

CONF. 20 (AIEA)

T. 1514

MINISTERIO DE EDUCACION Y CULTURA  
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

EFFECTO RESIDUAL DEL ENCALADO, LA FER  
TILIZACION FOSFATADA INICIAL Y EFEC  
TO DE LA REFERTILIZACION EN ALFALFA  
PARA DOS SUELOS DEL SUR

por

*Graciela María Antonaccio Vera*  
*Susana Velia Cremona Otazú*

TESIS presentada como uno de los requi  
sitos para obtener el título de Inge  
niero Agrónomo (Orientación Agrícola-  
Ganadera)

Montevideo  
URUGUAY  
1983

Tesis aprobada por:

Director: ING. AGR. OLGA CASANOVA  
Nombre completo y firma

ING. AGR. ANTONIO TRUJILLO  
Nombre completo y firma

ING. AGR. JOSE ESTEBAN DE  
Nombre completo y firma

Fecha: \_\_\_\_\_

Autores: Graciela María Antonaccio Vera Graciela Antonaccio  
Nombre completo y firma

Susana Velia Cremona Otazú Susana Cremona Otazú  
Nombre completo y firma

## AGRADECIMIENTOS

Damos nuestro sincero agradecimiento a las siguientes personas:

- Ing. Agr. Omar N. Casanova por el asesoramiento y colaboración permanentemente prestados en todas las etapas del trabajo.
- Ing. Agr. Antonio Mallarino por su valioso aporte en la discusión y elaboración de los resultados obtenidos.
- Bach. Leticia M. de Yarzaban e Ing. Agr. Carlos Moltini por su aporte y colaboración en los análisis de laboratorio.
- Bach. Jorge Hernández por su colaboración en los trabajos de laboratorio y de campo.
- Ings. Agrs. Luis Salvarrey y Mónica Beltrami por su colaboración en los análisis estadísticos.
- Sres. Rubí Denes (ausente) y Juan Carlos Rodríguez por su apoyo en las tareas de campo.
- A todos los integrantes de la Cátedra de Suelos y a todas aquellas personas que de una forma u otra hicieron posible la finalización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS Y GRAFICAS.....	X
I. <u>INTRODUCCION</u> .....	1
II. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u> .....	3
II.A. ACIDEZ DEL SUELO.....	3
II.A.1. <u>Efecto de la acidez sobre el crecimiento de las plantas</u> ...	3
II.A.2. <u>Elementos tóxicos. Aluminio y Manganeso</u> .....	4
II.A.3. <u>Efecto de la acidez sobre la nodulación</u> .....	6
II.B. ENCALADO.....	7
II.B.1. <u>Eliminación de la acidez del suelo</u> .....	7
II.B.2. <u>Efecto sobre el calcio y otros cationes</u> .....	8
II.B.3. <u>El rol del Calcio en las plantas</u> .....	10
II.B.4. <u>Efecto sobre los micronutrientes</u> .....	11
II.C. FOSFORO.....	12
II.C.1. <u>Reacción entre el fertilizante y el suelo</u> .....	12
II.C.2. <u>Reacción del P en el suelo en relación a la capacidad tampón del ión fosfato</u> .....	14

II.D.	INTERACCION ENTRE ENCALADO Y FER- TILIZACION FOSFATADA.....	16
II.E.	EFECTO RESIDUAL DEL ENCALADO.....	20
II.E.1.	<u>Factores que influyen sobre el efecto residual</u> .....	21
II.E.2.	<u>Pérdida del efecto de la cal</u> .....	22
II.F.	EFECTO RESIDUAL DEL FOSFORO AGREGADO	23
II.F.1.	<u>Evaluación del fósforo resi- dual</u> .....	24
II.F.2.	<u>Relación entre el efecto resi- dual del fósforo aplicado y la refertilización</u> .....	25
II.F.3.	<u>Efecto de la refertilización sobre la distribución del fós- foro disponible en el suelo</u> ..	27
II.F.4.	<u>Dosis y frecuencia de aplica- ción del fertilizante</u> .....	29
II.G.	COMPOSICION QUIMICA DE LAS PLANTAS....	31
II.G.1.	<u>Nivel crítico</u> .....	32
II.G.2.	<u>Contenido total de nutrientes</u> .	33
II.G.2.a.	Fósforo.....	34
II.G.2.b.	Nitrógeno.....	36
II.G.2.c.	Potasio.....	38
II.H.	ESTUDIO DE LA COMPOSICION BOTANICA....	39
III.	<u>MATERIALES Y METODOS</u> .....	41
III.A.	LOCALIZACION.....	41
III.B.	TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL....	42
III.B.1.	Estudio de la refertilización	43

III.C. TRABAJOS DE CAMPO.....	44
III.D. TRABAJOS DE LABORATORIO.....	45
III.D.1. <u>Análisis de suelos</u> .....	45
III.D.2. <u>Análisis de plantas</u> .....	46
III.E. ANALISIS ESTADISTICOS.....	47
III.F. SIMBOLOGIA UTILIZADA.....	48
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u> .....	49
IV.A. ENSAYO DE SAN RAMON.....	49
IV.A.1. <u>Efecto de los tratamientos sobre el pH del suelo</u> .....	49
IV.A.2. <u>Evolución del P disponible en el suelo</u> .....	50
IV.A.3. <u>Efecto de los tratamientos iniciales sobre los rendimientos</u> .....	53
IV.A.3.a. Efecto residual de la refertilización fosfatada.	53
IV.A.3.b. Efecto residual de la cal.....	57
IV.A.3.c. Interacción entre cal y fósforo....	57
IV.A.4. <u>Efecto de la refertilización sobre los rendimientos</u> .....	59
IV.A.5. <u>Efecto de las aplicaciones únicas y fraccionadas sobre los rendimientos</u> .....	69
IV.A.6. <u>Análisis de la composición química de las plantas</u> .....	70

IV.A.6.a.	Efecto de los <u>tra</u> <u>tamientos</u> en el contenido de P.....	71
1.	Porcentaje de P en las plan- tas.....	71
2.	Rendimiento de P.....	74
IV.A.6.b.	Efecto de los <u>trata</u> <u>mientos</u> sobre el <u>con</u> <u>tenido</u> de N.....	81
1.	Porcentaje de N..	81
2.	Rendimiento de N.	84
IV.A.6.c.	Efecto de los <u>trata</u> <u>mientos</u> sobre el <u>con</u> <u>tenido</u> de K.....	85
IV.A.7.	<u>Estudio de la composición bo</u> <u>tánica</u> .....	87
IV.B.	ENSAYO DE JOANICO.....	90
IV.B.1.	<u>Efecto del encalado sobre el</u> <u>pH del suelo</u> .....	90
IV.B.2.	<u>Disponibilidad de P en el sue</u> <u>lo</u> .....	90
IV.B.3.	<u>Efecto de los tratamien</u> <u>tos iniciales sobre los rendimien</u> <u>tos</u> .....	92
IV.B.3.a.	Efecto residual de la fertilización fos fatada.....	92
IV.B.3.b.	Efecto residual del encalado.....	96

	IV.B.3.c. Interacción en tre cal y fós- foro.....	97
IV.B.4.	<u>Efecto de la refertilización fosfatada sobre los rendimien- tos.....</u>	100
IV.B.5.	<u>Efecto de las aplicaciones únicas y fraccionadas sobre los rendimientos.....</u>	105
IV.B.6.	<u>Análisis de la composición química de las plantas.....</u>	108
	IV.B.6.a. Efecto de los trata- mientos sobre la com- posición de P de las plantas.....	108
	1. Porcentaje de P..	108
	2. Rendimiento de P.	111
	IV.B.6.b. Efecto de los trata- mientos sobre el por- centaje y rendimien- to de N.....	113
V.	<u>RESUMEN Y CONCLUSIONES.....</u>	118
VI.	<u>APENDICE A - SAN RAMON.....</u>	124
	<u>APENDICE B - JOANICO.....</u>	141
VII.	<u>LITERATURA CITADA.....</u>	159

LISTA DE CUADROS Y GRAFICAS

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
1	Características de cada corte.....	45
2	pH del suelo a la siembra, 1ra. y 2da. refertilización.....	49
3	Valores de P disponible en el suelo para el 2do. y 3er. año. Datos en ppm.....	50
4	Resultados de los análisis de varianza de P disponible en el suelo para dos fechas de muestreo.....	52
5	P disponible en el suelo para las parcelas no refertilizadas. Datos en ppm.....	52
6	Análisis de varianza de los rendimientos totales de MS y alfalfa pura (datos en kg/ha).....	54
7	Rendimientos promedios de Materia Seca y alfalfa pura para cada corte. Datos en kg/ha.....	55
8	Rendimientos totales promedios para los 3 niveles de cal. Datos en kg/ha.....	57
9	Rendimientos promedio de Materia Seca to- tal para las parcelas sin refertilizar (datos en kg/ha).....	58
10	Rendimiento promedio de Alfalfa Pura total para las parcelas sin refertilizar (datos en kg/ha).....	58
11	Rendimientos de Materia Seca por corte y totales de los 4 cortes del 3er. año. Da- tos promedio en kg/ha.....	61

Cuadro N°Página

12	Resultados del análisis de varianza de los rendimientos totales de materia seca (tt/ha) del 3er. año.....	62
13	Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos de MS (tt/ha) del primer y segundo corte.....	62
14	Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos del tercer y cuarto corte.....	63
15	Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura (tt/ha) del 1er. y 2do. corte.....	63
16	Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura (tt/ha) del 3er. y 4to. corte.....	64
17	Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura (tt/ha) de la suma de los 4 cortes.....	64
18	Rendimientos de alfalfa pura por corte y totales de los 4 cortes del 3er. año. Datos promedio en kg/ha.....	65
19	Rendimientos acumulados promedio trianuales, promedio para las dosis de P acumuladas en esos años. Datos en kg/ha de M.S....	69
20	Rendimientos promedios en M.S. y alfalfa pura para las distintas dosis del fertilizante fosfatado acumuladas en los 3 años. Datos en kg/ha.....	70

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
21	Contenido promedio de P en cada corte para los distintos tratamientos. Datos en porcentaje de P.....	72
22	Resultados de los análisis de varianza de los datos de contenido de P en los cortes 1 y 2.....	73
23	Resultados de los análisis de varianza de los datos de contenido de P en los cortes 3 y 4.....	73
24	Rendimiento de P en kg/ha.....	75
25	P absorbido en los 4 cortes. Datos en kg/ha	76
26	Resultados de los análisis de varianza del P extraído en los cortes 1 y 2.....	77
27	Resultados de los análisis de varianza del P extraído en los cortes 3 y 4.....	77
28	P total absorbido. Datos en kg/ha.....	79
29	Datos promedios de los contenidos de N de las plantas de alfalfa, expresados en porcentaje.....	82
30	Resultados de los análisis de varianza de los datos de contenido de N, en los cortes 1,2 y 3.....	83
31	Rendimiento de N. Datos en kg/ha.....	84
32	Datos promedios de los contenidos de K, expresados en porcentaje.....	86
33	Composición botánica de los tratamientos extremos en cada uno de los cortes. Datos en porcentaje de alfalfa.....	87

<u>Cuadro N°</u>		<u>Página</u>
34	pH del suelo en la siembra, 1er. corte y refertilización.....	90
35	P disponible en el suelo en el momento de la refertilización.....	91
36	Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos totales de Materia Seca y alfalfa pura de las parcelas no refertilizadas.....	94
37	Rendimientos promedios de cada corte pa- ra los distintos tratamientos iniciales de P. Datos en kg/ha.....	94
38	Rendimientos totales promedio para cada nivel de cal. Datos en kg/ha.....	96
39	Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos totales de MS y al- falfa pura.....	102
40	Rendimientos promedio de MS y alfalfa pu- ra para las distintas dosis del fertili- zante fosfatado acumuladas en los 2 años. Datos en kg/ha.....	107
41	Rendimientos acumulados bianuales prome- dio, para las dosis de P acumuladas en los 2 años. Datos en kg/ha.....	107
42	Porcentaje de P en cada uno de los cuatro cortes para los diferentes tratamientos..	109
43	Análisis de Varianza del porcentaje de P en las plantas para los cortes 1 y 2...	110
44	Análisis de Varianza del porcentaje de P en las plantas, para los cortes 3 y 4..	111

Cuadro N°Página

45	Rendimiento de P en kg/ha. Datos promedios para cada uno de los cortes.....	112
46	P Total absorbido (kg/ha).....	113
47	Resultados del análisis de varianza de los datos de P total absorbido.....	114
48	Datos promedio de los contenidos de N expresados en porcentaje.....	114
49	Resultados del análisis de varianza para los cortes 1 y 2 de los porcentajes de N en las plantas.....	115
50	Resultado del análisis de varianza de los datos de N absorbido en el 2do.corte..	116

Gráfica N°

1	Rendimientos totales de MS para los distintos niveles iniciales de P aplicado...	53
2	Rendimientos totales de alfalfa pura para los distintos niveles iniciales de P aplicado.....	53
3	Rendimientos totales de MS con y sin cal para las dosis de P inicialmente aplicadas.....	59
4	Rendimientos totales de alfalfa pura con y sin cal para las dosis de P inicialmente aplicadas.....	59
5	Respuesta de la MS total a las distintas dosis iniciales de P.....	60
6	Respuesta de la alfalfa pura total a las distintas dosis iniciales de P.....	60

Gráfica N°Página

7	Efecto de los distintos niveles de P aplicados sobre el porcentaje de alfalfa pura.....	66
8	Rendimiento de MS total de las parcelas R y s/r para los distintos niveles de cal aplicados (datos tt/ha).....	67
9	Rendimiento de alfalfa pura total de las parcelas R y s/r para los distintos niveles de cal aplicados (datos tt/ha).....	67
10	Rendimientos totales de M.S. de las parcelas refertilizadas para cada nivel de cal para las dosis de P inicialmente aplicadas.....	68
11	Rendimientos totales de alfalfa pura de las parcelas refertilizadas para cada nivel de cal para las dosis de P inicialmente aplicadas.....	68
12	P absorbido por las parcelas R y s/r para las 3 dosis de cal en el cuarto corte.....	78
13	Extracción de P en el 2do., 3er. y 4to. corte, según dosis acumuladas de $P_{205}$ ...	80
14	Efectos del P y Refertilización a través de los sucesivos cortes.....	88
15	Rendimiento total de Materia Seca para las dosis iniciales de P aplicado.....	93
16	Rendimiento total de alfalfa pura para las dosis iniciales de P aplicado.....	93
17	Rendimiento de alfalfa pura en el 2do. corte para las dosis de Cal aplicadas...	97

Gráfica N°Página

18	Rendimiento total de Materia seca para cada nivel de cal para las dosis iniciales de P aplicado.....	99
19	Rendimiento total de alfalfa pura (kg. MS/ha) para cada nivel de cal para las dosis iniciales de P aplicado.....	99
20	Rendimiento total de MS para cada nivel de cal para el 1er. año para las dosis iniciales de P aplicado (Ambrosoni,1979)...	100
21	Efecto de la Refertilización sobre el rendimiento total de M.S., para los niveles iniciales de P aplicado.....	101
22	Efecto de la Refertilización sobre el rendimiento total de alfalfa pura, para los niveles iniciales de P aplicado.....	101
23	Efecto de la refertilización sobre el rendimiento total de M.S. para cada nivel de cal.....	104
24	Efecto de la refertilización sobre el rendimiento total de alfalfa pura para cada nivel de cal.....	104
25	Rendimiento total de M.S. para cada nivel de cal para las dosis iniciales de P aplicado. (Parcelas refertilizadas).....	106
26	Rendimiento total de alfalfa pura para cada nivel de cal para las dosis iniciales de P aplicado (parcelas refertilizadas).	106
27	Rendimiento de N para las distintas dosis de cal en el 2do. corte.....	116

## I. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Dadas sus cualidades de alto valor nutritivo y productividad, la alfalfa es considerada uno de los principales suplementos forrajeros para la producción lechera. Sin embargo, en nuestro país, se ha constatado en los últimos años un decrecimiento importante tanto en el área sembrada como en los rendimientos por hectárea. Diversos factores están probablemente determinando esta evolución, entre ellos seguramente se encuentran problemas nutricionales, de manejo, aparición de enfermedades y falta de disponibilidad de variedades adaptadas.

Uno de los factores nutricionales que puede limitar la productividad de esta leguminosa es la acidez del suelo y en relación a ella se ven afectadas la disponibilidad de algunos nutrientes tales como fósforo y nitrógeno.

La nutrición fosfatada es de los factores más importantes a estudiar. Esta especie es la leguminosa forrajera de mayores requerimientos y es reconocida la baja disponibilidad de fósforo de los suelos del país, sin o con poca historia de fertilización fosfatada.

En base a esto, la Cátedra de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía inició en el año 1976 una serie de ensays enmarcados en el proyecto "Encalado y fertilización fosfatada en alfalfa" en el cual se incluye esta tesis.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto residual del encalado y de la fertilización fosfatada inicial luego de dos y tres años de aplicados en cultivos de alfalfa instalados sobre dos suelos ácidos sin Al ni Mn intercambiado

bles característicos del sur del país. Asimismo se estudió el efecto de un primer y segundo año de refertilización fosfatada sobre la productividad y composición química de las plantas.

Fig. 1. Diagrama de la experiencia de campo en el primer año de cultivo.

El primer año de cultivo se realizó en un terreno de 100 m<sup>2</sup> dividido en 10 parcelas de 10 m x 10 m. Se sembró maíz (Zea mays L.) variedad 'Cruz Verde' en las parcelas 1 y 2, y en las parcelas 3 y 4 se sembró sorgo (Sorghum bicolor L.) variedad 'Sorgo Negro'. En las parcelas 5 y 6 se sembró algodón (Gossypium hirsutum L.) variedad 'Algodón Negro', y en las parcelas 7 y 8 se sembró frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedad 'Frijol Negro'. En las parcelas 9 y 10 se sembró un cultivo de cobertura (Crotalaria retusa L.).

El segundo año de cultivo se realizó en el mismo terreno, pero con un diseño factorial de 2 x 2 x 2. El primer factor fue el tipo de cultivo (maíz o sorgo), el segundo factor fue el tipo de fertilización (fósforo o nitrógeno) y el tercer factor fue el tipo de riego (seco o inundado).

Los resultados de la experiencia de campo se muestran en la Tabla 1. Se puede observar que la productividad de las plantas fue mayor en las parcelas que recibieron fertilización fosfatada. Asimismo, se observó que la productividad de las plantas fue mayor en las parcelas que recibieron riego inundado. La composición química de las plantas también fue afectada por el tipo de fertilización y riego.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### II.A. ACIDEZ DEL SUELO

#### II.A.1. Efecto de la acidez sobre el crecimiento de las plantas

En general se ha visto que hay una respuesta positiva en el rendimiento de alfalfa al ir aumentando el pH del suelo. Sin embargo, no se ha determinado un rango fijo de pH óptimo para el crecimiento de la misma, citándose valores entre 6.5 y 7.5 (Brown, 1961 y Woodruff, 1967, citados por Rhykerd y Overdahl, 1972) y 6.2 y 7.8 (Fassbender, 1975). Por otro lado, Helyar y Anderson (1971) determinaron que el pH crítico para el crecimiento de la alfalfa era 5.2.

No obstante esto, el efecto depresivo de la acidez por sí misma es cuestionado, ya que se debería más a otros factores dependientes del pH como por ejemplo Al y Mn intercambiable, disponibilidad de fósforo, problemas de nodulación, etc.

Según Black (1975) la acidez del suelo provocaría una inhibición del crecimiento radicular con la consiguiente disminución en la absorción de agua y nutrientes. Asociado a pH bajos hay alta concentración de iones H en la solución externa, los cuales competirían con los cationes por los sitios de intercambio de la raíz y habría una menor liberación de las bases intercambiables. Rains y col (1964) afirman que los iones H provocarían daños a los mecanismos de absorción que se manifiestan en una menor tasa de absorción y en alteraciones irreversibles de las células estructurales y funcionales de

las raíces.

### II.A.2. Elementos tóxicos. Aluminio y Manganeso.

Se han encontrado niveles importantes de aluminio y manganeso intercambiables en suelos ácidos con pH menores a 5.5 (Helyar y Anderson, 1971, Tisdale y Nelson, 1970). En general, al aumentar la insaturación en bases de un determinado suelo, la cantidad de bases liberadas en un intercambio completo disminuirá, por lo que se disminuye el poder competitivo de las bases frente al  $H^+$  y  $Al^{+++}$ .

Según Black (1975) a niveles tóxicos el aluminio se acumula en la superficie y corteza radicular, provoca una disminución en el crecimiento de las raíces debido a la inhibición de la división celular y también se produce una disminución en la permeabilidad celular que hace que la absorción de nutrientes se reduzca. Este efecto es más notorio en la absorción de P, determinando deficiencias de este elemento.

El nivel de pH, la disponibilidad de P, y el contenido de Al intercambiable del suelo son los principales factores que inciden en la interacción entre P y Al. White (1977) estudiando el efecto del Al y P sobre el crecimiento de alfalfa en soluciones nutritivas en las cuales el fosfato de aluminio no precipita, observó que el efecto inhibitorio del aluminio sobre el crecimiento fue mucho menor a pH 5.0 que a pH 4.5 aunque se encontró 3 a 4 veces más de aluminio en las raíces y tallos de las plantas que estaban a pH 5.0. Señaló que la baja toxicidad de los altos contenidos de aluminio se debía a que una porción de lo absorbido a pH 5.0 estaría bajo forma de polímeros complejos de alúminofosfato de baja densi

dad de cargas netas. El pH óptimo para la formación y polimerización de tales complejos es aproximadamente 5.0 y su composición depende de la relación P:Al de las soluciones iniciales.

De todos modos, el mecanismo de interacción entre ambos elementos aún no es bien conocido, debido a la dificultad de ajustar una técnica que permita estudiar la importancia relativa de la toxicidad por Al en forma independiente de la deficiencia de P y viceversa. Los únicos medios de estudiar estas interacciones serían a través de la respuesta vegetal, (Black, 1975).

En cuanto al comportamiento del manganeso es similar al del aluminio, ya que su concentración en el suelo aumenta a medida que el pH disminuye aunque su efecto es más acentuado en condiciones reductoras o de mala aereación (Black, 1975; Tisdale y Nelson, 1970). Se citan efectos tóxicos del Mn a pH menores de 5.5 (Adams y Pearson, 1967). Sin embargo, a diferencia del Al, el efecto tóxico del Mn no se reduce por el agregado de P al suelo, observándose por otra parte que hay mayor absorción y toxicidad de Mn a dosis altas de fósforo (Trough y col, 1970). Altos niveles de materia orgánica complejan al Mn, afectando la cantidad del mismo en la solución del suelo, independientemente del pH y del estado del elemento.

En los suelos agrícolas ácidos del sur del Uruguay no se han presentado problemas de toxicidad por Al y Mn debido a su ausencia o escasa cantidad (Mallarino y col, 1978) y sí en suelos lixiviados y desaturados del norte.

