple Superphosphate with two applications of 30 units each.

The refertilization was used broadcast in the autumn and the cuts were determined according to the normal conditions that the regulars producers take into account and to the characteristics of the crops (10-50% of florewing or appearance of the macollos basales).

The results obtained show that there was a response to the phosphated refertilization in the performance measured in kg of MS/ha. The level of this response was over 10kg of MS/u of P205 for all the sites, at an average of 19kgMS/u. of P205.

The response to this phosphated refertilization was also reflected in the levels of phosphorus in plant, which means a better forage in terms of quality.

The source to be used with which better agronomic results will be obtained is the Ordinary Superphosphate.

The Hiperfos had a good reponse in soils of ph of 5.9 or less so it could be taken into consideration as an alternative source of in this type of soils.

There was no difference in the performance ($p < 10\%$) measured in Kg of MS/ha in the 2 doses used (30 and 60 units of P205) for the 2 sources (Triple Superphosphate and Phosphate Rock), so there is a better performance in Kg of MS/u pf P205 of the 30 dose, no matter which level of P the soil had.

At the end of this work, we are in no position to conclude about the advantage from the agronomic point of view, of the addition of accesories (potassium and micronutrients) and elemental sulphur to the phosphated fertilizers.

• **8. BIBLIOGRAFÍA**

- 1- ALIALL, F.; DUQUE, A. 1986. Efecto de la fertilización fosfatada de la fuente de P en la pastura convencional sobre un vertisol (tercer y cuarto año). Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. 183 p.
- 2- AMBERGER, A. 1978. Experiences with soft rock phosphates for direct application (1972 Haifa). Proceeding. Muscle Shoal, Alabama. International Fertilizer Development Center. pp. 349-366.
- 3- BARROW, N. J. 1975. The response to phosphate of two annual pasture species. I effect of soil's ability to adsorb phosphate requirement. Australian journal of agricultural research, 26: 137-143.
- 4- BIANCO, L.E. y LOZA W.L. Efecto residual del encalado y de la fertilización fosfatada y efecto de la refertilización en alfalfa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, pp. 106. 1979.
- 5- BLACK, C. A. 1975. Relaciones suelo planta. Méjico. C.R.A.T. 2v.
- 6- BORDOLI, J.M.; COLLARES, C.; y MALLARINO, A.P. 1984. Efecto residual de la fertilización y refertilización fosfatada de pasturas de trebol rojo y raigras. 7ª Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía. pp. 101-102. Montevideo, Uruguay.
- 7- BROWNLEE, H. et al. Effects of topdressing superphosphate on the sheep and pasture production of dryland lucerne in central western New South Wales. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 15: 475-483. 1975.
- 8- CAMBRA, A.J. Encalado, fertilización y refertilización fosfatada en alfalfa (para 3 suelos del departamento de Canelones). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. p. 208. 1987.
- 9- CARAMBULA, M. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, ed. Hemisferio Sur, 1977.
- 10- CASANOVA, O. 1996. Potasio: consideraciones sobre su situación en el Uruguay. Uruguay. I.N.I.A. Serie técnica N° 76. pp. 167.
- 11- CASTRO, L. Fertilización de pasturas. In: Pasturas IV, Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger, Uruguay. Montevideo, pp. 123-129. 1978
- 12- CASTRO, J. L.; ZAMUS, E. M. y OUDRI, N. 1981. Guía para fertilización de pasturas. In: Fertilización de pasturas. Miscelánea 37 M.A.P.- C.I.A.A.B. pp.15
- 13- CASTRO, J. L.; ZAMUS, E. M. y BARBOZA, S. 1981. Fertilización de pasturas en el Litoral oeste del Uruguay. Uruguay. C.I.A.A.B. Investigaciones agronómicas (2) : 56-67.
- 14- CERVEÑANSKY, A. 1996. Micronutrientes. Montevideo. Facultad de Agronomía. 41 p.