### II.A.3. Efecto de la acidez sobre la nodulación

Es conocido que el pH afecta la nodulación y fijación de N y por lo tanto los rendimientos de las leguminosas. Las cepas de Rhizobium meliloti son de las más sensibles a la acidez y según Burton (1972) se desarrollan muy poco por debajo de pH 5.0.

Se ha visto que el pH es decisivo en los momentos iniciales del proceso de infección, no estando claro el mecanismo inhibitorio.

Joe y Allen (1980) trabajando con semillas inoculadas y sin inocular de Vigna unguiculata señalaron que tanto el pH del suelo como la inoculación de rizobio afectaron significativamente la longitud de raíces, la altura de las plantas, el número de nódulos y el número de vainas por planta. Los mayores rendimientos de semilla fueron para las plantas inoculadas a pH 6.8 - 7.3 y estuvieron directamente relacionados con el incremento del número de nódulos por planta. Por encima de pH 7.5 las raíces tendieron a ser más fibrosas y los nódulos fueron generalmente más pequeños. En cambio, para Jo y col. (1980), la acidez del suelo en variedades de alfalfa tuvo un mayor efecto sobre la formación de nódulos y fijación de N que sobre el crecimiento radicular.

El efecto de la acidez sobre la disponibilidad de P y otros nutrientes, serán tratados más adelante en los capítulos de Encalado y Fósforo.

## II.B. ENCALADO

### II.B.1. Eliminación de la acidez del suelo

La práctica de encalar suelos ácidos se realiza comúnmente con el fin de eliminar la acidez del suelo hasta valores que permitan el normal crecimiento de la especie cultivada, proporcionando mejores condiciones para el desarrollo de la misma.

El Ca y Mg provenientes de la adición del correctivo, sustituyen el Al y Mn adsorbidos en el complejo coloidal, los cuales asumen formas insolubles en presencia de altas concentraciones de iones oxidrilos en la solución del suelo.

Según Kamprath (1967) el contenido de materia orgánica en el suelo influiría en el pH por debajo del cual aparecerían Al y Mn intercambiables. Habría una relación directa entre el contenido de materia orgánica y pH sin Al y Mn intercambiables.

Hourigan et al (1961) determinaron que rendimientos cercanos al máximo se obtenían cuando se encalaba la capa superficial del suelo adecuadamente, no ocurriendo esto cuando se encalaba solamente el subsuelo. Lo ideal sería lograr un nivel adecuado de cal en superficie y en el subsuelo.

En cuanto al momento de aplicación, ésta debe ser muy anticipada, especialmente en suelos muy ácidos. La frecuencia de aplicación depende de la textura del suelo y de la cantidad de cal aplicada. Las partículas de caliza tienen muy poca movilidad en el suelo, por lo cual es necesario una mez

cia muy buena con el mismo (Tisdale y Nelson, 1970).

### II.B.2. Efecto sobre el calcio y otros cationes

Según Chaffin (1954) el encalado aporta calcio y magnesio, cationes importantes en la nutrición de las plantas. También favorece la actividad de los microorganismos que descomponen la materia orgánica, por lo cual se produce un aumento de nutrientes en la solución del suelo, tales como N, P, K, Ca, Mg y otros.

Vieitez y col. (1979) estudiando el efecto de la adición de cuatro dosis de caliza (0 a 16 gr/kg suelo seco) en un suelo ácido de pH 4.6 que fue incubado por 360 días en invernáculo, encontraron que el pH, el Ca y Mg disponibles y el P fijado aumentaban con las dosis de cal aplicadas. Tal fijación del P se debería a la formación de geles hidratados de Al o Fe (Ama rasira y Olsen, 1973, citados por Vieitez y col.), o a la adsorción del fosfato sobre el carbonato cálcico (Kuo, 1972, cita do por Vieitez y col.). El K disminuyó aunque no de forma significativa. También encontraron que disminuían significativa mente el P asimilable, el Al soluble, el Fe y Mn asimilables.

Kliwer y Kennedy (1960) señalaron que el encalado de un suelo de pH 5,9 con 4,5 ton/ha produjo aumentos en los rendimientos y en el contenido de N de las leguminosas.

Kowalenko y col. (1980) trabajando con avena (Avena sati-va) a la que se le había aplicado altas dosis de caliza, 5 años antes, observaron una disminución en la producción de ma

tería seca de la avena con tasas crecientes de caliza aplicada. Esto fue atribuido a una deficiencia de Mn y Zn inducida por la caliza. En los tratamientos con altas dosis de cal (44 ton/ha) las concentraciones de Zn y Mn en la planta estuvieron por debajo de los niveles críticos, lo que en parte confirma lo encontrado por Helyar y Anderson (1974) en un experimento donde aplicaron  $\text{CaCO}_3$  a un suelo de pH 4.0 y textura liviana observando una reducción en todos los cationes de la solución del suelo, excepto el Ca.

Hourigan y col (1961) determinaron que el porcentaje de calcio extraído por las plantas era más afectado por la cantidad de cal aplicada en superficie (8 a 10% de Ca con dosis de 1 - 19 ton/ha) que por la profundidad de aplicación. También observaron un incremento en la CIC de las raíces superficiales al aumentar las dosis de cal y variar el pH.

El encalado afecta la capacidad de intercambio catiónico de los constituyentes sólidos del suelo (minerales y materia orgánica). En la CIC del suelo existen cargas que son independientes de la variación del pH y otras que son dependientes, aumentando en cantidad cuando ocurre la elevación del mismo (Cruz y Stammel, 1978).

Los efectos del encalado en suelos con alto tenor de materia orgánica fueron constatados por Pons en 1974 (citado por Cruz y Stammel, 1978). Dicho autor verificó que la CIC total varió poco en presencia de dosis crecientes de caliza mientras que la CIC efectiva aumentó de 5.86 a 15.30 meq/100 g, hecho atribuido a nuevos sitios de intercambio.

Kornelius (citado por Cruz y Stammel, 1978) investigando el comportamiento de seis suelos ácidos, determinó que la

adición de dosis crecientes de caliza provocaba un aumento del pH y de la CIC, dándose una acentuada reducción en los tenores de Al y Mn intercambiables.

La presencia de pH bajos y/o elementos tóxicos en los suelos, aumentan los requerimientos de calcio debido al efecto antagónico del calcio sobre aquellos (Trouw y col, 1970).

### II.B.3. El rol del Calcio en las plantas

Aunque se ha establecido que la deficiencia de calcio en alfalfa es muy rara en condiciones de campo normales, es un elemento muy importante ya que cumple roles vitales en la planta e interviene en la nodulación por *Rhizobium* (Woodhouse, citado por Rhykerd y Overdahl, 1972).

Munns (1968), estudiando la nodulación de alfalfa en soluciones nutritivas, determinó que los requerimientos de acidez y Ca de la nodulación y fijación de N son mayores en el momento de la infección e iniciación de la actividad del nódulo que para su posterior desarrollo y actividad.

Por otra parte, el mencionado autor ha señalado que existe una interacción entre Ca y pH sobre la nodulación, la cual desaparecería a valores de pH mayores a 6.0. El contenido de N también afecta el grado de interacción.

En otro trabajo, Munns (1965) demostró que hay un efecto del calcio per se en la nodulación, aparte del efecto sobre el pH. El Ca actuaría fundamentalmente a nivel de la pared celular, la que no puede ser atacada por el

Rhizobium en caso de deficiencia.

Para Black (1975), el calcio en la planta desempeña funciones importantes en los mecanismos de absorción y selectividad de cationes de las raíces.

Wang y col, en 1953, encontraron que plantas de alfalfa creciendo en suelos encalados y/o fertilizados con fósforo y potasio, presentaban mayores cantidades de almidón, azúcares no reducidos, proteínas solubles en agua en la corona, mayor retención de agua y menor acidez titulable en los líquidos de sus tejidos, lo que las hacía más resistentes a las condiciones adversas del invierno.

#### II.B.4. Efecto sobre los micronutrientes

El encalado al aumentar el pH del suelo, influye de diferentes formas sobre la disponibilidad de los micronutrientes.

En el caso del Molibdeno, Black (1975) señala que su disponibilidad aumenta al aumentar el pH. Barshad en 1951 ya había determinado que al pasar de pH 4.7 a 7.5 el Mo soluble en agua se incrementaba seis veces.

Kliewer y Kennedy (1960) trabajando sobre un suelo de pH 4.9 encontraron que el encalado con hasta 4.5 ton/ha provocó un aumento en la disponibilidad de Mo, mayor tamaño de nódulos y menor número de nódulos por planta. Por otro lado, Giddens y Perkins (1960) comprobaron que el efecto de aumentar la disponibilidad de Mo desaparecía luego de 3 años de haber sido implantado un cultivo de alfalfa.

Un comportamiento contrario al del Mo se da con el B, Fe, Zn y Mn que disminuyen su disponibilidad al aumentar el pH (Black, 1975, Dionne y Pessant, 1978). Con el Cu sucede lo mismo, siempre que existan grandes cantidades de dicho elemento.

En cuanto al S se ha informado que hay una disminución en la cantidad de sulfato absorbido a medida que aumenta el pH del suelo (Mattson, 1927 citado por Kamprath y Foy, 1971; Kamprath et al, 1956).

## II.C. FOSFORO

El fósforo es uno de los factores más limitantes para el desarrollo de los cultivos y pasturas de nuestro país ya que en la mayoría de los suelos el contenido de dicho nutriente es relativamente bajo. En consecuencia, es necesario agregar fertilizantes fosfatados a los suelos para lograr un adecuado desarrollo y persistencia de las plantas, tal como ocurre en el caso de la alfalfa.

Aunque la mayor parte del fósforo en el suelo está bajo forma orgánica, las plantas lo toman bajo la forma inorgánica.

### II.C.1. Reacción entre el fertilizante y el suelo

La respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfatados depende principalmente del nivel inicial de fósforo en el suelo. Sin embargo, la reacción entre el fertilizante agregado y el suelo variará con los distintos tipos de suelo.

Al agregar al suelo un fertilizante fosfatado soluble en agua se da la desaparición casi completa del mismo, cono

ciéndose este proceso como retención, fijación o adsorción de fósforo por el suelo.

En el caso de los suelos ácidos, los mecanismos de retención comprenden:

- a) precipitación que se da cuando existen iones  $Al^{+++}$  y  $Fe^{+++}$  en la solución del suelo, los cuales al reaccionar con el  $H_2PO_4$  forman compuestos que precipitan.
- b) adsorción cuando el P reacciona con cationes de alta reactividad química presentes en la superficie de las fracciones finas del suelo.

Los componentes de la fracción arcilla que actúan como potenciales retenedores de P son las arcillas alúminosilicadas y los óxidos e hidróxidos de Fe y Al.

En un trabajo sobre varios suelos del Uruguay, Escudero y Morón (1978) trataron de estimar la capacidad de retención del P de dichos suelos a través de diferentes parámetros. Encontraron que el más importante era el contenido de  $Fe_2O_3$  libres; el porcentaje de arcillas sería también un buen estimador y en suelos con Al intercambiable, el porcentaje de Al podría ser el parámetro a considerar.

En cuanto a los suelos calcáreos, se dan además de los mecanismos de retención antes citados (especialmente la acción de los óxidos e hidróxidos de Fe y Al) otro tipo de reacciones que se citan a continuación:

- precipitación como  $CaHPO_4$

- adsorción sobre carbonato de calcio
- adsorción sobre partículas de arcillas

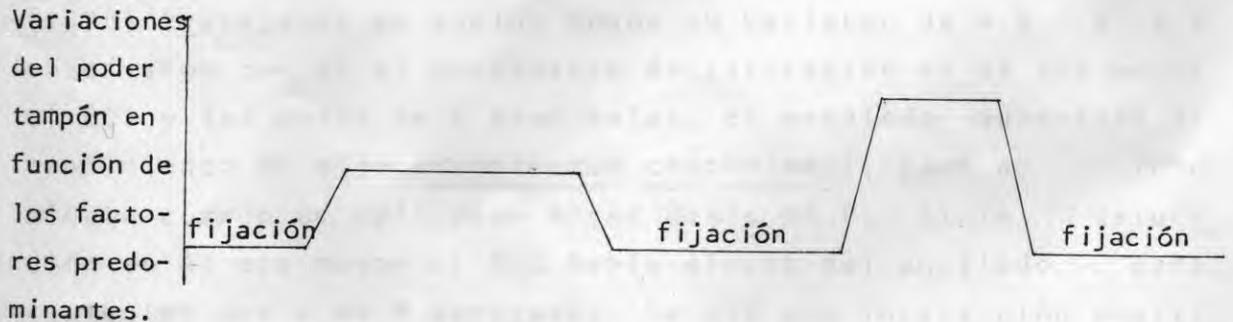
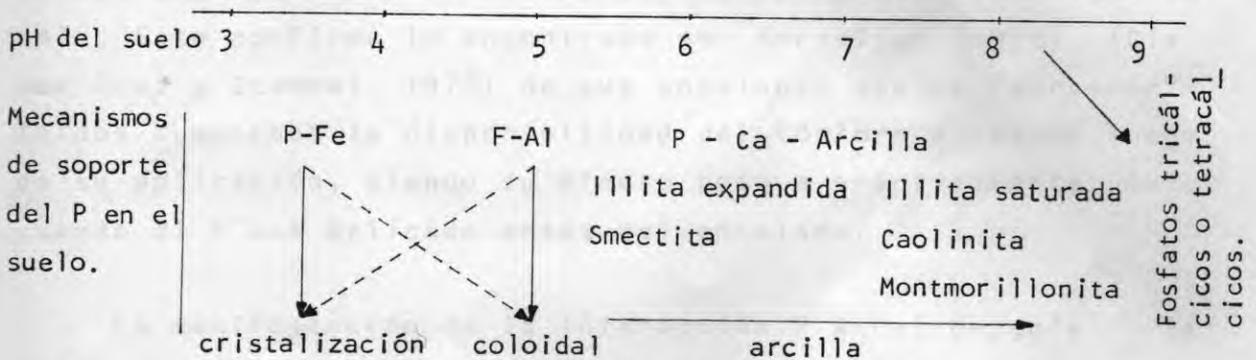
### II.C.2. Reacción del P en el suelo en relación a la capacidad tampón del ión fosfato

En 1979 J.A. Diez estudió el papel que juegan sobre la capacidad tampón del P, tanto la arcilla como el Al y Fe intercambiables en función del pH del suelo. Determinó que en los suelos muy ácidos las fuerzas de adsorción de la arcilla juegan un papel secundario en la retención de P, ya que se encontraban en gran parte bloqueadas por óxidos e hidróxidos de Fe y Al que saturaban sus cargas negativas (cloritización), lo que determinaba que la concentración de P en dichos suelos dependiera fundamentalmente del Al y Fe intercambiable y también del grado de cristalización de los compuestos de P-Al y P-Fe formados que son relativamente estables y que permiten en general una lenta liberación de P.

Por el contrario, en suelos calcáreos la arcilla es muy importante como soporte de grupos P-Ca. La fuerza de unión entre dichos grupos y la arcilla está determinada por la densidad de cargas negativas que presenta esta última, lo que puede originar la fijación de P con mayor o menor intensidad. Por otra parte, el autor afirma que a medida que aumenta el Ca en el complejo de intercambio (en relación al Al y Fe), se eleva la solubilidad del P aumentando en general su poder tampón. Sin embargo, cuando los contenidos de Ca son muy elevados, éstos pueden dar lugar a la formación de fosfatos de Ca los que a su vez dan lugar a fosfatos tricálcicos o tetracálcicos, compuestos muy estables y de muy baja solubilidad.

Con respecto a la influencia del tipo de arcilla sobre el poder tampón de P en suelos básicos, este autor encontró una correlación altamente significativa con los suelos que contienen predominantemente illitas saturadas, montmorillonitas o caolinitas, lo que demuestra que constituyen un soporte ideal para los grupos P-Ca como reserva de P en el suelo desde el punto de vista de su asimilabilidad para las plantas.

A continuación, se presentan esquemáticamente los diversos factores que determinan la capacidad tampón del P en el suelo.



Factores que determinan la capacidad tampón del P en el suelo (J.A. Diez, 1979).

## II.D. INTERACCION ENTRE ENCALADO Y FERTILIZACION FOSFATADA

Singh y Seatz (1961) estudiaron en que secuencia y dosis debían aplicar la cal y el fertilizante fosfatado en un suelo de pH 4.7. Observaron que a medida que se aumentaba la dosis de cal (0; 2.47; 4.94; 9.88 ton/ha) y la de P (0; 78.4; 89.6; 134.5; kg/ha) aumentaban los rendimientos en el primer corte. La aplicación conjunta en el momento de la siembra daba los mayores rendimientos, obteniéndose el máximo con 89.6 kg/ha de P. Cuando la cal y el P se aplicaban tres meses antes de la siembra los rendimientos fueron menores. Si el P se aplicaba a un suelo no encalado la asimilabilidad del mismo resultó muy baja y no era aumentada por la aplicación inmediata de cal. Esto confirma lo encontrado por Kornelius (1972) (Cit. por Cruz y Stammel, 1978) de que encalando suelos fuertemente ácidos aumentaba la disponibilidad del fósforo agregado luego de su aplicación, siendo su efecto poco a prácticamente nulo cuando el P era aplicado antes del encalado.

La manifestación de la interacción P x Cal depende de la dosis de aplicación de ambos y de características del suelo tales como porcentaje de saturación en Al. Méndez y Kamprath (1978) trabajando en suelos cuyos pH variaban de 4.8 a 5.2 observaron que si el porcentaje de saturación en Al era menor al 60% y las dosis de P eran bajas, el encalado aumentaba el rendimiento de mijo (Pennisetum thyphoides), pero no tuvo efecto cuando se aplicaban altas dosis de P. Si la saturación en Al era mayor al 60% había efecto del encalado para cualquier dosis de P agregado. Se dió una interacción positiva entre cal y P en todos los suelos menos en uno que tenía muy poco Al intercambiable y no respondió al encalado. Estos

resultados se deberían a la precipitación interna de Al a altas dosis de P o a la remoción del efecto depresivo del Al precipitándolo en el suelo.

Mandal et al (1979) en un experimento de laboratorio sobre un suelo franco arenoso de pH 4.35 que fue encalado y al que luego de un período de incubación se le agregó un fertilizante fosfatado en tasas equivalentes a 0, 60, 120 y 180 kg de  $P_2O_5$ /ha, observaron que el encalado aumentó significativamente el P soluble en agua o inmediatamente disponible en los suelos donde no se había aplicado P, y la fracción fosfato de Al en los suelos con y sin tratamiento de P. El efecto del encalado sobre las fracciones fosfato de Fe y de Ca, fue relativamente menor que sobre los fosfatos de Al. La mayor eficiencia del fosfato aplicado en suelos ácidos encalados posiblemente se logra a través de las mayores proporciones del fosfato aplicado que son transformadas en fosfato de Al, las cuales servirían como fuente potencial de fosfatos solubles en agua.

Clarkson y Andrew (1979) señalaron que aplicaciones de P y  $CaCO_3$  aumentaban los rendimientos de alfalfa, siendo los efectos aditivos. Cuando se aplicaron juntos, los rendimientos anuales se incrementaron de 1.5 a 5.2 ton/ha para uno de los suelos estudiados y de 3,5 a 7.7 ton/ha en otro suelo. El encalado con 250 kg/ha aplicado junto con la semilla produjo rendimientos iguales a los obtenidos con 2500 kg/ha aplicados al voleo. También White, citado por Langer (1973), ya había informado en 1967 que aplicaciones de aproximadamente 500 kg/ha de cal en la hilera junto con la semilla podrían ser tan o más efectivas que la aplicación de 2500 kg/ha al voleo, siempre que el pH del suelo fuera por lo menos de 5.8 - 6.0

Snyder y col (1978) trabajando con dos leguminosas tropicales creciendo en un suelo ácido, observaron que respondían a altas dosis de encalado si estaban combinadas con altas dosis de P, pero si se encalaba por encima de la dosis óptima, se producía una importante reducción en los rendimientos. Habría por lo tanto un efecto depresivo de la cal sobre la disponibilidad de P.

McLachlan (1980) estudiando el rol del superfosfato y de la cal sobre el trébol subterráneo (Trifolium subterraneum L.) en un suelo ácido, encontró que ambos incrementaban el Ca intercambiable en este suelo deficiente. La caliza y el superfosfato estarían involucrados en la nodulación de las plantas. El uso más eficiente del P ocurrió cuando se aplicaron 1,255 ton/ha de caliza y 2.0 ton/ha de superfosfato. Pero agregados muy altos de Ca redujeron el Mg intercambiable y el P disponible para las plantas. El incremento en el crecimiento de las plantas estuvo asociado a un incremento en la absorción de Al por ellas, lo cual sugirió que el real efecto del Al sería sobre la absorción de Ca-P más que por la naturaleza tóxica del elemento.

Por otro lado Reeve y Summer (citados por Méndez y Kamprath, 1978) sostienen que el encalado más que aumentar la solubilidad del P, aumenta su absorción por las plantas.

La textura es otra propiedad del suelo que influye en la interacción Cal x P. Dionne y col (1963) encontraron que en suelos de textura franco-limosa no se daban más incrementos en los rendimientos cuando el pH llegaba a 6.5 y aparecían síntomas de deficiencia de P debido al exceso de cal a pH 7.5. En el caso de un suelo arcilloso, los incrementos en los rendi

mientos se dieron hasta pH 7.7.

El tamaño de partícula del material usado es otro factor a tener en cuenta. Barrow y col (1968) señalaron que la menor eficiencia del encalado cuando se aplicaba P se debía al revestimiento superficial de la caliza por el material fosfatado. Con tamaños de partícula de 42 a 48 mallas la eficiencia de la cal se redujo un 1.5% y 5.8% por el agregado de 25 y 150 ppm de P respectivamente. Con partículas que atravesaban las 80 mallas, la efectividad de la cal no se vio afectada por el P.

En nuestro país Palgi y Vadora (1979), trabajando en un suelo del sur de pH 5.4, sin Al ni Mn intercambiables encontraron escasa respuesta en los rendimientos de alfalfa al agregado de cal. La fertilización fosfatada aumentó significativamente los rendimientos y se dio una tendencia a la disminución de los mismos en las parcelas que habían recibido altos niveles de cal cuando se aplicaban las dosis máximas de P. Sin embargo, dicha interacción no resultó significativa desde el punto de vista estadístico. Bianco y Loza (1979) llegaron a los mismos resultados en el segundo año del mismo ensayo.

Ambrosoni (1979) en otro suelo del sur del Uruguay de pH 5.8 también sin Al y Mn intercambiables, encontró que la alfalfa respondió al encalado aunque dicha respuesta no fue estadísticamente significativa. Tampoco hubo respuesta significativa en el primer corte al P agregado, lo que se explicó por el alto nivel inicial de P en el suelo (18 ppm); en cambio, en el segundo corte sí hubo una respuesta significativa que se mantuvo para la suma de ambos cortes. En cuanto a la interacción entre cal y fósforo se dio una tendencia a inte

raccionar negativamente ya que a medida que aumentaban los niveles de P agregado la respuesta al encalado era menor.

Mallarino y col (1978) en un suelo ácido de pH 5.3 sin Al ni Mn intercambiables encontraron que hubo respuesta al agregado de cal y P. Cuando se agregaron 2500 kg/ha de cal se dio una interacción positiva entre ambos, pero con 5000 kg/ha de cal la interacción fue negativa. Señalaron aumentos en el contenido de P disponible del suelo y en el contenido de P de las plantas con la aplicación de cal y fósforo, y además observaron un aumento en el porcentaje de N de las plantas como consecuencia del encalado. Dicho aumento, explicaron los autores, se debió a una mayor fijación de N que fue confirmada por observaciones visuales que indicaron un mayor número de nódulos/planta en las parcelas que fueron encaladas.

Pearson en 1958 informó que el encalado disminuía la disponibilidad de P nativo, pero aumentaba la eficiencia del P agregado y su efecto residual. Sin embargo, Lim y Shew (1978) no encontraron efecto del encalado (0-6000 kg/ha) ni de la fertilización fosfatada (0-150 kg/ha) sobre el P disponible en el suelo.

En suelos de textura gruesa donde pueda ocurrir lixiviación de P, la cal contribuiría a retener el P. Spencer (citado por Black, 1975) trabajando con un suelo arenoso encontró un descenso importante del fertilizante fosfatado, siendo aumentada la retención de este por el agregado de cal.

## II.E. EFECTO RESIDUAL DEL ENCALADO

Se ha demostrado que existe un efecto residual del encalado, dependiendo la duración del mismo de las propiedades

físicas y químicas del suelo, características de la cal (finura, dosis, frecuencia y profundidad de aplicación), especie cultivada y condiciones climáticas.

Moschler y col (1960) en un cultivo de alfalfa sobre un suelo de pH 4.7 y 6 ppm de P encontraron que los rendimientos luego de tres años de cortes variaron desde 625 kg/ha en el testigo sin encalar hasta 20000 kg/ha cuando se aplicó la dosis máxima de cal (40 ton/ha). Observaron que la población de plantas en el tercer año variaba desde 0 a 95% según la dosis de cal aplicada. Los autores atribuyeron estos resultados fundamentalmente a una disminución en el AI intercambiable del suelo y a un aumento en el metabolismo del N.

Griffeth y col (citados por Weeks y Lathwell, 1967) encontraron que había respuesta al encalado 14 años después de su aplicación cuando trabajaron con una rotación de 7 años que incluía alfalfa, lotus (Lotus corniculatus L.) y timoty (Phleum pratense L.).

Recientemente Kowalenko y col (1980) luego de 5 estaciones de cultivo observaron que los efectos residuales de la caliza, P y K fueron evidentes ya que incrementaban la absorción de las plantas de Ca, P y K extractables del suelo.

### II.E.1. Factores que influyen sobre el efecto residual

El efecto residual es afectado entre otras cosas, por la dosis y profundidad de aplicación de la caliza. Salinas y col (1978) midieron el efecto residual a través de un cultivo de maíz que crecía en un Latosol rojo oscuro encalado 5 años antes. Encontraron una tendencia a aumentar los rendimientos de grano al aumentar las dosis de cal, siendo las diferencias

significativas sólo entre 0 y 1 ton/ha de cal. Las dosis mayores no mostraron diferencias significativas en los rendimientos, lo cual fue explicado por el mantenimiento de una baja saturación en Al.

En cuanto a la profundidad, aplicaciones de 0'- 30 cm produjeron los mismos rendimientos que aquellos obtenidos a mitad de dosis en los primeros 15 cm aunque en este caso el efecto residual desapareció al quinto año.

Para Tisdale y Nelson (1970) la frecuencia de aplicación de la caliza depende generalmente de la textura del suelo y de la cantidad de caliza. Suelos más pesados necesitarían aplicaciones mayores y menos frecuentes.

Cruz y Stammel (1978) también señalaron que el efecto residual del encalado evaluado a través de los análisis químicos de los suelos y de los rendimientos de los cultivos está relacionado con las distintas clases texturales de los suelos.

### II.E.2. Pérdida del efecto de la cal

Existe una pérdida del efecto residual debido al lavado en profundidad de las bases.

Salinas y col. (1978) señalaron movimientos importantes de Ca y Mg desde los primeros cm del suelo en los tres primeros años luego de encalado, una disminución en el cuarto año y que desapareció en el quinto año. Luego del quinto año los análisis de suelo indicaron que el Ca y Mg se habían movido en el perfil hasta 45-50 cm. Al aumentar la dosis de cal aplicada (1-8 ton/ha) aumentaba la profundidad a la cual se encontraba

el porcentaje de saturación de Al crítico para el crecimiento del maíz (50%). Por lo tanto es importante el lavado de la caliza, ya que desplaza el Al en profundidad, aumentando así el volumen de suelo potencialmente explorable por las raíces.

## II.F. EFECTO RESIDUAL DEL FOSFORO AGREGADO

Barrow (1974) observó que el P agregado es rápidamente adsorbido por la fase sólida del suelo. La medida de la intensidad de este proceso es importante, ya que determina la efectividad del fertilizante agregado. La adsorción al principio es rápida y luego es seguida por una reacción lenta, lo que dificulta el desplazamiento de otros aniones por el fosfato, lo que lo hace menos efectivo para el crecimiento vegetal. La disminución de la efectividad fue afectada por la temperatura y el contenido de agua en el suelo.

Castro y col (1981) encontraron que había una relación lineal entre el P disponible en el suelo y el fósforo agregado, y en algunos suelos dicha relación tendió a ser exponencial para los niveles más altos. La relación lineal se dió siempre hasta 160 unidades de  $P_{205}$  por lo que el efecto residual sería directamente proporcional al P agregado. También encontraron que la tasa de inmovilización, expresada como porcentaje del P aplicado, es independiente del nivel de aplicación. Las diferencias con el testigo en el P disponible se mantuvieron hasta el quinto año, disminuyendo el efecto del nivel inicial en las parcelas refertilizadas a medida que pasaba el tiempo.

En consecuencia, el efecto residual del fertilizante dependerá de las propiedades mineralógicas y químicas del suelo,

de los fertilizantes (dosis y frecuencia de aplicación) y de otros factores.

En cuanto a la pérdida del valor residual del P, Wells y Parks (1961) realizaron unos experimentos para demostrar que dicha pérdida no se debía al movimiento en profundidad. Encontraron que luego de cuatro años, la mayor extracción de P proveniente del fertilizante, se daba en los primeros 2.5 cm del suelo, siendo algo menor entre 2.5 y 7.5 cm.

#### II.F.1. Evaluación del fósforo residual

La relación entre el P extraído por reactivos químicos y por las plantas, fue estudiado por Novais y Kamprath (1978). Los decrementos en el P extractable, medidos a través de los métodos de North Carolina, Bray 1 y Olsen estuvieron en relación lineal con la absorción por los cultivos, con coeficientes de correlación significativos al 5%. Los coeficientes de regresión para North Carolina y Bray 1 estuvieron significativamente correlacionados con las propiedades del suelo que definían el factor capacidad de P, con el poder de liberación de P por el suelo (capacidad tampón), con el contenido de arcillas y el área relativa de las partículas. La correlación más alta se dio entre el método de North Carolina y el poder tampón (coeficiente de correlación lineal de 0.993). Se estimó la ecuación de la disminución del P extractable por cada kg de P removido por las plantas en función del porcentaje de arcillas y del poder de liberación de P, dando mayor significación en las ecuaciones que incluían la última propiedad. Por lo tanto, el conocimiento de ambas propiedades sirve para estimar una medida del P que debe ser agregada al suelo.

Recientemente Spratt y col (1980) trabajando en un método de extracción con bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) para determinar los niveles de P de ocho años sobre cuatro suelos que habían sido tratados con 0, 100, 200 y 400 kg/ha de P, encontraron que los test se correlacionaron altamente entre ellos e indicaron una declinación del efecto residual del fertilizante fosfatado a través de los años cuando los suelos eran cultivados. Usando la ecuación lineal de valores de los test de  $\text{NaHCO}_3$  versus tiempo (años), se predijo que 100, 200 y 400 kg/ha de P podrían durar aproximadamente 5, 9 y 15 años respectivamente antes de que se necesitaran nuevos aportes de fertilización fosfatada para mantener la producción de trigo.

#### II.F.2. Relación entre el efecto residual del fósforo aplicado y la refertilización

Curll y Smith (1973) trataron de explicar la respuesta vegetal a la aplicación del fertilizante fosfatado en relación con una serie de parámetros, tales como rendimiento de la pastura, total de aplicaciones, fosfatos asimilables del suelo, capacidad de adsorción de fosfatos por el suelo y contenido de fosfatos en la planta. Las bajas correlaciones obtenidas los llevaron a concluir que el mejor método para determinar si un suelo requiere fertilización (conociendo su historia) sería aplicando el fertilizante y evaluando la respuesta vegetal.

La pérdida del efecto residual del fósforo aplicado depende de la relación entre el fósforo en la solución y el fósforo en el suelo. Barrow (citado por Holford y Gleeson, 1976) observó que la pérdida del efecto residual estaba relacionada con la habilidad de los suelos de adsorber fosfatos de la solución.

Para Larsen (citado por Holford y Gleeson, 1976) la efectividad del fertilizante se reduce a la mitad de su valor original en un tiempo variable de uno a seis años, siendo menor a valores de pH más altos.

En nuestro país L. Castro y col (1981) trabajando en praderas mixtas, observaron que había mayor respuesta a la fertilización fosfatada a medida que aumentaba la edad de la pastura y disminuía la dosis inicialmente aplicada. Con el transcurso del tiempo, el efecto del nivel inicial de P perdía importancia en las parcelas refertilizadas, aumentando paralelamente la respuesta a la refertilización.

Recientemente Bianco y Loza (1979) estudiaron el efecto residual del P en un segundo año de un ensayo de alfalfa sobre un suelo del sur del Uruguay, donde las dosis iniciales de P aplicadas fueron 0, 60, 120 y 180 kg/ha de  $P_2O_5$ . Concluyeron que el efecto residual del P, medido por la relación entre la pendiente de respuesta en el segundo año respecto a la pendiente de respuesta en el primer año, es dependiente de la dosis cuando ésta es baja (menos de 60 unidades de  $P_2O_5$ /ha), pero para dosis mayores (60 a 180 unidades de  $P_2O_5$ /ha) el efecto residual fue alto e independiente de la dosis.

Al ser la alfalfa un cultivo perenne habría un efecto del fósforo aplicado el primer año, que se traslada al segundo año, manteniéndose así la diferencia entre los tratamientos. Estos efectos estarían dados por una mejor implantación, una mayor población de plantas y una mayor sobrevivencia invernal de éstas.

Con respecto al efecto de la refertilización con 60 unidades de  $P_2O_5$ /ha para todos los tratamientos, estos mismos autores encontraron que ésta produjo en promedio 1200- 1300 kg/ha de materia seca por encima de los rendimientos de las parcelas no refertilizadas, lo que equivaldría aproximadamente a 20 kg de materia seca por unidad de  $P_2O_5$  agregadas. Estos efectos fueron independientes de las dosis aplicadas en el primer año.

En cuanto a la época del año para realizar la refertilización, Seay y Weeks (1955) proponen al otoño como el momento más adecuado, ya que las plantas utilizarían los nutrientes para formar reservas que les permitirían sobrevivir hasta la primavera siguiente, en que recomienza el crecimiento.

### II.F.3. Efecto de la refertilización sobre la distribución del fósforo disponible en el suelo

Sandal y Garey (1955) realizaron un estudio para determinar el P disponible de un suelo desde la superficie hasta una profundidad de 15 cm a intervalos de 2.5 cm. La concentración y movimiento en profundidad del  $P_2O_5$  dependió primariamente de la tasa de  $P_2O_5$  aplicada. Cuando la tasa de fertilización fosfatada fue moderada (224.2 kg/ha), no ocurrió una penetración de cantidades adecuadas de  $P_2O_5$  para el crecimiento de las plantas por debajo de 8 cm. En cambio, hubo una considerable penetración hasta los 15 cm de profundidad cuando se aplicaron niveles altos de fertilizante (672.5 kg/ha). Estos resultados contrastan con los de Midgley (1931), Schaller (1941) y Brown y Munsell (1933), citados por Sandal y col, quienes indicaban que en suelos más pesados la penetración del  $P_2O_5$  se limitaba a los 5-8 cm superficiales, aun

que sí concordaban en que la concentración de  $P_2O_5$  en el suelo está positivamente relacionada con las tasas aplicadas.

Brownlee y col (1975) trabajando sobre un cultivo de alfalfa que recibió 125 kg/ha de superfosfato en la siembra y refertilizaciones de 0, 125 y 251 kg/ha anualmente durante cuatro años, sobre un suelo que contenía inicialmente 6 ppm de P y pH 6-6.5, observaron que la distribución del P en el perfil, mostró mayor concentración en la zona de 0-2 cm y que virtualmente no hubo acumulación por debajo de 4 cm. Entre 8-12 cm de profundidad el P disponible era menor a 5 ppm para todos los tratamientos y menor a 1 ppm entre 40-50 cm. Ellos explicaron el escaso descenso y por lo tanto la baja absorción de P por las plantas debido a las bajas precipitaciones anuales del lugar.

Stanford y col (1949) comprobaron que un 20 a 50% del contenido de P en las plantas, se derivaba del fosfato aplicado en superficie, dependiendo de las tasas de aplicación. En consecuencia, tales datos sugerirían que la absorción radicular del fósforo proveniente del superfosfato aplicado al voleo, se daría mayormente en los primeros centímetros del suelo. Esta hipótesis fue sustentada por los estudios de distribución radicular realizados por Lamba y col (1949) (citados por Lawton y col, 1954) quienes observaron que el crecimiento radicular de la alfalfa y otras especies, disminuía con la profundidad y además que aproximadamente el 50% del total de las raíces laterales de la alfalfa (las más activas en la absorción de nutrientes) se encontraban en los primeros 7.5 cm del suelo (Upchurch y Lovvorn, 1951, citados por Lawton et al).

#### II.F.4. Dosis y frecuencia de aplicación del fertilizante

Comparando los efectos de las aplicaciones únicas y fraccionadas sobre los rendimientos de las pasturas, se ha visto que estos son variables, dependiendo entre otros factores del tipo de suelo y de la especie considerada.

L. Castro y col., (1981) , estudiaron la eficiencia del fertilizante fosfatado para distintas dosis de aplicación, y encontraron que las respuestas fueron lineales hasta la dosis correspondiente a la máxima capacidad de adsorción de P del suelo (100 kg/ha de P), y luego desaparecería este efecto debido a pérdidas del P agregado por lixiviación. La respuesta fue medida a través de los rendimientos acumulados durante 4-5 años. Los autores concluyeron que en suelos con baja capacidad de retención de P deberían aplicarse dosis iniciales tan altas como la capacidad máxima de adsorción.

La pérdida del valor residual por lixiviación y por reacción del P aplicado con el suelo, llevaría a recomendar la fertilización anual para suplementar dichas pérdidas.

MacLachlan y Norman (1964) luego de una serie de ensayos con pasturas, concluyeron que la ventaja relativa de las aplicaciones únicas o fraccionadas, en el segundo año, depende del valor residual del fertilizante utilizado. Si dicho valor es aproximadamente 100%, las aplicaciones únicas y fraccionadas producirán lo mismo, en tanto que cuando el valor residual es cercano a 0, las aplicaciones fraccionadas son más ventajosas. En consecuencia, en suelos con baja respuesta, las apli

caciones únicas serían más ventajosas y en suelos con alta res puesta las fertilizaciones fraccionadas darían mejores resul tados. No obstante esto, en los suelos donde las aplicacio nes únicas producen mayores rendimientos acumulados, las apli caciones fraccionadas podrían dar rendimientos anuales simi lares.

Según Rhykerd y Overdahl (1972) la frecuencia de aplica ción no parece tener mayor importancia en alfalfa. Ellos cita ron a otros autores que encontraron que dosis únicas de 336 kg/ha de  $P_2O_5$  dieron iguales rendimientos que dosis anuales de 84 kg/ha de  $P_2O_5$  aplicadas durante cuatro años consecuti vos.

Bianco y Loza (1979) estudiaron los rendimientos acumula dos de alfalfa durante dos años, con el fin de comparar el efecto de las aplicaciones únicas y fraccionadas. Concluyeron que dosis bajas de aplicación (60 kg/ha de  $P_2O_5$ ) daban mejo res rendimientos cuando eran aplicadas en el primer año, ex plicando esto por un efecto sobre la población inicial de plan tas y su vigor, que no podría ser subsanado por una aplicación igual un año más tarde. Por otro lado, dosis acumuladas de 120 y 180 kg/ha de  $P_2O_5$  dieron prácticamente los mismos rendi mientos, cuando se aplicaban totalmente en el primer año o cuando se aplicaba una parte en el primer año (60 y 120 kg/ha de  $P_2O_5$  respectivametine) y el resto en el segundo año (60 kg/ ha de  $P_2O_5$ ). Esto se debería al mayor efecto residual de las altas dosis. De todos modos, para ciertas dosis totales, los autores señalaron que habría cierta flexibilidad en cuanto al momento de aplicación y la cantidad a aplicar siempre y cuan do se cubriera la dosis mínima de implantación.

## II.G. COMPOSICION QUIMICA DE LAS PLANTAS

Los análisis químicos realizados a la totalidad de las plantas, o a ciertas partes de ellas (hojas, ápices, tallos) sirven para estudiar la variación del contenido de nutrientes frente a distintas aplicaciones de fertilizantes y además para determinar si el contenido de dichos nutrientes es suficiente para el normal desarrollo de las mismas.

Es muy importante tener en cuenta el estado fisiológico de las plantas, así como la parte de la planta analizada cuando se interpretan los resultados de los análisis químicos (Esteban y Aguilar, 1977).

Luego de un estudio sobre la nutrición de la alfalfa, Esteban y Aguilar llegaron a las siguientes conclusiones: a) Se da una disminución del contenido de N, P y K al aumentar la edad de las plantas, siendo mayor en tallos que en hojas. b) El contenido de N es mayor en hojas, el de K en tallo y el de P es prácticamente igual en ambos tejidos. c) Hay una correlación positiva y significativa entre los contenidos de N, P y K en hoja y tallo.

En base a lo anterior, establecieron un índice compuesto que expresa la contribución relativa del dato de análisis de N, P y K respecto al total de los tres nutrientes, tomando el contenido de P multiplicado por 10.

Del estudio de los índices, surgió que: a) Al avanzar la madurez, la proporción de N aumenta en las hojas y disminuye en los tallos, el P aumenta en los tallos y el K disminuye en ambos tejidos. b) El porcentaje de N es más variable en ho

jas, en tanto que el de P y K lo es en tallos. c) La proporción de P y K es más constante en el tiempo en hojas que en tallos. d) La correlación tallo-hoja es positiva y significativa sólo para N y K. e) El error de la media es menor en hojas que en tallos.

Dado que el nivel de los tres nutrientes es más constante a través del tiempo en hojas que en tallos, dichos autores recomiendan realizar los análisis en las hojas, ya que serían más representativas del estado nutritivo de la alfalfa.

Valdéz y col (1979) realizaron un estudio de los contenidos de N, P, K, Na, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn en alfalfa, trébol rojo y trébol blanco cortados cada 30 días en el primer año y cada 10 días en el segundo año. Determinaron que las correlaciones entre los contenidos de los distintos elementos variaba entre especies, excepto para N-P y Na-Zn en el segundo año y entre años para cada especie, excepto en alfalfa.

### II.G.1. Nivel crítico

Los resultados de los análisis químicos se relacionan con los rendimientos de forma tal de determinar un nivel crítico de concentración de nutrientes.

Se define el nivel crítico como un valor de concentración de un nutriente por debajo del cual la fertilización con ese nutriente puede ser efectiva y por encima del cual resulta antieconómica (Tomo 3, curso de Suelos II, 1974, Fac. Agr.)

Sin embargo, el uso del valor crítico para determinar la cantidad de fertilizante a aplicar puede resultar equivocada

dada la gran variación en la concentración de los nutrientes causada por distintos factores mencionados anteriormente.

Summer (1979) cuestionó la validez del valor crítico como diagnóstico del estado nutritivo de los cultivos, ya que estaría influenciado por el desarrollo de las plantas en el momento de la determinación. Señaló que otros autores propusieron ciertas modificaciones para mejorar el método: 1) Tomar grupos de valores críticos según el estado de crecimiento de las plantas. 2) Corregir la concentración del nutriente por el incremento de materia seca. 3) Establecer rangos de suficiencia, donde el límite inferior representaría el nivel crítico.

Beaufils (1973 citado por Summer) creó el sistema DRIS (Sistema Integrado de Recomendación y Diagnóstico) que partiendo de puntos de referencia similares a los del valor crítico tiene la ventaja de que es capaz de hacer diagnósticos sobre un rango de edades de plantas y de clasificar en que orden los nutrientes limitan el crecimiento.

### II.G.2. Contenido total de nutrientes

El efecto del agregado de nutrientes se evalúa generalmente a través del rendimiento de las pasturas, pero también se puede medir por medio de la concentración de nutrientes en los tejidos de las mismas.

En general, se consideran 3 etapas en la absorción de nutrientes:

- 1) Movimiento de iones a la superficie radicular, que puede darse ya sea por intercepción radicular, flujo de iones en agua, difusión y reacciones de intercambio catiónico.
- 2) Movimiento de nutrientes hacia el interior de la raíz.
- 3) Translocación dentro de la planta.

II.G.2.a. *Fósforo*. Según Gachón (1977) las concentraciones de P en la solución del suelo son siempre bajas, debido a los fuertes enlaces energéticos de los iones fosfatos sobre los suelos adsorbentes, por lo tanto no sufre grandes variaciones, ya sea por el efecto de lluvias o de la evapotranspiración. Considerando ésto y el hecho de que el contacto físico entre raíces y suelo sólo ocurre en una pequeñísima porción del mismo, el autor propone a la difusión como el proceso principal por el cual los iones fosfato del pool de iones lábiles toman contacto con las raíces.

En un estudio comparativo de la absorción de P por cuatro especies vegetales diferentes, Mac Lachlan (1976) comprobó que la misma estaba más relacionada con las características del sistema radicular que con la actividad metabólica de las raíces. Las plantas con raíces más abundantes y de menor diámetro, fueron las que absorbieron más P y lo usaron más eficientemente en la producción de materia seca. Sin embargo, señaló que la medida de la fosfatasa exocelular podría utilizarse para determinar la potencialidad de las plantas para absorber P en situaciones de baja disponibilidad del mismo.

Bieleski (1973) (citado por MacLachlan, 1980) sugiere que la actividad de la fosfatasa ácida podría incidir en el transporte del P inorgánico o estar asociada con la conversión de formas orgánicas a inorgánicas. De todos modos, el rol de esta enzima no es claro aún.