- 15- CERVEÑANSKY, A. 2000. Azufre. Montevideo. Facultad de Agronomía. 26 p.
- 16- CERVEÑANKY, A.; CASANOVA, O. 2002. Agrotémario I.S.U.S.A. año 5 N° 24
- 17- COLLARES FORTEZA, L. J. 1996. Evaluación de fuentes de P sobre dos suelos con pasturas convencionales. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. pp.125.
- 18- ENGLESTAD, O. P. and TERMAN, G. L. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In Symposium of the phosphorus in agriculture. (1976, Muscle shoals, Alabama). Proceedings. Madison Wisconsin, American Society of Agronomy. pp. 311-332.
- 19- ESILABA, A. O; EGHBALL, B. and SANDER, D. M. 1992. Soil test phosphorus availability as affected by time after phosphorus fertilization. Soil Science Society of American. Proceedings 56: 1967-1973.
- 20- HAMMOND, L. L. 1978. Agronomic measurements of phosphate rock effectiveness. In Seminar on phosphate rock for direct application (1972 Haifa). Proceedings. Muscle Shoal, Alabama. International Fertilizer development Center. pp.147-173.
- 21- HERNANDEZ, J. 1992. Potasio. Montevideo. Facultad de Agronomía. 36 p.
- 22- HERNANDEZ, J. 1999. Fósforo. Montevideo. Facultad de Agronomía. 89 p.
- 23- KHASAWNEH, E.F. and SAMPLE, E. C. 1978. Phosphorus concentration in soil as factor affecting phosphate rock effectiveness. In. Seminar of phosphate rock for direct application (1972 Haifa). Proceedings. Muscle shoal, Alabama, International Fertilizer Development Center. pp. 130-146.
- 24- KHASAWNEH, F. E. and DOLL, E. C. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soil. Advances in agronomy 30: 159-204.
- 25- KIMBROUGH, E. L.; BLASER, R.E. and WOLF, D.D. 1971. Potassium effects on regrowth of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Agronomy journal 63: 836-840 N° 6.
- 26- LABELLA, S. J. y AMENDOLA, L. A. 1977. Eficiencia relativa de algunas fuentes de fósforo para la fertilización directa de cultivos de verano. C.I.A.A.B. Estación experimental del norte. Treinta y Tres. Boletín técnico N° 24. pp.16.
- 27- LANYON, L. E.; GRIFFITH, W. K. 1988. Nutrition and Fertilizer Use. In: Alfalfa and alfalfa improvement. A.A. Hanson; D.K. Barnes; R.R. Hill, jr. ed. Madison, W.I. 53711, U.S.A. American Society of Agronomy, Inc.; Crop Science Society of America, Inc.; Soil Science Society of America, Inc. pp.333-372.
- 28- MASSEY, D.L. and SHEARD, R.W. Utilization of surface applied phosphorus by established stands of alfalfa and brome grass. Canadian Journal Soil Society. 50:9-16, 1970.

- 29- Mc LEAN, E. O. 1970. Factors affecting yields and uptake of phosphorus by different crops. II. Rock phosphate and superphosphate, separate and in combination under extended cropping, Soil Science Society of America. Proceedings 34: 907-919.
- 30- MILLS, H. A.; JONES, J. B. 1996. Plant analysis hand book II. Micro-Macro Publishing, Inc. pp. 422.
- 31- MORON, A. E. 1982. Fuentes de pasturas. Uruguay. C.I.A.A.B. Miscelánea N° 42. pp. 24.
- 32- MORON, A. 1996. Azufre: consideraciones sobre su situación en el Uruguay. Uruguay. I.N.I.A. Serie técnica N° 76. pp. 167.
- 33- MORON, A. E. 1996. El P en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en los suelos (I). Uruguay. I.N.I.A. Serie técnica N° 76. pp. 167.
- 34- MORON, A. 2000. Fertilidad de suelos y estado nutricional. Uruguay. I.N.I.A. Serie técnica N° 69. pp. 159.
- 35- MUSLERA PARDO, RATERA GARCIA. 1983. Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. España. Ed. Mundi-prensa. pp.702.
- 36- NOVELLA, M. B. y CASTRO J. L. 1980. Fertilización de pasturas con mezclas de fosforita y azufre. Uruguay. C.I.A.A.B. Investigaciones agronómicas (1): 37-40.
- 37- NUTTAL, W. F. 1985. Effect of N, P and S fertilizers on alfalfa grown on three soil types in Northeastern Saskatchewan. Y. yield and soil tests. Agronomy Journal 77:41-46.
- 38- OTEGUI, O. B. 1989. Eficiencias de distintas fuentes de P en cultivos anuales. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Uruguay. Facultad de agronomía. p. 66.
- 39- REINHORN, T. ; HAGIN, J. and AXELROD, S. 1978. Relation of phosphate rock availability to some soil properties and cultivation time. In seminar on phosphate rock for direct application (1972 Haifa). Proceedings. Muscle shoal Alabama. International Fertilizer development Center. p. 234-245.
- 40- SEAY and WEEKS, The effect of lime of topdressing on uptake of phosphorus and potassium by an established stand of alfalfa. Soil Science of America Proceedings. 19:458-461, 1955.
- 41- TISDALE, S. L. and NELSON, W. L. 1975. Soil fertility and fertilizers. New York, Mac Millan. p. 66-104.
- 42- TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. and BEATON, J. D. 1985. (4^a edition). Soil Fertility and Fertilizers. New York, Mac Millan. p.350- 413.
- 43- UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY). Facultad de Agronomía. Curso de suelos II. Montevideo, 1974. v.3. (mimeografiado).

- 44- URUGUAY. C.I.A.A.B. ESTACION EXPERIMENTAL LA ESTANZUELA. 1971. Boletín de divulgación N°5. pp.40.
- 45- URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo, 1976. Esc. 1:1.000.000. Color.
- 46- WELTE, E. 1978. Viewpoints on the utilization of rock phosphate for direct application. In. Seminar on phosphate rock for direct application (1972 Haifa). Proceedings. Muscle Shoal, Alabama, International Fertilizer Development Center. pp. 325-342.
- 47- ZAMALVIDE, J. 1995. Deficiencias de azufre en suelos del Uruguay. Uruguay. Plan agropecuario revista año XXIII N° 67. pp. 48.
- 48- ZAMALVIDE, J. P. 1996. El P en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (II). Uruguay. I.N.I.A. Serie técnica N° 76. pp.167.