El nivel de P del medio de crecimiento, estaría influenciando la actividad de la fosfatasa ácida de las raíces de plantas jóvenes, estando la mayor actividad asociada con concentraciones de P decrecientes. Esto fue constatado a través de pruebas de laboratorio en las cuales se comprobó que incrementos en el P inorgánico del medio radicular, redujeron la actividad de las fosfatasas de las raíces.

En una situación de P dada, si una planta puede hacer mayor uso del P inorgánico que otra, entonces su actividad fosfatásica sería reducida mediante el efecto represivo del P inorgánico y esta actividad reducida, podría ser el mejor indicador del potencial de una planta para usar el P en situaciones de baja disponibilidad del mismo.

Al aumentar la fertilización fosfatada, Rehm y Sorensen (1974) observaron que también aumentaba la concentración de P en las plantas de alfalfa.

Lim y Shew (1978) encontraron que los agregados de cal y P aumentaban significativamente la concentración de P en la parte aérea de alfalfa y que la respuesta a los tratamientos de P con y sin cal fueron significativamente diferentes. El contenido de P aumentó de 0,25% a 0,31% cuando las dosis de superfosfato se aumentaron de 50 kg/ha a 100 kg/ha y más.

En nuestro país, Mallarino y col (1978) señalaron que la fertilización fosfatada incrementó el contenido de P en las plantas de alfalfa, pero el mismo no era afectado por el agregado de cal. En cambio, Palgi y Vadora (1979) observaron que el porcentaje de P en las plantas de alfalfa se incrementaba con los niveles de cal y P en el primer año del cultivo. En el segundo año del mismo cultivo, Bianco y Loza (1979) encontraron que el contenido de P en las plantas se incrementaba con los niveles de fertilizante fosfatado pero que el efecto de la cal había desaparecido.

Por otro lado, Stewar y Pearson (citados por Singh y Seatz, 1961) afirman que el agregado de cal disminuye el porcentaje de P proveniente del fertilizante, ya que aumenta la disponibilidad de P en el suelo.

Según Nuttall (1976) el bajo contenido de humedad del suelo sería otro factor que provocaría un aumento significativo en la concentración de P en las plantas.

En cuanto al nivel crítico de P en la alfalfa, éste ha sido determinado por diversos autores, con valores que oscilan entre 0.24% a 0.295%. (Trouw y col, 1970; Tynner, citado por Lim y Shew, 1978; Bear y Wallace, citados por Rhykerd y Overdal, 1972).

II.G.2.b. *Nitrógeno*. El contenido de N de la alfalfa está determinado fundamentalmente por la nodulación por Rhizobium meliloti. Sin embargo, la fertilización nitrogenada en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, puede ser favorable en suelos con bajo contenido de M.O., ya que proveería

N hasta el momento en que la nodulación es efectiva (Rhykerd y Overdahl, 1972).

El efecto de la cal con o sin P sobre la nodulación en suelos ácidos fue considerado anteriormente.

El agregado de P sólo, también se ha visto que afecta la nodulación. Wagner y col (1978) estudiando la nodulación de 4 medicagos anuales que crecían sobre suelos con bajo nivel de P disponible, constataron aumentos en la nodulación cuando se aplicaba P al suelo.

En nuestro país, Mallarino y col (1978) encontraron que el porcentaje de N de la alfalfa, se incrementaba con el agregado de cal, pero no encontraron efecto de las dosis de P agregadas.

Bianco y Loza (1979) observaron un efecto de los tratamientos de P sobre el porcentaje de N en los dos primeros cortes de alfalfa, pero el mismo desapareció en los siguientes cortes. Ese efecto inicial se explicaría por un efecto del P, de estimular una temprana y eficiente fijación de N debido a una mayor proliferación de raíces y a que proporcionaría condiciones adecuadas para la reproducción celular, una vez ocurrida la infección por las bacterias nodulantes. Por otro lado, el alto contenido de M. orgánica del suelo considerado (4.46%) haría que el P favoreciera su mineralización, al promover el desarrollo de la flora microbiana. Como consecuencia de este proceso, se liberarían nitratos asimilables para las plantas, lo que se manifiesta a través del aumento del contenido de N. Por otro lado, la desaparición del efecto del P en los dos últimos cortes, se explicaría por el hecho

de que en la senescencia del nódulo, el P deja de ser un factor importante para la fijación del N atmosférico. También podría explicarse por un descenso de la tasa diferencial de nitrificación de la M.O., debido al agregado del fertilizante fosfatado.

Con respecto a la cal, no encontraron efecto de la misma sobre el contenido de N de las plantas.

Los autores citados, concluyeron que a no ser en las primeras etapas de desarrollo en que el P tiene cierta influencia, los tratamientos no afectaron el contenido de N, remarcando la mayor influencia del estado fisiológico de las plantas.

Según Nuttal (1976) la concentración de N en las plantas disminuye con bajos contenidos de humedad del suelo, contrariamente a lo que sucede con el P.

Contenidos de N de 3% como mínimo, se tendrán en plantas de alfalfa sanas y al 10% de floración (Nelson y Barber, citados por Rhykerd y Overdahl, 1972).

II.G.2.c. *Potasio*. El contenido de K en plantas de alfalfa es muy variable estando afectado por factores tales como temperatura y estado fisiológico. Blaser y Kimbrough, (citados por Rhykerd y Overdahl, 1972) observaron una disminución en el contenido de K cuando las plantas pasaron del estado vegetativo a plena floración, en tanto que Smith, (citado por los mismos autores), señaló un aumento en el contenido de K a medida que aumentaban las temperaturas.

Mallarino y col. (1978) constataron que el encalado disminuye el porcentaje de K en las plantas, ocurriendo lo contrario cuando se encalaba y se fertilizaba con P simultáneamente, dándose una interacción positiva entre ambos elementos.

Rhykerd y Overdahl (1972) consideran que niveles de 2% de K o más se necesitan para obtener máximos rendimientos y longevidad de la alfalfa.

## II.H. ESTUDIO DE LA COMPOSICION BOTANICA

La composición botánica en un cultivo de alfalfa es muy importante, ya que influye sobre la calidad del forraje obtenido y la productividad del mismo.

Terrime y col. (1979) midieron la calidad e ingestión animal de malezas, alfalfa enmalezada y alfalfa tratada con herbicidas. Encontraron que el consumo por los animales y la digestibilidad de la materia seca se incrementaban en ese orden. La alfalfa que no fue tratada, resultó de menor calidad, ya que contenía más del 50% del peso seco total de malezas. Por los análisis químicos y de digestibilidad, se vio que las malezas contenían mayor cantidad de fibras, menor digestibilidad, menor contenido de proteína cruda y de proteína cruda digestible.

Sorour y col. (1977) demostraron que la calidad de un alfalfar se puede mejorar por medio de fertilizaciones fosfatadas, debido a que se aumenta el contenido de almidón, proteínas y grasas. Sin embargo, se deben tener en cuenta todos aquellos factores que afectan la composición botánica. Dentro

de ellos, el fósforo juega un rol importante en el desarrollo inicial y en el mantenimiento de una población adecuada de leguminosas.

Black (1975), afirma que en mezclas de gramíneas y leguminosas, la habilidad competitiva de la leguminosa es menor bajo condiciones de baja disponibilidad de P en el suelo que con alta disponibilidad, por lo que se resalta la importancia de aplicar altas dosis de fertilizante fosfatado cuando se implanta la pastura, para evitar que las leguminosas sean dominadas.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### III.A. LOCALIZACION

El presente trabajo se realizó a partir de dos ensayos instalados sobre distintos suelos del departamento de Canelones, uno en la localidad de San Ramón en el otoño de 1977 y el otro en Joanicó, en 1978.

Características de los suelos: El suelo de San Ramón se clasifica como un Brunosol sub-éutrico lúvico, franco limoso, ácido sin Al ni Mn intercambiable. La descripción del perfil es la siguiente:

<u>Horizonte</u>	<u>Profundidad</u>
A <sub>1</sub>	0 - 25 cm
B <sub>21t</sub>	25 - 35 cm
B <sub>22t</sub>	35 - 45 cm
B <sub>3</sub>	45 - 55 cm
C <sub>ca</sub>	55 y más

Las características químicas del suelo cuando se instaló el ensayo, eran las siguientes:

pH (agua)	5.5
pH (KCl)	4.7
P (Bray I)	7.6 ppm
Mat.Org.(W. y Black)	4.5 %

Acidez titulable	2.0 meq/100 g
Ca intercambiable	9.6 meq/100 g
Mg intercambiable	4.4 meq/100 g

El suelo de Joanicó es un Vertisol rúptico lúvico, también sin Al ni Mn intercambiable. La descripción del perfil es la siguiente:

<u>Horizonte</u>	<u>Profundidad</u>
A <sub>p</sub>	0 - 25 cm
B <sub>2-1t</sub>	25 - 40 cm
B <sub>2-2t</sub>	40 - 70 cm
B <sub>3</sub>	70 - 90 cm
C <sub>ca</sub>	90 cm y más

Propiedades químicas del suelo al comienzo del ensayo:

pH(agua)	5.8
pH (KCl)	5.0
P (Bray I)	18.0 ppm
Mat.Org.(W. y Black)	2.7%
Acidez titulable	5.25 meq/100 g
Ca intercambiable	10.0 meq/100 g
Mg intercambiable	5.8 meq/100 g

### III.B. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En los dos ensayos el diseño original fue un factorial de 3 niveles de cal por 4 de fósforo en parcela dividida en bloques al azar, con tres repeticiones. Las parcelas

grandes medían 6 x 16 m y las subparcelas 6 x 4 m, correspondiendo las primeras a las distintas dosis de cal y las subparcelas a las distintas dosis de P.

Los tratamientos iniciales fueron:

- 0, 2500 y 5000 kg/ha de caliza molida, esparcida al voleo y enterrada a 25 cm de profundidad mediante una disquera en los primeros días del mes de abril de los años 1977 y 1978 respectivamente, para San Ramón y Joanicó.

El análisis de caliza utilizada en ambos ensayos fue el siguiente:

Finura: el 66% atraviesa una malla de 60.

Análisis químico:

$\text{CaCO}_3$	76%	con 42.7% de CaO
$\text{MgCO}_3$	5%	con 2.4% de MgO

Poder neutralizante: 82%

- 0, 60, 120 y 180 kg/ha de  $\text{P}_2\text{O}_5$  en forma de superfosfato simple comercial, incorporado con rastra en el momento de la siembra en la segunda quincena de mayo en ambos casos.

La variedad de alfalfa utilizada en los dos ensayos fue Estanzuela Chaná sembrada a una densidad de 25 kg/ha.

### III.B.1. Estudio de la refertilización

En el segundo año se subdividieron las subparcelas ob-

teniéndose un factorial  $2 \times 3 \times 4$  en parcelas subdivididas.

En el ensayo de San Ramón las sub-subparcelas sorteadas al azar fueron refertilizadas con 60 kg/ha de  $P_2O_5$  a fines de agosto de 1978 y se realizó una segunda refertilización de las mismas el 6 de setiembre de 1979 con igual dosis. En Joanicó la refertilización de las sub-subparcelas se realizó con igual dosis y en la misma fecha de la segunda refertilización de San Ramón.

### III.C. TRABAJOS DE CAMPO

Antes de refertilizar y luego del último corte se tomaron muestras de suelo para determinar P disponible y pH.

Con una pastera convencional se realizaron 4 cortes a lo largo de la estación de crecimiento, cosechándose una superficie menor al área total de la sub-subparcela con el fin de eliminar el efecto borde ( $3.2 \times 1.40$  m). Se pretendió realizar los cortes cuando la floración alcanzaba a un 10% pero por distintos motivos no se realizaron siempre en el momento más adecuado.

Todo el material cortado de cada sub-subparcela se pesó en el campo y se extrajo una muestra de cada una para ser analizadas posteriormente en el laboratorio. El material cortado no fue devuelto a la pastura.

En el Cuadro N°1, se detallan las características de cada corte para ambos ensayos.

Cuadro N° 1. Características de cada corte

	Corte	Fecha	Estado vegetativo	% Materia seca	Grado de enmalezamiento
S A N R A M O N	1	1/XI/79	<5% floración	18	Muy alto
	2	20/XII/79	50% floración en las mejores parcelas	25	Bajo
	3	4/III/80	10-20% floración	31	Bajo
	4	13/III/80	5% floración en mejores parcelas	23	Bajo
J O A N I C O	1	1/XI/79	<5% floración	25	Muy alto
	2	20/XII/79	15% floración en mejores parcelas	32	Bajo
	3	11/III/80	Final de floración	35	Bajo
	4	28/III/80	50% floración en mejores parcelas	27	Bajo

En los cuatro cortes se determinó la composición botánica de cada sub-subparcela y también se tomó una muestra compuesta para determinación de materia seca.

### III.D. TRABAJOS DE LABORATORIO

Se realizaron los siguientes análisis de laboratorio:

#### III.D.1. Análisis de suelos

Las muestras de suelos fueron secadas al aire, molidas y tamizadas en malla de 2 mm. Posteriormente se hicieron

determinaciones de pH al agua y de P por el método de Bray I.

### III.D.2. Análisis de plantas

Cada una de las muestras frescas traídas del campo se pesó y se le hizo composición botánica, pesándose la cantidad de alfalfa contenida en la muestra y determinando así el porcentaje de alfalfa por la siguiente relación:

$$\frac{\text{Peso Fresco Alfalfa (g)}}{\text{Peso Fresco Total (g)}} \times 100 = \% \text{ de alfalfa en la muestra}$$

Las muestras de alfalfa pura se llevaron luego a secar en estufa a 60°C por aproximadamente 48 h. Una vez retiradas de la estufa se volvieron a pesar para determinar el porcentaje de materia seca a través de la siguiente relación:

$$\frac{\text{Peso Seco de Alfalfa (g)}}{\text{Peso Fresco de Alfalfa (g)}} \times 100 = \% \text{ de Materia Seca de Alfalfa}$$

También se pesó y se llevó a estufa la muestra compuesta para determinar el porcentaje de materia seca promedio de la pastura:

$$\frac{\text{Peso Seco de la muestra compuesta (g)}}{\text{Peso Fresco de la muestra compuesta (g)}} \times 100 = \% \text{ M.S. de la pastura}$$

Para realizar los análisis químicos se molieron las muestras en un micromolino y de cada una se tomó 0.5 g que fueron atacados con 10 cc de ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-98%) a una temperatura de 350°C durante aproximadamente 50 minutos en un Digestor TECATOR, completándose la oxidación con 4 cc

de perhidrol ( $H_2O_2$  - 130 volúmenes). La solución de digestión se dejó enfriar y se llevó luego a un volumen total de 250 cc con agua destilada. Con la solución resultante se determinó:

- Nitrógeno por el método de Macro-Kjeldahl
- Fósforo por el método del sulfomolibdato de amonio y cloruro estagnoso
- Potasio por fotometría de llama

(Dada la homogeneidad de los resultados obtenidos en los años anteriores, se determinó el K solamente en el primero y segundo cortes de San Ramón)

### III.E. ANALISIS ESTADISTICOS

Con los datos obtenidos se realizaron los análisis de varianza correspondientes según lo descrito por Little y Hill (1976)\*; para diseño de parcelas subdivididas en bloques al azar.

Para el estudio del efecto residual del fósforo y de la cal se analizaron solamente las parcelas no refertilizadas, considerándose por lo tanto, un diseño de parcelas divididas.

Se usaron tres niveles de significación que se indican de la siguiente forma:

\*\*\* probabilidad menor al 1%

\*\* probabilidad menor al 5%

\* probabilidad menor al 10%

---

\* Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura, México, Trilla, 1976. 270p.

Para explicar la respuesta en rendimiento al P aplicado, se efectuaron contrastes ortogonales y en base a los resultados se ajustaron regresiones lineales que son presentadas en el capítulo siguiente.

### III.F. SIMBOLOGIA UTILIZADA

C 0.....	0 kg/ha de cal
C 1.....	2500 kg/ha de cal
C 2.....	5000 kg/ha de cal
P 0.....	0 kg/ha de $P_{205}$
P 1.....	60 kg/ha de $P_{205}$
P 2.....	120 kg/ha de $P_{205}$
P 3.....	180 kg/ha de $P_{205}$
S/R.....	0 kg/ha de $P_{205}$
R.....	60 kg/ha de $P_{205}$ para Joanicó
R.....	60 (primer año) + 60 (2do. año) kg/ha de $P_{205}$ para San Ramón
Kg M.S.....	Rendimiento de alfalfa más las distintas malezas, expresado en materia seca
Kg alfalfa pura.....	Rendimiento de alfalfa solamente, expresado en materia seca.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### IV.A. ENSAYO DE SAN RAMON

#### IV.A.1. Efecto de los tratamientos sobre el pH del suelo

En el Cuadro N° 2 se presentan los valores promedios de pH para los distintos tratamientos de encalado en 3 fechas del ensayo (siembra, primera refertilización y segunda refertilización).

Cuadro N° 2. pH del suelo a la siembra, 1ra. y 2da. refertilización

<i>Tratamientos</i>	<i>C<sub>0</sub></i>	<i>C<sub>1</sub></i>	<i>C<sub>2</sub></i>
Fechas:			
21/V/77	5.6	5.7	6.1
23/VIII/78	5.5	5.8	6.1
6/IX/79	5.5	5.9	6.2

Las variaciones de pH entre y dentro de los niveles de cal son pequeñas, lo que estaría indicando que los tratamientos de encalado han tenido poca influencia sobre el pH del suelo.

A pesar de que la dosis máxima de cal se calculó con el fin de tener un pH cercano a 7.0 en el suelo, este valor no se alcanzó en ningún momento, debido probablemente a mecanismos del suelo para mantener su pH. El alto contenido de

M0 sería el factor principal. De todos modos, los valores de pH registrados en los distintos momentos del ensayo para las dosis máxima de cal, estarían dentro del rango considerado adecuado por la bibliografía (Rhyckerd y Overdahl, 1972; Fassbender, 1975).

#### IV.A.2. Evolución del P disponible en el suelo

En el Cuadro N° 3 se muestran los datos de P disponible, correspondientes a las parcelas no refertilizadas en el 2do. año y en dos momentos del 3er. año del ensayo (2a. refertilización: 6/IX/79 y luego del último corte: 27/V/80).

Cuadro N° 3. Valores de P disponible en el suelo para el 2do. y 3er. año. Datos en ppm.

Trat.	2do. año				3er. año							
					6/IX/79				27/V/80			
	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	$\bar{x}$	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	$\bar{x}$	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	$\bar{x}$
P <sub>0</sub>	3,7	4,6	3,7	4,0	7,2	6,2	8,7	7,4	7,6	7,2	7,8	7,5
P <sub>1</sub>	5,7	7,0	4,1	5,6	9,5	7,1	8,4	8,3	10,1	8,1	8,0	8,7
P <sub>2</sub>	6,1	9,8	7,7	7,9	13,0	11,0	10,9	11,6	9,6	12,1	9,2	10,3
P <sub>3</sub>	9,8	13,2	12,3	11,8	11,4	10,7	10,1	10,7	10,5	9,0	10,5	10,0
$\bar{x}$	6,3	8,6	6,9		10,3	8,8	9,5		9,4	9,1	8,9	

Al comparar los dos años, se aprecia que hubo un aumento considerable de la disponibilidad de P en el 3er. año con respecto al 2do. año, en tanto que la variación dentro del 3er. año fue poco importante. Este comportamiento se podría

explicar a través del efecto de la cal de aumentar la disponibilidad de P a largo plazo, tal como lo señaló Zamalvide en 1970.

Sin tener en cuenta el efecto de la cal, se observa que en general hubo un aumento del P disponible al aumentar la dosis de P inicialmente aplicada.

Los análisis de varianza del P disponible en el suelo para los dos muestreos del 3er. año pusieron de manifiesto un efecto estadísticamente significativo ( $P < 0,01$ ) de las aplicaciones iniciales en el 1er. muestreo y que desapareció en el muestreo final (Cuadro N° 4).

Al considerar los tratamientos de cal, la tendencia fue a disminuir el contenido de P disponible a medida que aumentaban los niveles de caliza aplicados.

Por otro lado, como se verá más adelante (Sección IV.A. 3.b.), los rendimientos totales de materia seca aumentaron al aumentar la dosis de cal aplicada por lo que se podría explicar la disminución del P disponible en el suelo a través de una mayor extracción por las plantas.

Con respecto al P disponible en las parcelas refertilizadas, las tendencias fueron similares a las de las parcelas no refertilizadas, pero como es lógico, con valores más elevados (Cuadro N° 5).

Cuadro N° 4. Resultados de los análisis de varianza de P disponible en el suelo para dos fechas de muestreo

F. de V	G.L.	6/IX/79			27/V/80		
		C.M.	Fobs	Sig.	CM	Fobs.	Sig.
Bloque	2	8,2985	0,70	NS	31,0985	3,64	NS
Ca1	2	7,0915	0,60	NS	1,0465	0,12	NS
E(a)	4	11,8375			8,539		
P	3	36,505	5,65	***	14,693	2,00	NS
Ca1 x P	6	2,5235	0,30	NS	4 4735	0,61	NS
E(b)	18	6,460			7,336		

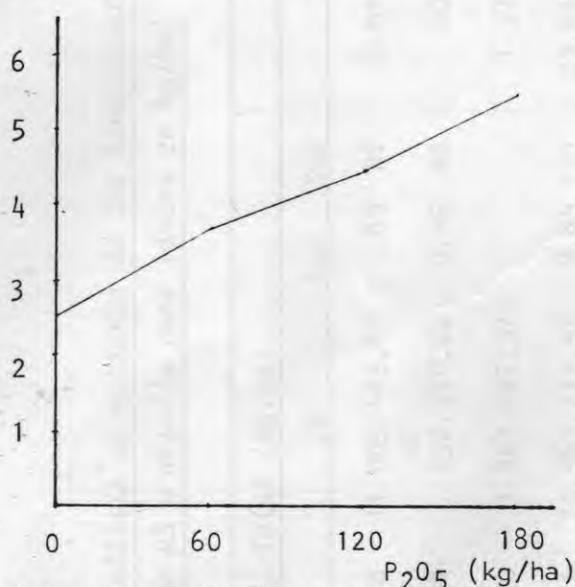
Cuadro N° 5. P disponible en el suelo para las parcelas no refertilizadas. Datos en ppm

	6/IX/79				27/V/80			
	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	$\bar{x}$	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	$\bar{x}$
P <sub>0</sub>	9,0	10,3	13,0	10,8	10,1	11,7	9,3	10,4
P <sub>1</sub>	11,1	11,2	10,5	10,9	12,0	10,8	10,8	11,2
P <sub>2</sub>	11,9	13,1	10,7	11,9	12,5	19,4	11,3	14,4
P <sub>3</sub>	16,6	16,1	9,9	14,2	18,1	12,7	15,0	15,3
	12,2	12,7	11,0		13,2	13,6	11,6	

IV.A.3. Efecto de los tratamientos iniciales sobre los rendimientos

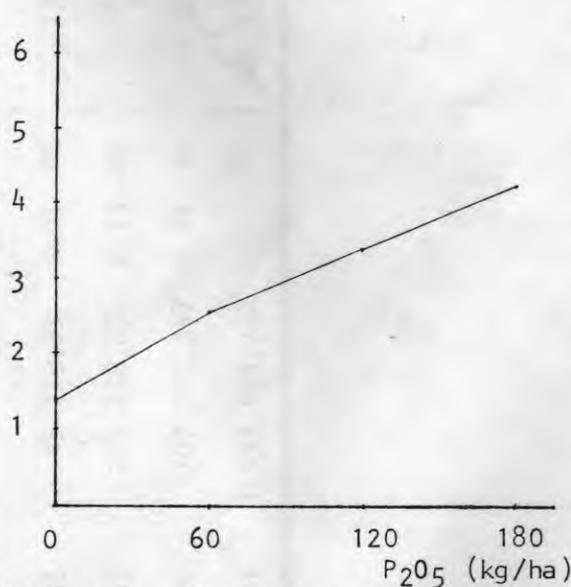
IV.A.3.a. *Efecto residual de la fertilización fosfatada.* Observando las gráficas 1 y 2, donde se relacionan las dosis de P aplicadas con el rendimiento total de MS y alfalfa pura respectivamente, se aprecia una respuesta muy importante al P aplicado en la implantación.

M.S. total  
(tt/ha)



Gráfica 1. Rendimientos totales de MS para los distintos niveles iniciales de P aplicado

Alfalfa pura total  
(tt/ha)



Gráfica 2. Rendimientos totales de alfalfa pura para los distintos niveles iniciales de P aplicado

Esto fue corroborado con los resultados de los análisis de varianza que se presentan en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6. Análisis de varianza de los rendimientos totales de MS y alfalfa pura (datos en kg/ha)

F.de V.	GL	M.S. Total (kg/ha)				Alfalfa Pura Total (kg/ha)				S <sub>ig</sub>
		SC	CM	F.o	S <sub>ig</sub>	SC	CM	F.o	S <sub>ig</sub>	
Bloques	2	22.018.891,78	11.009.445,89	5,89	NS	5.021.646,50	2.510.823,25	6,38	*	
Ca1	2	1.664.740,44	832.370,22	0,45	NS	602.761,65	301.380,825	0,76	NS	
E (a)	4	7.471.391,90	1.867.847,975			1.575.294,78	393.823,694			
Fósforo	3	40.691.200,71	13.563.733,57	8,85	***	39.819.519,97	13.273.173,32	10,48	***	
(lineal)	(1)	40.441.061,91	40.441.061,91	26,38	***	39.502.189,62	39.502.189,620	31,19	***	
(cuadr.)	(1)	45.879,93	45.879,93	0,03	NS	276.596,58	276.596,580	0,22	NS	
(cúbico)	(1)	204.258,83	204.258,83	0,13	NS	40.733,77	40.733,77	0,03	NS	
Ca1 x Fós.	6	4.727.414,08	787.902,347	0,51	NS	4.399.489,90	733.248,317	0,58	NS	
E (b)	18	27.594.985,11	1.533.054,728			22.799.412,62	1.266.634,035			

En ellos se ve que el efecto del P inicialmente aplicado es altamente significativo en ambos casos ( $P < 0,01$ ).

De las gráficas 1 y 2 se desprende que la respuesta al P aplicado es lineal hasta la dosis máxima utilizada, siendo del orden de aproximadamente 3000 kg/ha de M.S. total y más de 2500 kg/ha de alfalfa pura. Este efecto lineal se comprobó estadísticamente a través de contrastes ortogonales tal como se muestra en el Cuadro N° 6.

La misma respuesta se manifestó en todos los cortes individuales. Estos se muestran en el siguiente cuadro, donde aparecen los datos promedios de rendimientos para los distintos tratamientos de P.

Cuadro N° 7. Rendimientos promedios de Materia Seca y alfalfa pura para cada corte. Datos en kg/ha.

Trat. \ Corte	Materia Seca					Alfalfa Pura				
	1	2	3	4	Total	1	2	3	4	Total
P <sub>0</sub>	554	862	450	660	2526	187	490	339	374	1390
P <sub>1</sub>	891	1269	749	771	3680	389	945	664	564	2562
P <sub>2</sub>	1080	1396	904	1045	4425	638	1122	824	825	3409
P <sub>3</sub>	1268	1698	1331	1140	5437	685	1376	1187	983	4231

Los resultados de los análisis de varianza de los cortes individuales se presentan en el Apéndice (Cuadros Nos. 1 al 8).

Es de destacar la permanencia de un efecto residual alto al 3er. año, proporcional a las dosis de implantación.

Para ver dicho efecto transcribimos las regresiones lineales de los 2 primeros años, agregando la de este 3er. año.

1er. año	$Y = 1598 + 14,32 x$	$r = 0,65 ***$
2do. año (s/r)	$Y = 3825 + 16,25 x$	$r = 0,68 ***$
3er. año (s/r)	$Y = 2641 + 15,07 x$	$r = 0,61 ***$

donde  $\underline{Y}$  es el rendimiento de MS en kg/ha y  $\underline{x}$  la dosis inicial de  $P_{205}$ . También en el 3er. año se determinó dicha relación lineal para los rendimientos totales de alfalfa pura.

$$Y = 1492 + 15,62 x \quad r = 0,73 ***$$

De acuerdo a lo presentado se puede concluir que hubo una respuesta similar en los 3 años (b:14,32; 16,25 y 15,07 respectivamente) lo cual pone de manifiesto la persistencia del efecto de las dosis iniciales sobre los rendimientos de la pastura.

IV.A.3.b. *Efecto residual de la cal.* Con respecto al encajado (Cuadro N° 8) se dio una tendencia a incrementar los rendimientos en aproximadamente 300-400 kg/ha de MS total al aumentar los niveles de cal, pero no fue estadísticamente significativa (Cuadro N° 6). Esto resulta bastante similar a lo encontrado en los años anteriores (Palgi y Vadora, 1979; Bianco y Loza, 1979). Para alfalfa pura, la tendencia fue similar y tampoco se encontró un efecto estadísticamente significativo.

Cuadro N° 8. Rendimientos totales promedios para los 3 niveles de cal. Datos en kg/ha.

Tratamiento	Materia Seca	Alfalfa pura
C <sub>0</sub>	3724	2723
C <sub>1</sub>	4235	2938
C <sub>2</sub>	4091	3033

IV.A.3.c. *Interacción entre Cal y Fósforo.* En los Cuadros Nos. 9 y 10 se presentan los rendimientos totales promedio obtenidos para las distintas combinaciones de Cal y P. De

los ANAVA respectivos (Cuadro N° 6), surgió que la interacción entre Ca1 y P no fue estadísticamente significativa, ni para el rendimiento de MS total ni para alfalfa pura total aunque existiría una tendencia a interaccionar. Dicha tendencia se aprecia mejor en las gráficas 3 y 4, donde se muestran las variaciones del rendimiento frente a las distintas dosis de P aplicado, cuando no se agregó cal y cuando se encaló (promedio de C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>). Se observa una interacción negativa, indicando un mejor uso del P nativo o aplicado, cuando se había encalado. Esta tendencia aparecerá aún más clara cuando se presenten los resultados de la refertilización.

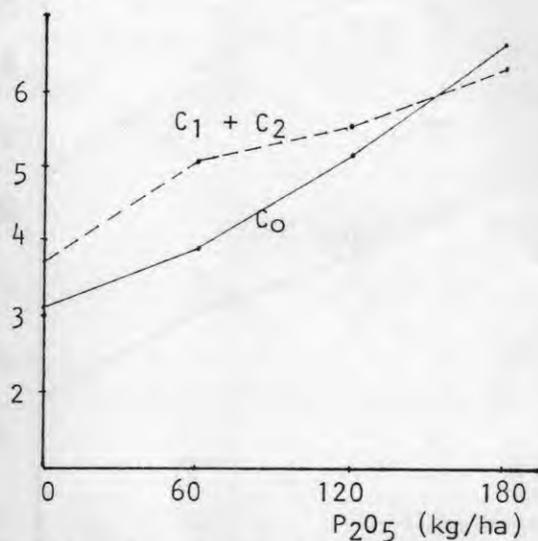
Cuadro N° 9. Rendimientos promedio de Materia Seca total para las parcelas sin refertilizar (datos en kg/ha)

Tratamientos	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Promedio
P <sub>0</sub>	2141	3199	2237	2526
P <sub>1</sub>	2923	4359	3757	3680
P <sub>2</sub>	4194	4365	4717	4425
P <sub>3</sub>	5640	5018	5653	5437
Promedio	3724	4235	4091	

Cuadro N° 10. Rendimiento promedio de Alfalfa Pura total para las parcelas sin refertilizar (datos en kg/ha)

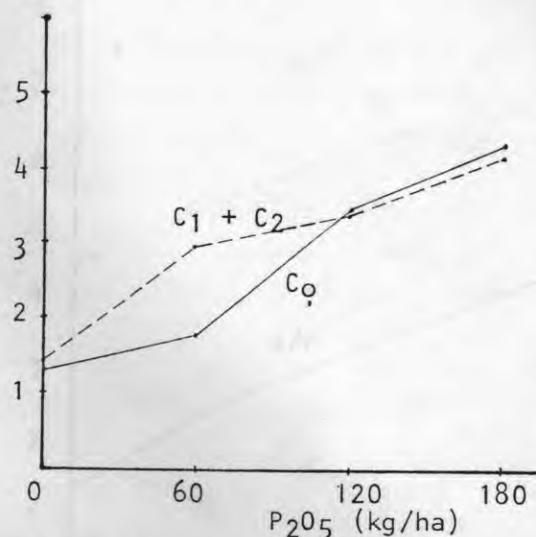
Tratamientos	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Promedio
P <sub>0</sub>	1317	1713	1139	1390
P <sub>1</sub>	1796	3170	2721	2562
P <sub>2</sub>	3457	3067	3702	3409
P <sub>3</sub>	4322	3801	4569	4231
Promedio	2723	2938	3033	

MS total  
(tt/ha)



Gráfica 3. Rendimientos totales de MS con y sin cal para las dosis de P inicialmente aplicadas

Alfalfa pura  
(tt/ha)



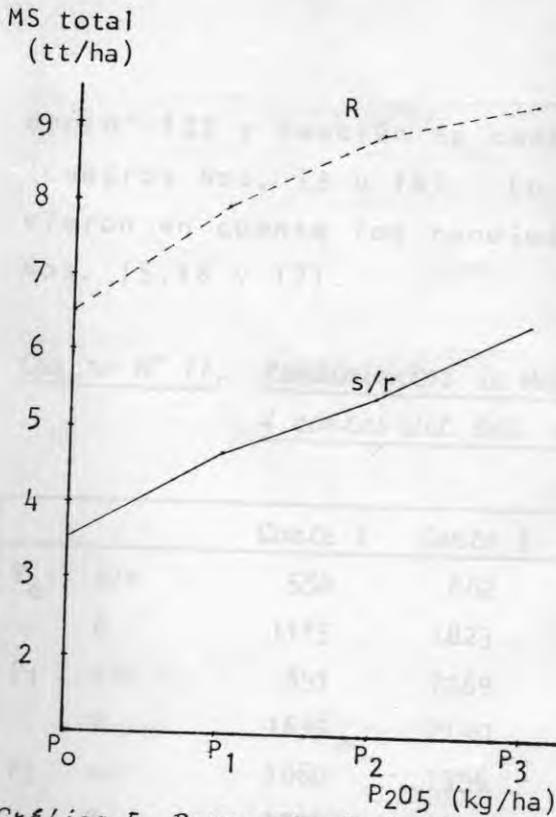
Gráfica 4. Rendimientos totales de alfalfa pura con y sin cal para las dosis de P inicialmente aplicadas

Lo mismo se observó para cada corte, tanto en rendimiento de MS como en rendimiento de alfalfa pura.

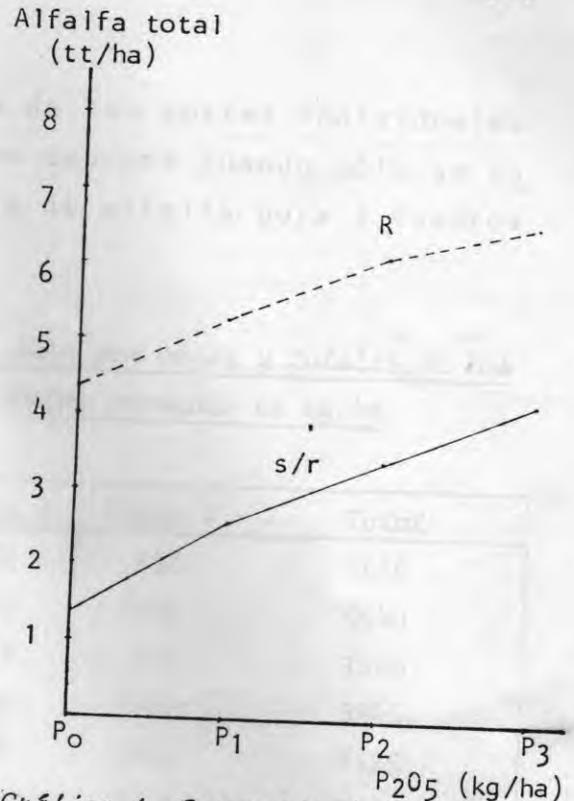
Se ajustaron las rectas correspondientes a cada nivel de Cal, dando un buen ajuste para los niveles de Cal<sub>0</sub> y Cal<sub>1</sub> (ver apéndice).

#### IV.A.4. Efecto de la refertilización sobre los rendimientos

Al igual que en el año anterior, hubo un efecto importante de la refertilización sobre los rendimientos totales (gráficas 5 y 6) y los cortes individuales, tanto de materia seca como de alfalfa pura.



Gráfica 5. Respuesta de la MS total a las distintas dosis iniciales de P



Gráfica 6. Respuesta de la alfalfa pura total a las distintas dosis iniciales de P

En el Cuadro N° 11 se presentan los rendimientos promedios por corte y para el total de los 4 cortes de la producción de MS (los datos originales se presentan en el apéndice, cuadros 9 y 10).

Se obtuvieron en promedio entre 3000 y 3300 kg/ha de MS sobre las parcelas no refertilizadas (s/r) por efecto de la refertilización, esto representa un aumento de 50 - 55 kg/ha de MS por unidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada.

Al realizar los análisis de varianza de los rendimientos de MS, se observó un efecto altamente significativo de la refertilización ( $P < 0,01$ ) para la suma de los 4 cortes (Cua

dro N° 12) y también en cada uno de los cortes individuales (Cuadros Nos. 13 y 14). Lo mismo ocurrió cuando sólo se tuvieron en cuenta los rendimientos de alfalfa pura (Cuadros Nos. 15, 16 y 17).

Cuadro N° 11. Rendimientos de Materia Seca por corte y totales de los 4 cortes del 3er. año. Datos promedio en kg/ha.

		Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Total
P <sub>0</sub>	s/r	554	862	450	660	2526
	R	1115	1823	1347	1255	5540
P <sub>1</sub>	s/r	891	1269	749	771	3680
	R	1635	2140	1736	1435	6946
P <sub>2</sub>	s/r	1080	1396	904	1045	4425
	R	1720	2413	2052	1750	7935
P <sub>3</sub>	s/r	1268	1698	1331	1140	5437
	R	1881	2574	2036	1844	8335
C <sub>0</sub>	s/r	826	1269	770	859	3724
	R	1375	2141	1412	1285	6213
C <sub>1</sub>	s/r	1069	1340	884	942	4235
	R	1586	2094	2049	1649	7378
C <sub>2</sub>	s/r	949	1309	922	911	4091
	R	1803	2477	1916	1779	7975
	s/r	948	1308	857	904	4017
	R	1588	2237	1793	1571	7189

Cuadro N° 12. Resultados del análisis de varianza de los rendimientos totales de materia seca (tt/ha) del 3er. año

F. de V	G.L.	C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.
Bloques	2	10,711	21,86	***
Cal	2	7,3847125	15,07	**
E(a)	4	0,4899212	.	
P	3	26,721238	8,88	***
l. Cal x P	6	2,85987	0,95	N.S.
E(b)	18	3,0101613		
Ref.	1	186,12952	104,15	***
l. Cal x Ref.	2	3,2514355	1,82	N.S.
l. P x Ref.	3	0,2336864	0,13	N.S.
l. Cal x P x Ref.	6	0,7222895	0,40	N.S.
E(c)	24	1,7871067		

Cuadro N° 13. Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos de MS (tt/ha) del primer y segundo corte

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2		
		C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.	C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.
Bloques	2	3,322555	69,48	***	0,943765	14,69	**
Cal	2	0,5199131	10,87	**	0,2660443	4,14	N.S.
E(a)	4	0,0478225			0,064225		
P	3	1,7954473	18,73	***	2,0353992	9,51	***
l. Cal x P	6	0,0990938	1,03	N.S.	0,3168446	1,48	N.S.
E(b)	18	0,0958678			0,2140473		
Ref.	1	7,3644996	79,05	***	15,622179	103,66	***
l. Cal x Ref.	2	0,208004	2,23	N.S.	0,2723888	1,81	N.S.
l. P x Ref.	3	0,0267647	0,29	N.S.	0,0223631	0,15	N.S.
l. Cal x P x Ref.	6	0,12894	1,38	N.S.	0,1067348	0,71	N.S.
E(c)	24	0,09316			0,1507058		

Cuadro N° 14. Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos del tercer y cuarto corte

F. de V.	G.L.	Corte 3			Corte 4		
		C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.	CM	F <sub>0</sub>	Sig
Bloques	2	0,537105	2,12	N.S.	2,04338	26,33	***
Cal	2	1,00177	3,96	N.S.	0,5074844	6,54	*
E(a)	4	0,2532188			0,0776038		
P	3	2,0463301	4,31	***	1,1207245	3,63	**
I. Cal x P	6	0,194	0,41	N.S.	0,2377025	0,77	N.S.
E(b)	18	0,4749			0,308662		
Ref.	1	15,4749	60,29	***	8,0090005	54,52	***
I. Cal x Ref	2	0,4262254	1,66	N.S.	0,3003627	2,04	N.S.
I. P x Ref.	3	0,1535108	0,60	N.S.	0,0117844	0,08	N.S.
I. Cal x P x Ref	6	0,0679103	0,26	N.S.	0,0307264	0,21	N.S.
E(c)	24	0,2566729			0,1468922		

Cuadro N° 15. Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura (tt/ha) del 1er. y 2do. corte.

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2		
		C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.	C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.
Bloque	2	0,1915355	2,56	N.S.	0,15898	3,33	N.S.
Cal	2	0,1494983	1,99	N.S.	0,281909	5,90	*
E(a)	4	0,0749528			0,0477626		
P	3	0,6670436	9,08	***	2,0871151	11,00	***
I. Cal x P	6	0,141271	1,92	N.S.	0,2619463	1,38	N.S.
E(b)	18	0,0734815			0,1897123		
Ref.	1	2,6557849	49,04	***	13,974094	125,49	***
I. Cal x Ref	2	0,0968237	1,79	N.S.	0,225963	2,03	N.S.
I. P x Ref	3	0,041216	0,76	N.S.	0,036881	0,33	N.S.
I. Cal x P x Ref	6	0,1414974	2,61	**	0,1359647	1,22	N.S.
E(c)	24	0,0541576			0,1113524		

Cuadro N° 16. Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura (tt/ha) del 3er. y 4o. corte

F. de V.	G.L.	Corte 3			Corte 4		
		C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.	C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.
Bloque	2	0,5165395	2,13	N.S.	0,5892755	4,94	*
Cal	2	0,5301418	2,19	N.S.	0,552669	4,63	*
E(a)	4	0,2423327			0,1192795		
P	3	1,5086993	4,94	***	1,3543529	6,03	***
I. Cal x P	6	0,1634707	0,53	N.S.	0,1787822	0,80	N.S.
E(b)	18	0,3052524			0,224587		
Ref	1	12,203153	58,25	***	6,6749683	55,40	***
I. Cal x Ref	2	0,1597894	0,77	N.S.	0,2864835	3,38	*
I. P x Ref	3	0,1131827	0,55	N.S.	0,0013317	0,01	N.S.
I. Cal x P x Ref	6	0,1114068	0,54	N.S.	0,0134099	0,11	N.S.
E(c)	24	0,205966			0,1204764		

Cuadro N° 17. Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura (tt/ha) de la suma de los 4 cortes

F. de V.	G.L.	C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.
Bloque	2	0,6016	0,41	N.S.
Cal	2	4,8235653	3,27	N.S.
E(a)	4	1,4745925		
P	3	21,234761	9,54	***
I. Cal x P	6	2,4352028	1,09	N.S.
E(b)	18	2,2247992		
Ref.	1	130,98228	130,80	***
I. Cal x Ref	2	2,0487998	1,62	N.S.
I. P x Ref	3	0,3388465	0,27	N.S.
I. Cal x P x Ref	6	1,2103495	0,96	N.S.
E(c)	24	1,2619164		

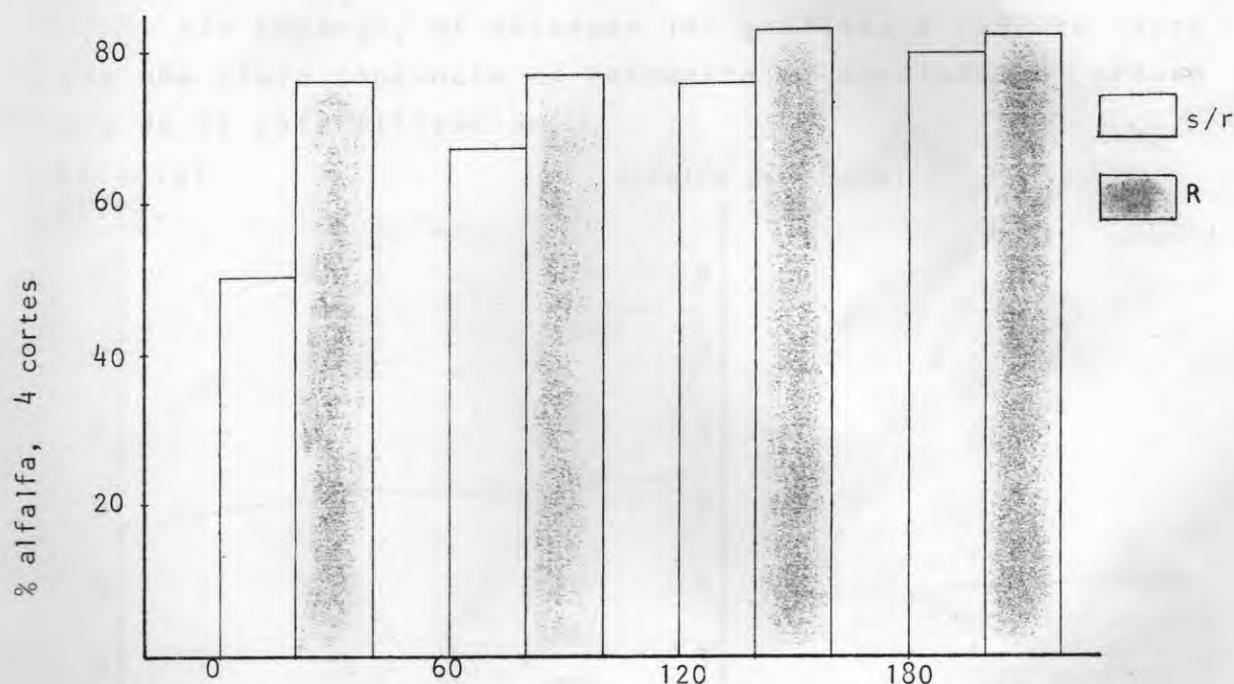
Los rendimientos de alfalfa pura para cada uno de los cortes y el total de los cuatro cortes, aparecen en el Cuadro N° 18. Los datos originales se encuentran en los Cuadros Nos. 11 y 12 del apéndice.

Cuadro N° 18. Rendimientos de alfalfa pura por corte y totales de los 4 cortes del 3er. año. Datos promedio en kg/ha

Tratamientos		Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Total
P <sub>0</sub>	s/r	187	490	339	374	1390
	R	633	1499	1259	984	4375
P <sub>1</sub>	s/r	389	945	664	564	2562
	R	875	1764	1535	1150	5324
P <sub>2</sub>	s/r	638	1122	824	825	3409
	R	934	2001	1738	1452	6125
P <sub>3</sub>	s/r	685	1376	1187	983	4231
	R	994	2193	1775	1595	6557
C <sub>0</sub>	s/r	444	964	675	640	2723
	R	777	1746	1313	999	4835
C <sub>1</sub>	s/r	488	992	768	690	2938
	R	778	1749	1714	1399	5640
C <sub>2</sub>	s/r	493	994	817	729	3033
	R	1022	2098	1703	1488	6311
s/r		475	983	753	686	2898
R		859	1864	1577	1295	5595

La refertilización produjo en promedio 2500-2600 kg/ha de alfalfa pura, por encima de los rendimientos de las parcelas no refertilizadas. Estos aumentos significan para las dosis aplicadas, aproximadamente 40 kg de alfalfa pura por

unidad de  $P_{205}$ . Dichos efectos, así como los observados en la producción total de Materia Seca, serían independientes de las dosis de P aplicadas en el 1er. año, tal como se observa en los Cuadros nos. 12 y 17, donde no aparece efecto significativo para la interacción P x Ref. Sin embargo, al considerar la composición botánica (gráfica 7), se aprecia una clara tendencia de interacción negativa entre el porcentaje de alfalfa y la refertilización a medida que aumenta el P inicialmente aplicado, es decir habría una mayor respuesta a la refertilización a bajas dosis iniciales de P.



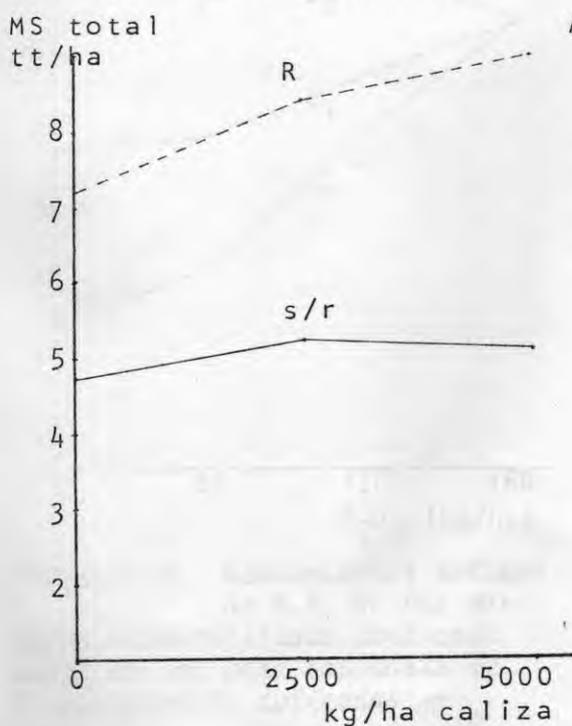
Gráfica 7. Efecto de los distintos niveles de P aplicados sobre el porcentaje de alfalfa pura

Con respecto a la cal se observó un efecto estadísticamente significativo ( $P < 0,05$ ) en el rendimiento total de materia seca (Cuadro N° 12) y analizando por corte (Cuadros Nos. 13 y 14) éste se dio en el 1er. y 4to. corte ( $P < 0,05$  y  $P < 0,10$ , respectivamente). En el caso de alfalfa pura (Cuadros Nos. 15

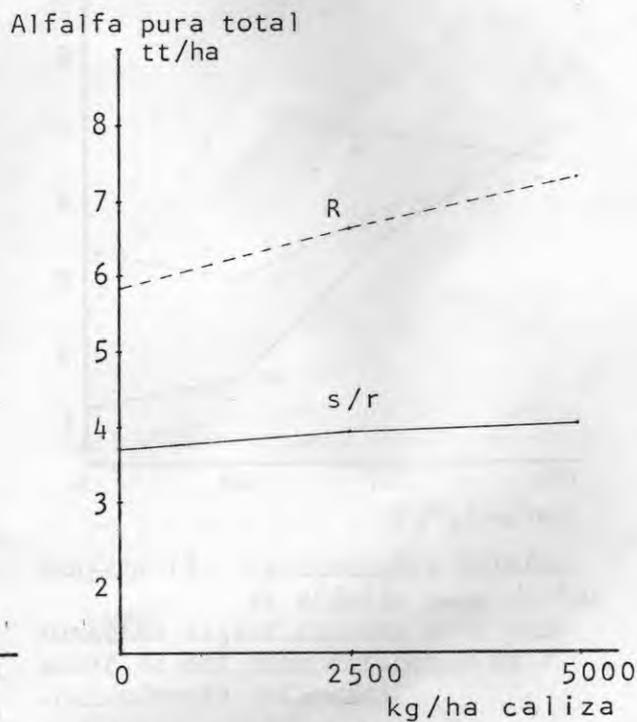
y 16) el efecto de la cal se manifestó en el 2do. y 4to. corte ( $P < 0,10$ ) desapareciendo dicho efecto al analizar la suma de los 4 cortes (Cuadro N° 17).

Del mismo modo que la interacción  $P \times Ref.$ , la interacción  $Cal \times Ref.$  no resultó estadísticamente significativa, excepto en el 4to. corte de alfalfa pura ( $P < 0.10$ ), lo que llevaría a concluir que los efectos de la refertilización también serían independientes de los niveles de cal aplicados.

Sin embargo, al observar las gráficas 8 y 9, se aprecia una clara tendencia de respuesta al encalado en presencia de la refertilización.

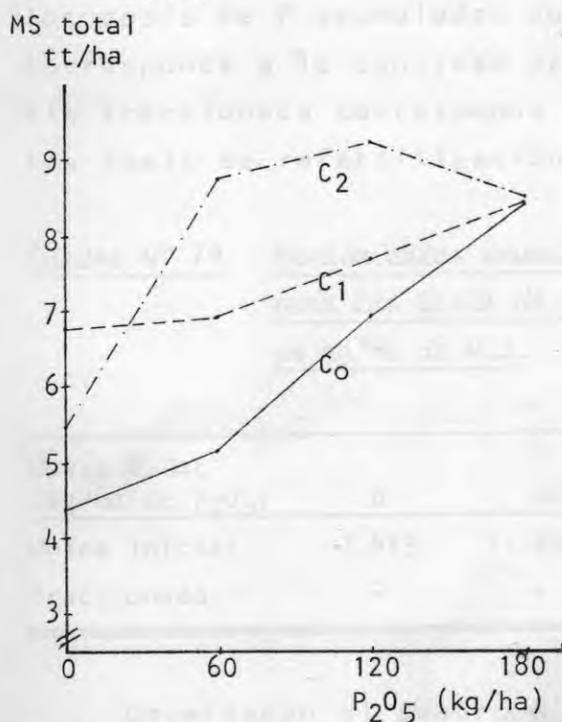


Gráfica 8. Rendimiento de MS total de las parcelas R y s/r para los distintos niveles de cal aplicados (datos tt/ha)

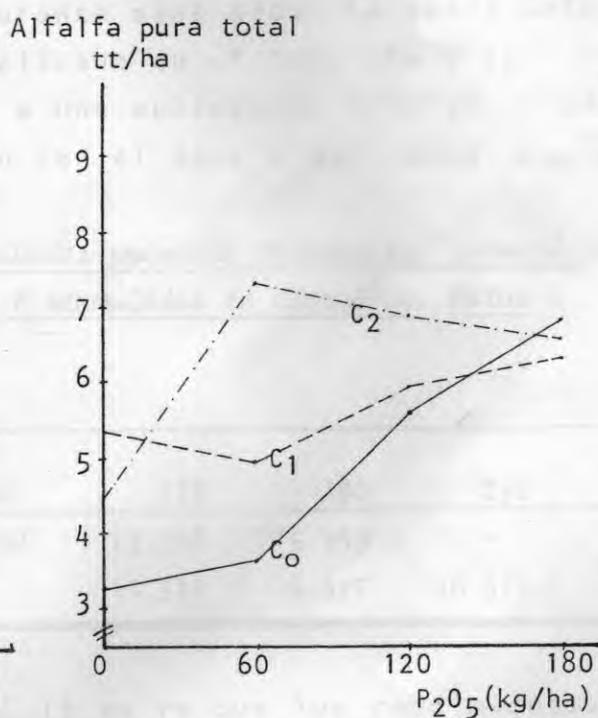


Gráfica 9. Rendimiento de alfalfa pura total de las parcelas R y s/r para los distintos niveles de cal aplicados (datos tt/ha)

Estos resultados sugieren un mayor efecto del encalado sobre los rendimientos cuando se está en presencia de altos niveles de P. Esto se ve corroborado por la existencia de una muy clara interacción negativa entre cal y P inicialmente aplicados cuando se consideran sólo las parcelas refertilizadas (gráficas 10 y 11), tanto en M.S. como alfalfa pura, donde rendimientos máximos que se obtienen sin cal y con 180 kg de  $P_2O_5$ , se obtienen también con cal y solamente 60 kg de  $P_2O_5$ .



Gráfica 10. Rendimientos totales de M.S. de las parcelas refertilizadas para cada nivel de cal para las dosis de P inicialmente aplicadas



Gráfica 11. Rendimientos totales de alfalfa pura de las parcelas refertilizadas para cada nivel de cal para las dosis de P inicialmente aplicadas

Debe recordarse que este comportamiento ya se había observado en las parcelas no refertilizadas (gráficas 3 y 4), pero no era tan evidente como en este caso.

Este hecho determina un ahorro considerable en las cantidades de fertilizante fosfatado a aplicar, aunque el efecto específico de la cal sobre los rendimientos no sea muy importante.

IV.A.5. Efecto de las aplicaciones únicas y fraccionadas sobre los rendimientos

Se estudió la respuesta en rendimiento de los 3 años a las dosis de P acumuladas durante esos años. La dosis única corresponde a la cantidad aplicada en el 1er. año y la dosis fraccionada corresponde a una aplicación inicial más las dosis de refertilización (en el 2do. y 3er. año)

Cuadro N° 19. Rendimientos acumulados promedio trianuales, promedio para las dosis de P acumuladas en esos años. Datos en kg/ha de M.S.

Dosis total (kg/ha de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0	60	120	180	240	300
Unica inicial	7.419	11.898	13.958	15.959	-	-
Fraccionada	-	-	11.526	16.577	18.517	20.170

Observando el Cuadro N° 19 se ve que los rendimientos obtenidos con la aplicación de 120 unidades en forma fraccionada son menores que los obtenidos con 120 unidades como dosis única inicial. Este comportamiento podría ser explicado por el hecho de que las parcelas que recibieron 120 unidades en forma fraccionada no tuvieron nada de P agregado en la siembra. En cambio los que recibieron 180 unidades en forma fraccionada, rindieron más que en una única

aplicación, tal vez porque recibieron 60 kg de  $P_2O_5$  en el momento de la siembra. Este efecto es lógico dada la importancia que tiene la fertilización fosfatada en la implantación de las pasturas sobre suelos pobres en dicho elemento.

Quando se consideraron sólo los rendimientos del 3er. año, se manifestaron como más ventajosas las dosis fraccionadas frente a las únicas (Cuadro N° 20).

También se aprecia en dicho cuadro, que sigue habiendo una respuesta a las dosis totales de P acumuladas en estos 3 años.

Cuadro N° 20. Rendimientos promedios en M.S. y alfalfa pura para las distintas dosis del fertilizante fosfatado acumuladas en los 3 años. Datos en kg/ha.

Dosis de P	Kg. alfalfa pura/ha	Kg. materia seca/ha
0 - 0 - 0	1.390	2.559
60 - 0 - 0	2.562	3.680
120 - 0 - 0	3.409	4.426
0 - 60 - 60	4.375	5.540
180 - 0 - 0	4.231	5.324
60 - 60 - 60	5.325	6.946
120 - 60 - 60	6.126	7.935
180 - 60 - 60	6.556	8.430

#### IV.A.6. Análisis de la composición química de las plantas

Los análisis de contenido de nutrientes se hicieron todos sobre muestras de alfalfa pura, lo cual da una idea más

precisa sobre el comportamiento en sí de la planta en cuanto a la absorción de nutrientes.

IV.A.6.a. *Efecto de los tratamientos en el contenido de fósforo.* 1. *Porcentaje de fósforo.* En el Cuadro N° 21 se muestran los promedios por tratamiento para cada uno de los 4 cortes. Los datos originales se encuentran en el apéndice (Cuadro N° 13). Se observa la importancia de la refertilización y como ocurrió en los 2 años anteriores se aprecia una disminución del porcentaje de P en las plantas a medida que avanza la estación de crecimiento, con excepción del último corte, donde se da un leve ascenso. Esto se explicaría por una menor producción de materia seca en el 4to. corte, lo cual redundaría en una mayor concentración de P en la planta.

El efecto de la refertilización en el 1er. corte es relativamente bajo, volviéndose importante en los sucesivos cortes, aunque se aprecia un descenso en los incrementos sobre las parcelas sin refertilizar, a partir del 2do. corte. Estos incrementos son en promedio aproximadamente 6%, 24%, 16% y 12% para el 1er., 2do., 3er. y 4to. corte. respectivamente. La explicación del bajo incremento del 1er. corte estaría dada por el alto grado de enmalezamiento existente, fundamentalmente gramíneas, las que ejercerían una gran competencia en la absorción de P con las plantas de alfalfa.

Se analizaron estadísticamente los resultados obtenidos en cada corte, los cuales se presentan en los cuadros Nos. 22 y 23.

Cuadro N° 21. Contenido promedio de P en cada corte para los distintos tratamientos. Datos en porcentaje de P.

Tratamiento		Corte				
		1	2	3	4	$\bar{x}$
P <sub>0</sub>	s/r	0,254	0,164	0,161	0,176	0,189
	R	0,256	0,223	0,191	0,194	0,216
P <sub>1</sub>	s/r	0,226	0,183	0,178	0,177	0,191
	R	0,258	0,239	0,201	0,208	0,226
P <sub>2</sub>	s/r	0,230	0,209	0,180	0,203	0,206
	R	0,240	0,232	0,193	0,224	0,222
P <sub>3</sub>	s/r	0,245	0,188	0,174	0,195	0,200
	R	0,258	0,225	0,214	0,213	0,228
C <sub>0</sub>	s/r	0,243	0,178	0,166	0,186	0,193
	R	0,252	0,230	0,191	0,207	0,220
C <sub>1</sub>	s/r	0,238	0,193	0,182	0,185	0,199
	R	0,264	0,229	0,200	0,196	0,222
C <sub>2</sub>	s/r	0,236	0,188	0,172	0,194	0,197
	R	0,242	0,230	0,208	0,226	0,226
	s/r	0,239	0,186	0,173	0,188	0,196
	R	0,253	0,230	0,200	0,210	0,223
$\Delta$		5,8%	23,6%	15,6%	11,7%	13,8%

Cuadro N° 22. Resultados de los análisis de varianza de los datos de contenido de P en los cortes 1 y 2.

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2		
		C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.	C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.
Bloques	2	0,0000785453	0,06	N.S.	0,00233756	11,32	**
Cal	2	0,0009083368	0,73	N.S.	0,000286514	1,39	N.S.
E(a)	4	0,001221909425			0,0002064		
P	3	0,00149684606	0,66	N.S.	0,0023083	3,70	**
I. Cal x P	6	0,0024997	1,10	N.S.	0,0007356	1,18	N.S.
E(b)	18	0,0022803			0,0006231		
Ref.	1	0,0035350035	1,86	N.S.	0,0344094	49,03	***
I. Cal x Ref.	2	0,0006575	0,35	N.S.	0,0004272	0,61	N.S.
I. P x REF.	3	0,0007202	0,38	N.S.	0,0013209	1,88	N.S.
I. Cal x P x Ref.	6	0,0010731	0,57	N.S.	0,0009120	1,30	N.S.
E(c)	24	0,0018958			0,0007018		

Cuadro N° 23. Resultados de los análisis de varianza de los datos de contenido de P en los cortes 3 y 4.

F. de V.	G.L.	Corte 3			Corte 4		
		C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.	C.M.	F <sub>0</sub>	Sig.
Bloques	2	0,0000896	0,20	N.S.	0,009217	20,84	***
Cal	2	0,0011172	2,53	N.S.	0,0024317	5,50	*
E(a)	4	0,0004417			0,0004422		
P	3	0,0010346	2,55	N.S.	0,0029491	6,16	***
I. Cal x P	6	0,0004783	1,18	N.S.	0,0000651	0,14	N.S.
E(b)	18	0,0004052			0,000479		
Ref.	1	0,0124294	60,45	***	0,0084717	28,13	***
I. Cal x Ref.	2	0,0004649	2,26	N.S.	0,000693	2,30	N.S.
I. P x Ref.	3	0,0005981	2,91	*	0,000176	0,58	N.S.
I. Cal x P x Ref	6	0,0003179	1,55	N.S.	0,000482	1,60	N.S.
E(c)	24	0,0002056			0,0003012		

En el 1er. corte ninguno de los tratamientos fueron significativos ni sus interacciones. En el 2do. y 4to. corte hubo un efecto importante de los tratamientos de P y Refertilización a un nivel de 5% para P en el 2do. corte y del 1% para P en el cuarto corte y para la Refertilización en ambos cortes. En el 3er. corte sólo resultó significativo el efecto de la refertilización ( $P < 0.01$ ), encontrándose también un pequeño efecto de la interacción P x Ref ( $P < 0,10$ ). En el 4to. corte se dio también un efecto de cal al 10% en forma similar a lo ocurrido en el 1er. año para el 2do. y 3er. corte. Esto sugeriría que existe un cierto efecto residual de la cal que está afectando el porcentaje de P en las plantas.

2. *Rendimiento de fósforo.* La importancia de la fertilización fosfatada en la absorción de P por las plantas se desprende claramente de la observación del Cuadro N° 24. Al igual que el año anterior, el efecto del encalado no tiene una tendencia clara, aunque se aprecia que el P absorbido fue mayor cuando las dosis de cal fueron más altas. Comparando los datos promedios de los tratamientos de cal para igual nivel de P, se observa un comportamiento irregular a través de los distintos cortes. Las diferencias entre los totales de tratamientos con y sin cal tampoco han sido importantes en este 3er. año.

Es un hecho el efecto de la fertilización fosfatada sobre la extracción de fósforo por las plantas, dado su influencia directa en los rendimientos y en el contenido porcentual de P de las mismas. Esto se confirma por la mayor absorción de P en el 2do. corte, no observándose en el 1er. corte por el problema del enmalezamiento existente.

Cuadro N° 24. Rendimiento de P en kg/ha

Tratamientos			Corte				Total
			1	2	3	4	
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,42	0,72	0,47	0,72	2,33
		R	1,36	2,46	1,74	1,32	6,88
C <sub>0</sub>	P <sub>3</sub>	s/r	1,41	2,54	1,94	2,06	7,95
		R	2,90	5,95	3,40	3,08	15,33
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,45	0,73	0,45	0,38	2,01
		R	1,46	3,56	2,36	2,08	9,46
C <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	s/r	2,26	3,01	2,24	2,14	9,65
		R	2,28	4,79	4,16	3,94	15,17

En el Cuadro N° 25, los datos se obtuvieron al multiplicar los rendimientos de materia seca de alfalfa pura por el porcentaje de P, promediándose los tres bloques. En dicho cuadro se muestra la variación del P absorbido según los distintos tratamientos en cada uno de los cortes, mostrando nuevamente que la mayor absorción se dio en el 2do. corte, disminuyendo en los siguientes. En los Cuadros Nos. 14 y 15 del apéndice, se muestran los datos originales de cada corte y del P total absorbido.

Se realizó el análisis estadístico con los valores de P absorbido para cada uno de los cortes, presentándose los resultados en los Cuadros Nos. 26 y 27. En el Cuadro N° 16 del apéndice se muestra el ANAVA para el P total absorbido.

Cuadro N° 25. P absorbido en los 4 cortes. Datos en kg/ha.

		Corte 1			Corte 2		
Tratamiento		C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
P <sub>0</sub>	s/r	0,42	0,56	0,45	0,72	1,02	0,73
	R	1,36	1,98	1,46	2,46	3,96	3,56
P <sub>1</sub>	s/r	0,77	0,84	0,91	1,35	2,20	1,70
	R	1,25	1,62	4,05	3,43	3,65	5,51
P <sub>2</sub>	s/r	1,64	1,60	1,18	2,25	2,38	2,28
	R	1,71	2,25	2,12	4,34	4,20	5,39
P <sub>3</sub>	s/r	1,41	1,38	2,26	2,54	2,20	3,01
	R	2,90	2,34	2,28	5,95	4,12	4,79
s/r		1,06	1,10	1,20	1,72	1,95	1,93
R		1,81	2,05	2,48	4,04	3,98	4,81
Δ		70%	87%	107%	136%	104%	149%
		Corte 3			Corte 4		
P <sub>0</sub>	s/r	0,47	0,75	0,44	0,72	0,91	0,39
	R	1,74	2,95	2,36	1,32	2,24	2,08
P <sub>1</sub>	s/r	0,74	1,51	1,30	0,53	1,19	1,32
	R	2,20	2,95	4,20	1,30	2,62	3,36
P <sub>2</sub>	s/r	1,39	1,36	1,65	1,66	1,44	1,89
	R	2,74	3,84	3,45	2,53	2,70	4,48
P <sub>3</sub>	s/r	1,94	2,00	2,24	2,06	1,62	2,14
	R	3,40	3,92	4,16	3,08	3,12	3,94
s/r		1,14	1,41	1,41	1,24	1,29	1,43
R		2,52	3,42	3,54	2,06	2,67	3,46
Δ		122%	143%	151%	66%	107%	142%

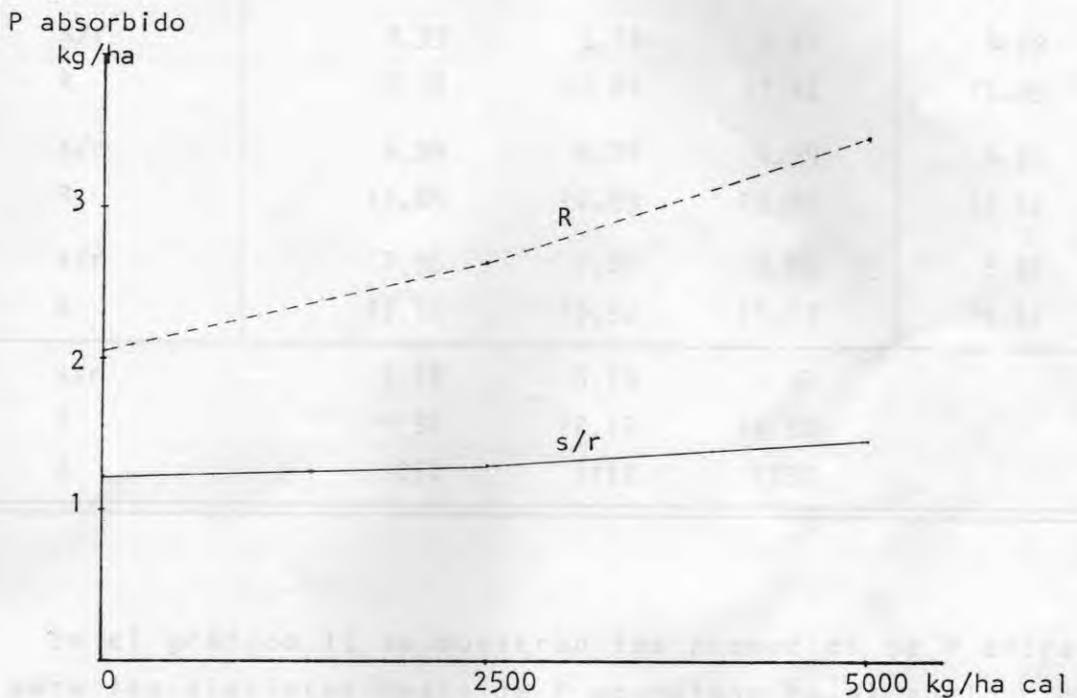
Cuadro N° 26. Resultados de los análisis de varianza del P  
extraído en los cortes 1 y 2

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2		
		C.M.	Fo	Sig.	C.M.	Fo	Sig.
Bloque	2	0,95076	0,60	N.S.	1,457315	5,54	*
Cal	2	0,7782394	0,43	N.S.	1,6487254	6,27	*
E(a)	4	0,3483986			0,2627714		
P	3	3,6836026	7,90	***	9,9111523	10,50	***
I. Cal x P	6	1,2218402	2,62	*	1,4151969	1,50	N.S.
E(b)	18	0,4662222		*	0,944016		
Ref.	1	19,224134	45,27	***	105,04768	166,94	***
I. Cal x Ref.	2	0,2786739	0,66	N.S.	1,127564	1,79	N.S.
I. P x Ref.	3	0,5038959	1,18	N.S.	0,0262985	0,04	N.S.
I. Cal x P x Ref.	6	1,2966054	3,05	**	1,2312069	1,96	N.S.
E(c)	24	0,4246069			0,629244		

Cuadro N° 27. Resultados de los análisis de varianza del P  
extraído en los cortes 3 y 4

F. de V.	G.L.	Corte 3			Corte 4		
		C.M.	Fo	Sig.	C.M.	Fo	Sig.
Bloque	2	2,589605	3,56	N.S.	6,62897	8,33	**
Cal	2	3,0645934	5,02	*	3,8741685	4,87	*
E(a)	4	0,7267825			0,795634		
P	3	6,9050383	5,54	***	7,4221526	9,28	***
I. Cal x P	6	0,4113959	0,33	N.S.	0,9794587	1,22	N.S.
E(b)	18	1,246829			0,7996642		
Ref.	1	61,226334	68,20	***	35,746331	69,01	***
I. Cal x Ref	2	0,964306	1,07	N.S.	2,1975889	4,24	**
I. P x Ref	3	0,0252514	0,03	N.S.	0,1000878	0,19	N.S.
I. Cal x P x Ref	6	0,335472	0,37	N.S.	0,098578	0,19	N.S.
E(c)	24	0,897687					

Se observa que para todos los cortes hubo un efecto significativo al 1% en los tratamientos de P y Refertilización. También se encontró para los cortes 2,3 y 4 un efecto de la cal al nivel del 10%, lo que confirmaría el hecho de que había un efecto residual de la cal. Por otra parte, en el cuarto corte surge con un nivel de significación del 5% la interacción positiva Cal x Ref, tal como lo muestra la gráfica 12.



Gráfica 12. P absorbido por las parcelas R y s/r para las 3 dosis de cal en el cuarto corte.

En el Cuadro N°28, vemos que los incrementos del P total extraído por las parcelas refertilizadas con respecto a las no refertilizadas, aumentan a medida que aumenta la dosis de cal (incrementos del 105%, 111% y 139% para los niveles de C<sub>0</sub>, C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> respectivamente), para la suma de los 4 cortes, encontrándose un efecto similar en cada uno de los

cortes (Cuadro N° 25).

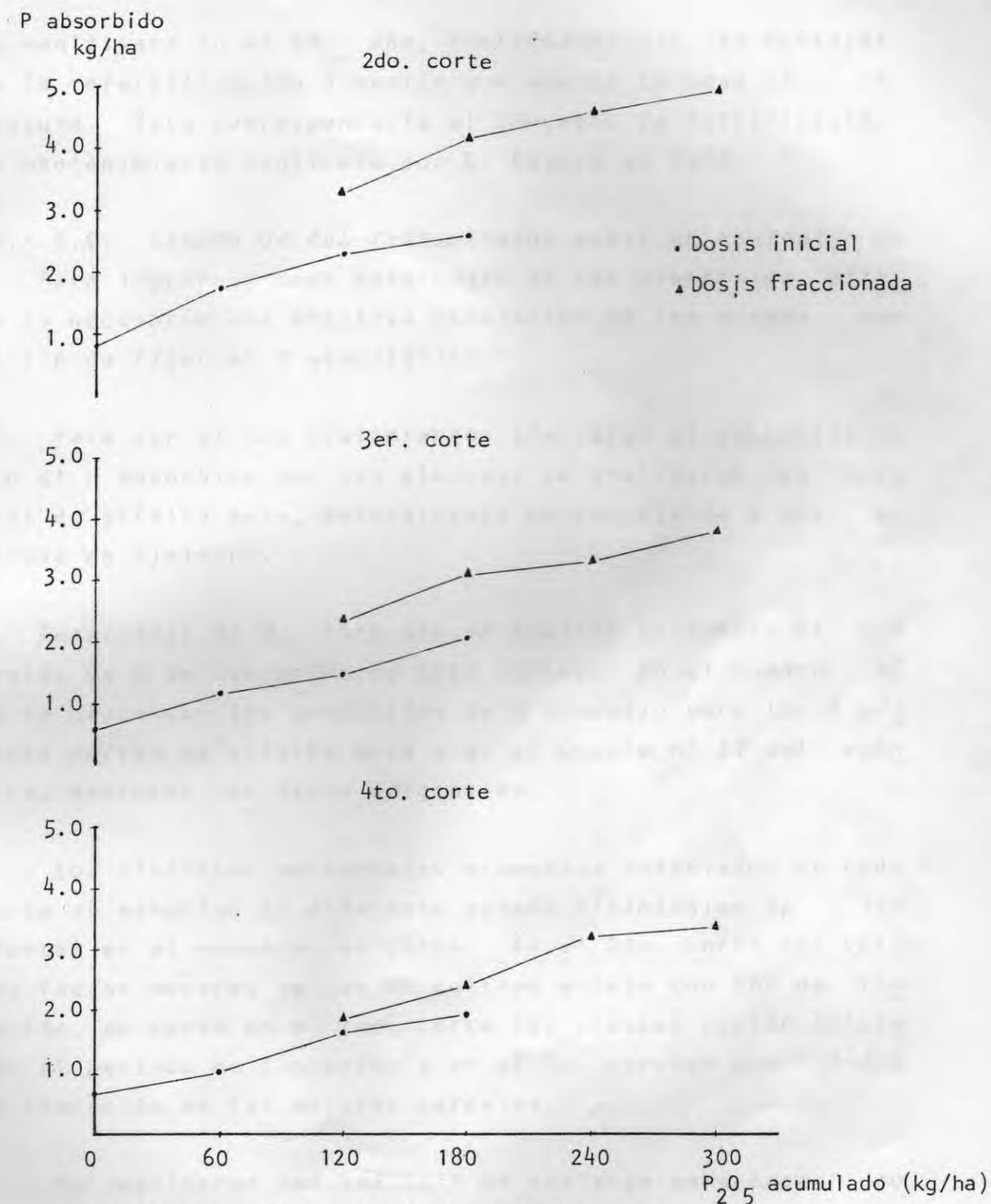
Cuadro N° 28. P total absorbido. Datos en kg/ha.

Tratamiento		C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	$\bar{x}$
P <sub>0</sub>	s/r	2,33	3,23	2,01	2,52
	R	6,88	11,13	9,46	9,16
P <sub>1</sub>	s/r	3,39	5,74	5,24	4,79
	R	8,18	10,84	17,12	12,05
P <sub>2</sub>	s/r	6,94	6,78	6,99	6,90
	R	11,84	12,99	15,44	13,42
P <sub>3</sub>	s/r	7,95	7,21	9,65	8,27
	R	15,33	13,50	15,17	14,67
s/r		5,15	5,74	5,97	
R		10,56	12,12	14,30	
Δ		105%	111%	139%	

En el gráfico 13 se muestran los promedios de P extraído para las distintas dosis de P acumulado en el suelo, correspondientes a los cortes 2,3 y 4.

Se ve el efecto aditivo de los tratamientos de P y Refertilización, constatándose una mayor extracción de P cuando las dosis eran fraccionadas, fundamentalmente en el 2do. corte y en menor grado en el 3er. y 4to. corte.

Es de hacer notar las ventajas de la fertilización fraccionada en este 3er. año del cultivo, hecho que no se puso



Gráfica 13. Extracción de P en el 2do., 3er., y 4to. corte, según dosis acumuladas de  $P_{205}$ .

de manifiesto en el 2do. año, confirmando así las ventajas de la refertilización a medida que avanza la edad de la pastura. Esto correspondería al concepto de fertilización de mantenimiento explicado por L. Castro en 1978. \*

IV.A.6.b. *Efecto de los tratamientos sobre el contenido de N.* Para lograr un buen desarrollo de las plantas de alfalfa es necesario una efectiva nodulación de las mismas con el fin de fijar el N atmosférico.

Para ver si los tratamientos afectaron el contenido de N o el N absorbido por las plantas, se analizaron las muestras de alfalfa pura, determinando porcentaje de N por el método de Kjeldahl.

1. *Porcentaje de N.* Este año se analizó solamente el contenido de N de los primeros tres cortes. En el Cuadro N° 29 se presentan los contenidos de N promedio para los 3 primeros cortes de alfalfa pura y en el Cuadro N° 17 del apéndice, aparecen los datos originales.

Los distintos porcentajes promedios observados en cada corte se deberían al diferente estado fisiológico de las plantas en el momento del corte. En el 2do. corte los valores fueron menores ya que el cultivo estaba con 50% de floración, en tanto en el 1er. corte las plantas recién iniciaban el período de floración y en el 3o. estaban con 10%-20% de floración en las mejores parcelas.

Se realizaron los análisis de varianza para cada uno de los 3 cortes, los cuales se presentan en el Cuadro N° 30.

\* Fertilización de pasturas, 1n Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. Pasturas IV. Montevideo. 1978. pp.123-129.

Cuadro N° 29. Datos promedios de los contenidos de N de las plantas de alfalfa, expresados en porcentaje

Tratamiento		Corte 1	Corte 2	Corte 3
P <sub>0</sub>	s/r	3,16	3,10	3,70
	R	3,80	3,28	3,88
P <sub>1</sub>	s/r	3,60	3,21	3,98
	R	3,73	3,43	3,92
P <sub>2</sub>	s/r	3,53	3,37	3,85
	R	3,97	3,23	3,79
P <sub>3</sub>	s/r	3,40	3,36	4,04
	R	3,81	3,43	3,97
C <sub>0</sub>	s/r	3,23	3,25	3,90
	R	3,76	3,27	3,75
C <sub>1</sub>	s/r	3,65	3,31	3,86
	R	3,62	3,34	3,93
C <sub>2</sub>	s/r	3,49	3,23	3,92
	R	4,10	3,41	3,99
s/r		3,42	3,26	3,89
R		3,83	3,34	3,89

En el 1er. corte se dio solamente un efecto significativo de la refertilización, en el 2do. un pequeño efecto del P ( $P < 0.10$ ) y en el 3ero. el efecto P se vuelve más significativo ( $P < 0.01$ ). Probablemente el mejor desarrollo de las plantas a altas dosis de P determinó una mejor fijación de N en esos casos. A pesar de no haber un efecto significativo del encalado en el porcentaje de N, en el Cuadro N° 29 se

Cuadro N° 30. Resultados de los análisis de varianza de los datos de contenido de N, en los cortes 1, 2 y 3

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2			Corte 3		
		C.M.	Fo	Sig.	C.M.	Fo	Sig	C.M.	Fo	Sig
Bloque	2	0,210505	0,53	N.S.	0,03601	1,83	N.S.	0,021	0,36	N.S.
Cal	2	0,5589541	1,40	N.S.	0,0273722	1,40	N.S.	0,1059316	1,84	N.S.
E (a)	4	0,3997204			0,0197179			0,0575463		
P	3	0,237737	0,46	N.S.	0,1341648	2,50	*	0,1910846	5,26	***
I. Cal x P	6	0,43098	0,82	N.S.	0,0396148	0,74	N.S.	0,0861825	2,37	*
E (b)	18	0,5228226			0,0535523			0,0363429		
Ref.	1	2,90405	5,25	**	0,1184222	2,32	N.S.	0,0002170	0,0005	N.S.
I. Cal x Ref.	2	0,5240625	0,95	N.S.	0,0472889	0,93	N.S.	0,1044941	2,44	N.S.
I. P x Ref.	3	0,1901426	0,34	N.S.	0,1174926	2,30	N.S.	0,0733762	1,71	N.S.
I. Cal x P x Ref.	6	0,1465106	0,26	N.S.	0,0879648	1,72	N.S.	0,0475894	1,11	N.S.
E (c)	24	0,5534764			0,0509767			0,0428607		

aprecia una clara tendencia a ser incrementado, especialmente con refertilización. Esto podría ser debido a un efecto directo en la fijación, o a un efecto indirecto a través del P, ya que como se recordará, los efectos del P eran mayores en presencia de cal.

2. *Rendimiento de N.* Se determinó el rendimiento de N en kg/ha para cada uno de los 3 cortes analizados. Los resultados promedios para los distintos tratamientos se presentan en el Cuadro N° 31. Los valores del cuadro se obtuvieron al multiplicar el rendimiento de la alfalfa pura de cada corte por el porcentaje de N correspondiente.

Cuadro N° 31. Rendimiento de N. Datos en kg/ha.

Corte	1		2		3	
	s/r	R	s/r	R	s/r	R
P <sub>0</sub>	6.07	24.50	15.13	48.96	13.94	48.72
P <sub>1</sub>	14.97	32.65	30.65	60.56	26.28	60.44
P <sub>2</sub>	22.16	37.53	37.53	64.52	31.50	66.24
P <sub>3</sub>	23.80	38.92	45.78	75.19	47.96	70.44
C <sub>1</sub>	14.35	29.65	31.22	57.48	27.28	49.02
C <sub>2</sub>	18.66	28.20	33.26	58.30	29.95	67.71
C <sub>3</sub>	17.23	42.35	32.35	71.15	32.54	67.66
$\bar{x}$	16.75	33.40	32.27	62.31	29.92	61.46

Al igual que en el año anterior, se aprecia un efecto importante del P inicialmente aplicado, así como también de la refertilización, sobre la absorción de N por las plantas. En cambio, la cal tuvo escaso efecto sobre los rendimientos de N. Este comportamiento refleja el efecto de los distintos tratamientos sobre los rendimientos, así como un efecto directo en la nutrición nitrogenada, ya que también se notó un efecto en los porcentajes de N. Los comentarios realizados en esa oportunidad también se aplicarían aquí.

IV.A.6.c. *Efecto de los tratamientos sobre el contenido de K.* Se analizó el contenido de K de las plantas de alfalfa para el primer y segundo corte y se comprobó al igual que el año anterior, que no hubo efecto importante de los tratamientos sobre dicho contenido, salvo en el caso de la cal, donde hubo un efecto depresivo, escaso pero evidente, sobre todo en las parcelas refertilizadas. En el Cuadro N° 32, se presentan valores promedios del contenido de K para ambos cortes y en el apéndice se muestran los datos originales (Cuadro N° 18).

Si bien se dio una disminución en el 2° corte, se aprecia que aún en el 3er. año del cultivo, los contenidos de K están por encima de los valores considerados críticos (1.7% - 2%), Rhykerd y Overdahl (1972). Se analizaron estadística

mente los datos de porcentaje de K no obteniéndose ningún efecto significativo de los distintos tratamientos, salvo un pequeño efecto de la interacción Cal x P en el 1er. corte. Los resultados se presentan en el Cuadro N° 19 del apéndice.

Cuadro N° 32. Datos promedios de los contenidos de K,  
expresados en porcentaje

Tratamiento		Corte 1	Corte 2
P <sub>0</sub>	s/r	2,82	2,49
	R	2,75	2,43
P <sub>1</sub>	s/r	2,57	2,54
	R	2,94	2,62
P <sub>2</sub>	s/r	2,93	2,63
	R	2,68	2,54
P <sub>3</sub>	s/r	2,88	2,49
	R	2,79	2,60
C <sub>0</sub>	s/r	2,73	2,57
	R	2,96	2,61
C <sub>1</sub>	s/r	2,96	2,48
	R	2,74	2,49
C <sub>2</sub>	s/r	2,71	2,57
	R	2,68	2,54
	s/r	2,80	2,54
	R	2,79	2,55

IV.A.7. Estudio de la composición botánica

En este ensayo se analizó la composición botánica de la pastura, dado el efecto que pueden provocar las malezas sobre la calidad y el rendimiento del forraje obtenido. Este efecto se da fundamentalmente sobre la digestibilidad de la alfalfa disminuyéndola, debido a que se tiene una menor cantidad de proteínas digeribles para el consumo animal.

Se realizó el estudio para cada uno de los cortes con la finalidad de ver el comportamiento de la alfalfa con respecto a otras especies que compiten con ella.

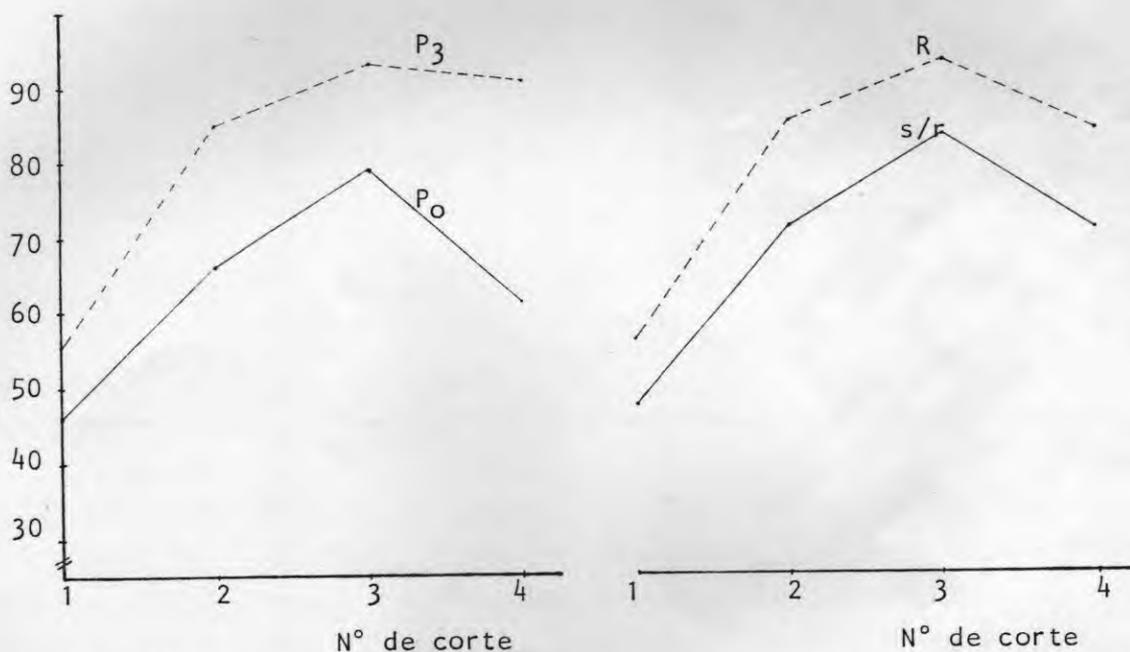
En el Cuadro N° 33 se presentan los datos de la composición botánica, expresados en porcentaje de alfalfa, de los tratamientos extremos y en el Cuadro N° 20 del apéndice se encuentran los datos para cada uno de los tratamientos.

Cuadro N° 33. Composición botánica de los tratamientos extremos en cada uno de los cortes. Datos en porcentaje de alfalfa.

Corte			Tratamiento			
			1	2	3	4
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	36,83	54,37	78,20	54,37
		R	58,27	75,80	89,03	57,90
	P <sub>3</sub>	s/r	55,87	79,90	88,60	89,57
		R	64,63	90,67	95,37	90,27
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	35,47	48,50	60,77	44,53
		R	59,47	83,17	91,97	76,80
	P <sub>3</sub>	s/r	63,13	87,20	94,50	89,67
		R	56,27	83,20	97,17	95,70

Observando el cuadro, se ve un efecto positivo del P sobre la cantidad de alfalfa, en tanto que para la cal la tendencia no es tan clara. También hay un efecto benéfico de la refertilización (gráfica 14), para todos los tratamientos y para todos los cortes.

% alfalfa



Gráfica 14. Efectos del P y Refertilización a través de los sucesivos cortes.

Comparando entre cortes, se ve que el efecto de los tratamientos es siempre menor en el primero. Esto se debería a la gran cantidad de malezas invernales (gramíneas sobre todo) existente en ese momento y es por este motivo que se recomienda un corte de limpieza en el comienzo de la primavera, al

momento de la refertilización o cortes altos, durante el invierno, para evitar que las malezas anuales semillen.

Fig. 1. Efecto del uso de herbicidas en el cultivo de maíz.

En el cuadro N° 34 se muestra el efecto de los herbicidas aplicados en el cultivo de maíz en una parcela de 100 metros de ancho, por cada hectárea (10000 metros cuadrados).

Cuadro N° 34. Efecto de los herbicidas en el cultivo de maíz.

Herbicida	Yield (kg/ha)	Yield (%)
12/2/78	31	80
12/1/78	34	87
12/0/78	37	93

El cuadro N° 34 muestra el efecto de los herbicidas en el cultivo de maíz en una parcela de 100 metros de ancho, por cada hectárea (10000 metros cuadrados). Se puede observar que el uso de herbicidas en el cultivo de maíz produce un aumento de la producción de grano por hectárea, pasando de 31 kg/ha en el control a 37 kg/ha con el uso de herbicidas.

Fig. 2. Efecto de los herbicidas en el cultivo de maíz.

En el cuadro N° 35 se muestra el efecto de los herbicidas en el cultivo de maíz en una parcela de 100 metros de ancho, por cada hectárea (10000 metros cuadrados). Se puede observar que el uso de herbicidas en el cultivo de maíz produce un aumento de la producción de grano por hectárea, pasando de 31 kg/ha en el control a 37 kg/ha con el uso de herbicidas.

## IV.B. ENSAYO DE JOANICO

IV.B.1. Efecto del encalado sobre el pH del suelo

En el Cuadro N° 34 se muestra el efecto de los distintos tratamientos de cal sobre el pH del suelo en tres momentos del ensayo (siembra, 1er. corte y refertilización).

Cuadro N° 34. pH del suelo en la siembra, 1er. corte y refertilización

Tratamiento	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
Fecha			
17/IV/78	5,7	5,9	6,0
13/XI/78	5,7	6,0	6,2
6/IX/79	5,9	6,1	6,3

Al igual que en el ensayo de San Ramón, la diferencia de pH entre los distintos niveles de Cal no fue muy importante, aunque aún 17 meses después de haber sido encalado sigue habiendo efecto del mismo. De cualquier manera, los pH logrados con la dosis más alta de cal, estarían dentro de los valores considerados adecuados por la bibliografía.

IV.B.2. Disponibilidad de P en el suelo

En el Cuadro N° 35 se muestran los valores de P disponible en el momento de la refertilización. Los datos originales aparecen en el Cuadro N° 21 del apéndice.

Cuadro N° 35. P disponible en el suelo en el momento de la refertilización

Tratamiento	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	Promedio
P <sub>0</sub>	13,3	11,7	11,5	12,2
P <sub>1</sub>	14,4	9,0	14,2	12,5
P <sub>2</sub>	16,1	14,3	14,9	15,1
P <sub>3</sub>	16,1	22,0	15,4	17,8
Promedio	15,0	14,2	14,0	

En este cuadro se ve que a medida que aumenta la dosis de P aplicado inicialmente, aumenta la disponibilidad de P en el suelo, alcanzando con la dosis P<sub>3</sub> valores similares a los existentes al inicio del ensayo.

Por otro lado, al considerar la disponibilidad de P en el suelo para los distintos niveles de cal, se observa que ocurrió una pequeña disminución del mismo al aumentar las dosis de cal, lo que probablemente se debió a una mayor extracción de P dada por el aumento en los rendimientos provocado por el encalado (ver IV.B.3.b.). Este mismo efecto fue encontrado por Mallarino y col (1978) y Palgi y Vadora (1979) en ensayos similares al aquí presentado.

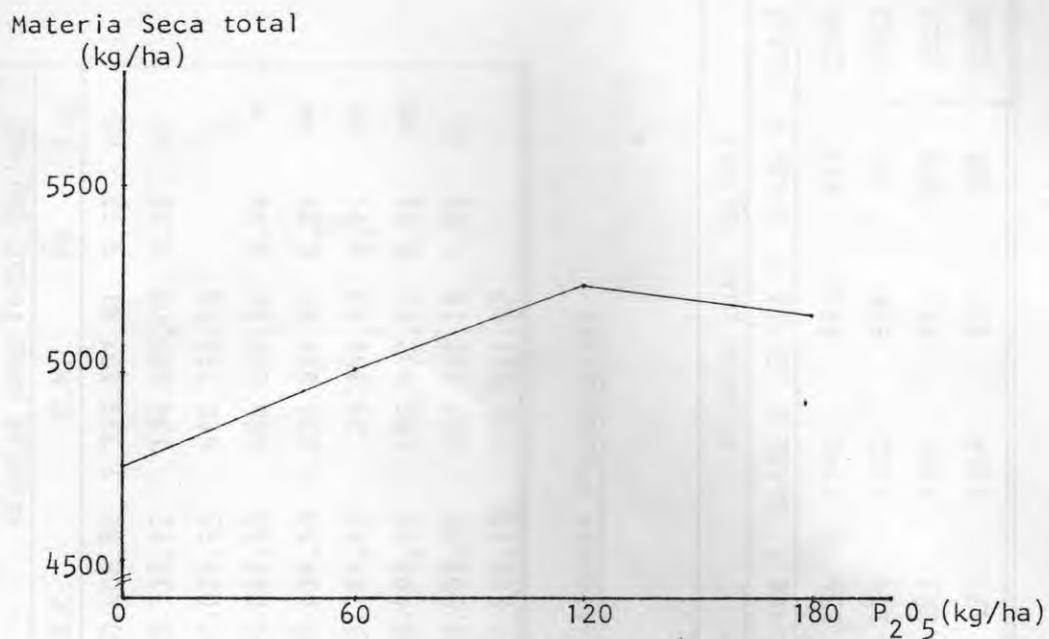
El ANAVA de los datos de P disponible mostró que en este 2o. año ninguno de los tratamientos tuvo un efecto estadísticamente significativo (Cuadro N° 22 del apéndice). Posiblemente este comportamiento se debió a los altos valores iniciales de P disponible en este suelo.

IV.B.3. Efecto de los tratamientos iniciales  
sobre los rendimientos

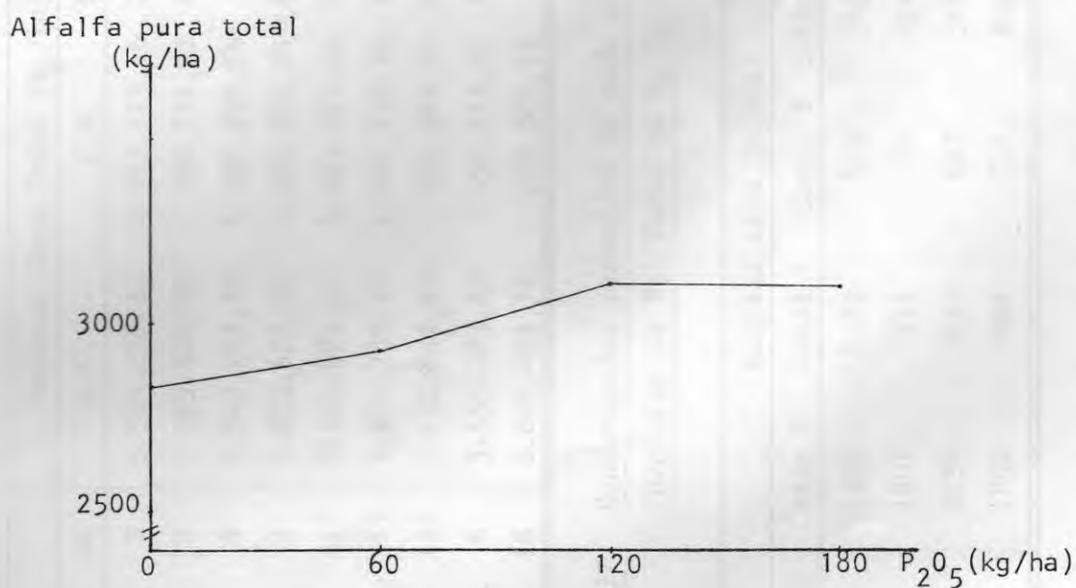
IV.B.3.a. *Efecto residual de la fertilización fosfatada.* En la gráfica N° 15 se relaciona el rendimiento total de Materia Seca (alfalfa + otras especies) correspondiente a las parcelas no refertilizadas con las dosis de  $P_2O_5$  aplicadas en la implantación del cultivo. Se observa que la respuesta al P fue aproximadamente lineal hasta la dosis  $P_2$  (120 kg/ha de  $P_2O_5$ ), permaneciendo luego relativamente constante. Cuando se consideró solamente el rendimiento total de alfalfa pura, la tendencia fue similar (gráfica 16) observándose un incremento de aproximadamente 450 kg de alfalfa pura sobre el testigo. Se debe aclarar que estas respuestas son independientes del nivel de cal agregado.

Al hacer los análisis de varianza correspondientes, surgió que la respuesta al P inicialmente agregado fue más significativa en el caso del rendimiento total de MS ( $P < 0.01$ ) que para el rendimiento total de alfalfa pura ( $P < 0.1$ ). Los resultados se presentan en el Cuadro N° 36.

Para estudiar el tipo de respuesta al P inicial aplicado, se realizaron contrastes ortogonales, resultando que para el rendimiento de MS total, la respuesta lineal mencionada anteriormente era significativa ( $P < 0.01$ ) y la cuadrática no lo era, aunque en la gráfica 15 muestra una tendencia a serlo. Para el rendimiento total de alfalfa pura, también fue significativa la respuesta lineal ( $P < 0.05$ ) no existiendo una tendencia cuadrática. En ambos casos, la falta de ajuste no fue significativa (Cuadro N° 36).



Gráfica 15. Rendimiento total de Materia Seca para las dosis iniciales de P aplicado.



Gráfica 16. Rendimiento total de alfalfa pura para las dosis iniciales de P aplicado.

Cuadro N° 36. Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos totales de Materia Seca y alfalfa pura de las parcelas no refertilizadas.

F.de V.	GL	Materia Seca Total (kg/ha)				Alfalfa pura Total (kg/ha)			
		S.C.	C.M.	Fo	Sig	S.C.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	5.926.238,32	2.963.119,16	2,72	NS	3.450.406,82	1.725.203,41	3,57	NS
CaI	2	393.428,03	196.714,02	0,18	NS	269.338,17	134.669,09	0,28	NS
E (a)	4	4.349.203,78	1.087.300,94			1.931.024,59	482.756,15		
Fósforo	3	4.823.627,52	1.607.875,84	4,25	***	1.453.821,96	484.607,32	2,44	*
(lineal)	(1)	3.623.875,40	3.623.875,40	9,58	***	1.238.634,50	1.238.634,50	6,24	***
(Cuadra.)	(1)	1.047.709,52	1.047.709,52	2,77	NS	29.784,43	29.784,43	0,15	NS
(cúbica)	(1)	152.042,60	152.042,60	0,40	NS	185.402,03	185.402,03	0,93	NS
CaI x Fosf.	6	3.553.283,23	592.213,87	1,57	NS	2.203.969,08	367.328,16	1,85	NS
E(b)	18	6.805.453,78	378.080,76			3.571.806,13	198.433,67		

Cuadro N° 37. Rendimientos promedios de cada corte para los distintos tratamientos iniciales de P. Datos en kg/ha.

Tratamiento	Materia seca (kg/ha)					Alfalfa pura (kg/ha)				
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Total	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Total
Po	1558	1589	615	745	4507	294	1142	615	717	2768
P1	1801	1755	634	824	5014	234	1202	634	792	2862
P2	2034	1830	667	942	5473	283	1366	667	905	3221
P3	1892	1868	737	802	5299	371	1324	737	768	3200

En el Cuadro N° 37 se presentan los rendimientos promedios para los distintos tratamientos de P de cada uno de los cortes. Los datos originales se encuentran en los Cuadros N° 23 - 26 del apéndice. Del estudio de ellos y de los ANAVA correspondientes, surge que el segundo corte fue el que tuvo mayor incidencia en los resultados totales. Esto posiblemente se debió a que hubo un mejor crecimiento de las plantas, ya que tuvieron menos competencia de malezas en relación al primer corte, donde estas últimas predominaban (Lolium multiflorum fundamentalmente). Al no sufrir dicha competencia, las plantas de alfalfa pudieron realizar una mejor utilización de los nutrientes disponibles, manifestando en mejor forma su potencial productivo. Otro factor que también incidió en los buenos rendimientos del segundo corte, fue el momento dentro de la estación de crecimiento en que el mismo se realizó, mitad de diciembre, cuando es mayor la actividad fisiológica de las plantas.

Los resultados de los análisis de varianza de cada uno de los cortes se presentan en los Cuadros 27 - 30 del apéndice. El ANAVA correspondiente al tercer corte de alfalfa pura es el mismo que el de MS, ya que en éste hubo prácticamente un 100% de alfalfa.

A partir de lo visto hasta ahora, se puede concluir que en este segundo año del ensayo, se mantuvo una importante respuesta al P aplicado el primer año, siendo la misma del orden de los 1000 kg/ha de materia seca (diferencia entre  $P_2$  y  $P_0$ : 967 kg/ha), en tanto que en el primer año dicha respuesta había sido del orden de los 500 kg/ha.

En cuanto a los rendimientos totales de alfalfa pura, su respuesta al P inicialmente agregado fue menos importante que la de la materia seca total, siendo del orden de los 450 kg/ha.

IV.B.3.b. *Efecto residual del encalado.* En el Cuadro N° 38 aparecen los datos de producción total de MS y alfalfa pura obtenidos en cada uno de los niveles de cal utilizados. En él se observa una tendencia a incrementar los rendimientos a medida que los niveles de cal son mayores (incremento lineal de aproximadamente 200 kg/ha hasta la dosis máxima de cal).

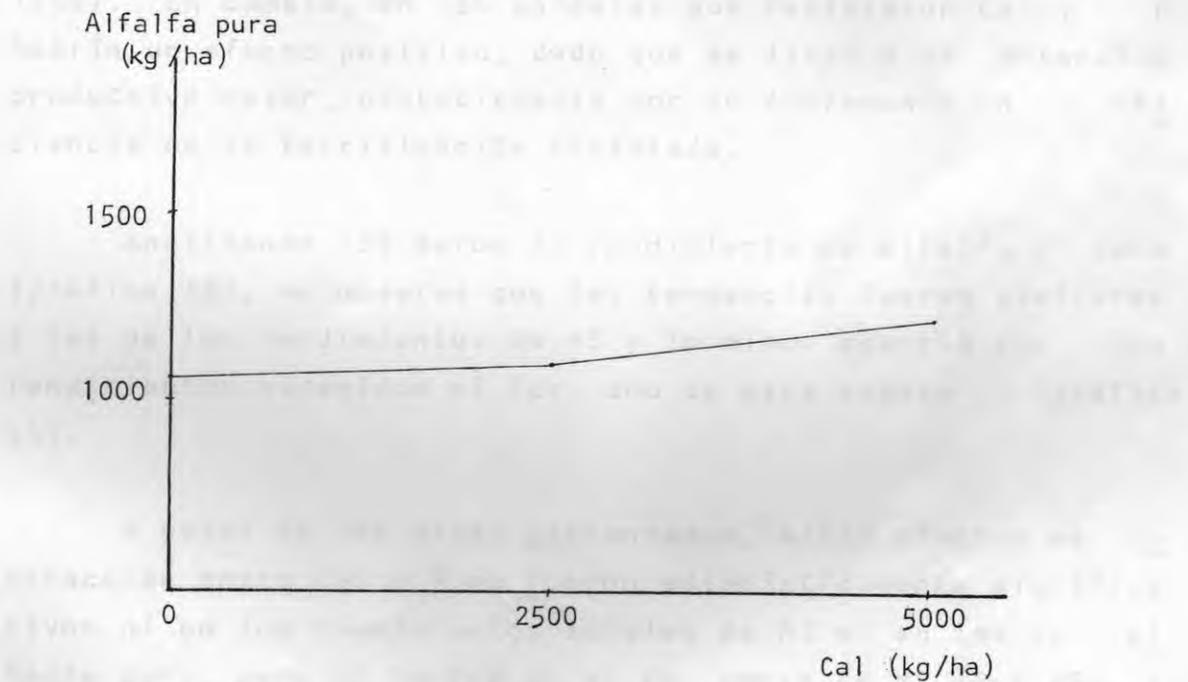
Cuadro N° 38. Rendimientos totales promedio para cada nivel de cal. Datos en kg/ha

<i>Tratamiento</i>	<i>MS total (kg/ha)</i>	<i>Alfalfa pura (kg/ha)</i>
C <sub>0</sub>	4926	2907
C <sub>1</sub>	5160	3013
C <sub>2</sub>	5134	3119

Sin embargo, al igual que el año anterior, el efecto del encalado sobre los rendimientos totales no resultó estadísticamente significativo (Cuadro N° 36), cuando se consideraba independientemente del fósforo. Los niveles de pH del suelo serían la causa de esta escasa respuesta. Dichos valores oscilaban desde 5.9 en las parcelas que no recibieron cal, hasta 6.3 en las que recibieron 5000 kg/ha de caliza, los cuales serían adecuados para un normal desarrollo de la alfalfa. Un comportamiento similar se observó en el ensayo de San Ramón, donde los valores de pH oscilaban entre 5.6 y 6.1 el primer año y 5.5 y

6.1 el segundo año y también en el primer año de este ensayo con valores de pH de 5.7, 6.0 y 6.2 respectivamente para  $C_0$ ,  $C_1$  y  $C_2$ .

Sin embargo, al estudiar la respuesta a lo largo del período de crecimiento, se constató que hubo un efecto significativo del encalado en el segundo corte de alfalfa pura, del orden de los 300 kg/ha para un nivel total de rendimientos de aproximadamente 1000 kg/ha (gráfica N° 17). Al igual que en el caso del fósforo, este corte explicaría la tendencia general observada en los rendimientos totales.



Gráfica 17. Rendimiento de alfalfa pura en el 2do. corte para las dosis de Cal aplicadas.

IV.B.3.c. *Interacción Cal x Fósforo.* Al graficar rendimiento total de MS vs. P inicialmente aplicado para las distintas dosis de Cal, se ve que hubo mayor respuesta al P con la apli

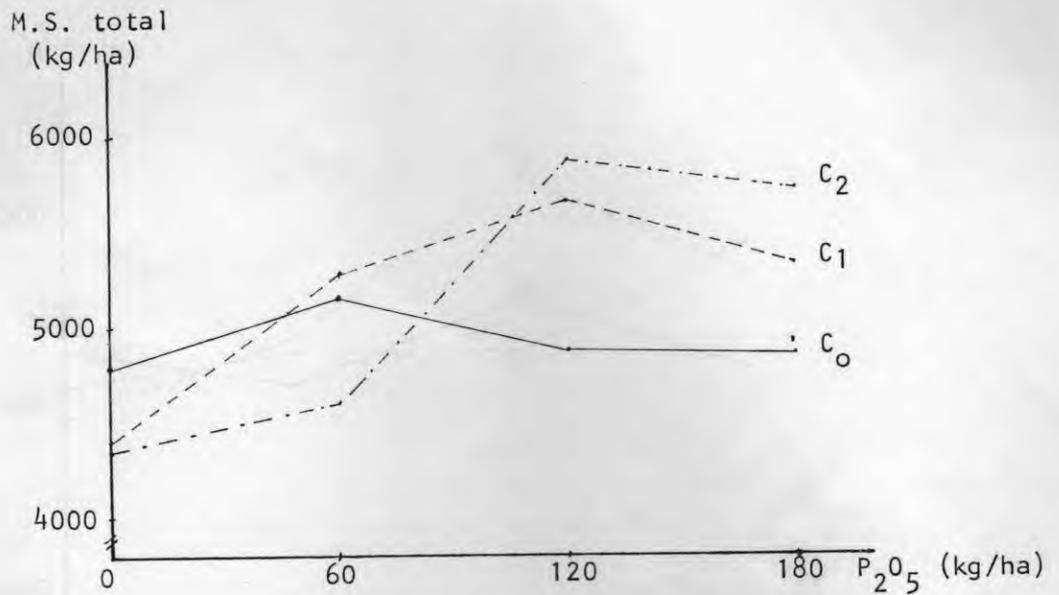
cación de niveles ascendentes de cal (gráfica N° 18). Por otro lado, se observa que cuando no se fertilizó y se había encalado, se produjo una reducción en los rendimientos de aproximadamente 500 kg/ha, sin embargo al encalar y fertilizar con fósforo, llegaron a obtenerse rendimientos máximos más altos que los obtenidos sin el agregado de cal (incremento de aproximadamente 1000 kg/ha).

Se podría explicar este comportamiento como un efecto depresivo de la cal sobre los rendimientos cuando no se aplicaba P por disminución del contenido de P nativo (Pearson, 1958). En cambio, en las parcelas que recibieron cal y P habría un efecto positivo, dado que se llegó a un potencial productivo mayor, probablemente por un incremento en la eficiencia de la fertilización fosfatada.

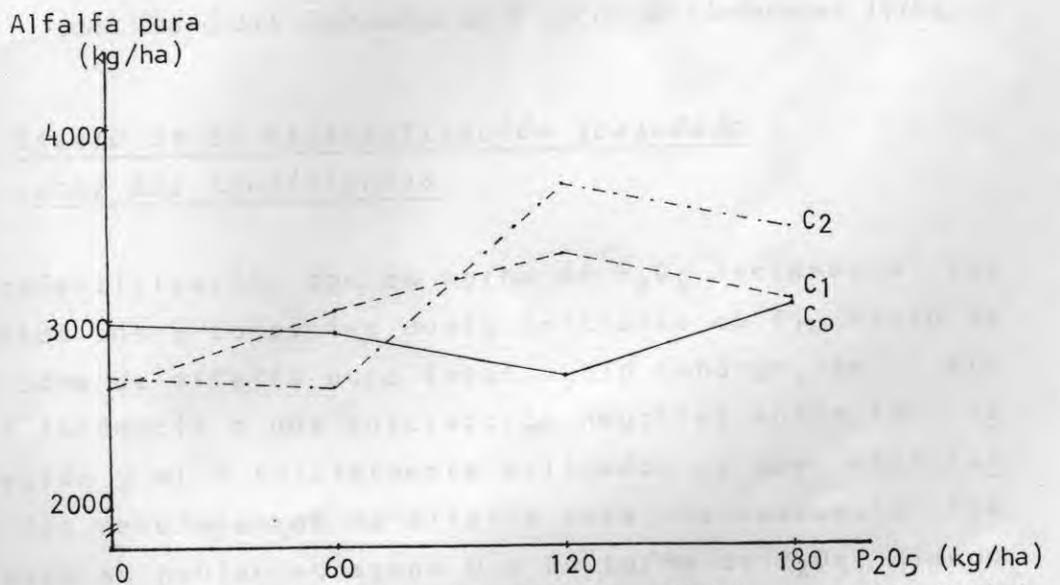
Analizando los datos de rendimiento de alfalfa pura (gráfica 19), se observa que las tendencias fueron similares a las de los rendimientos de MS y lo mismo ocurrió con los rendimientos obtenidos el 1er. año de este ensayo (gráfica 20).

A pesar de los datos presentados, estos efectos de interacción entre Cal y P no fueron estadísticamente significativos ni en los rendimientos totales de MS ni en los de alfalfa pura, pero sí lo fue en el 2o. corte de MS ( $P < 0,05$ ) y alfalfa pura ( $P < 0,10$ ) y en el cuarto corte ( $P < 0,10$ ) de alfalfa pura (ANAVAS 27-30 del apéndice).

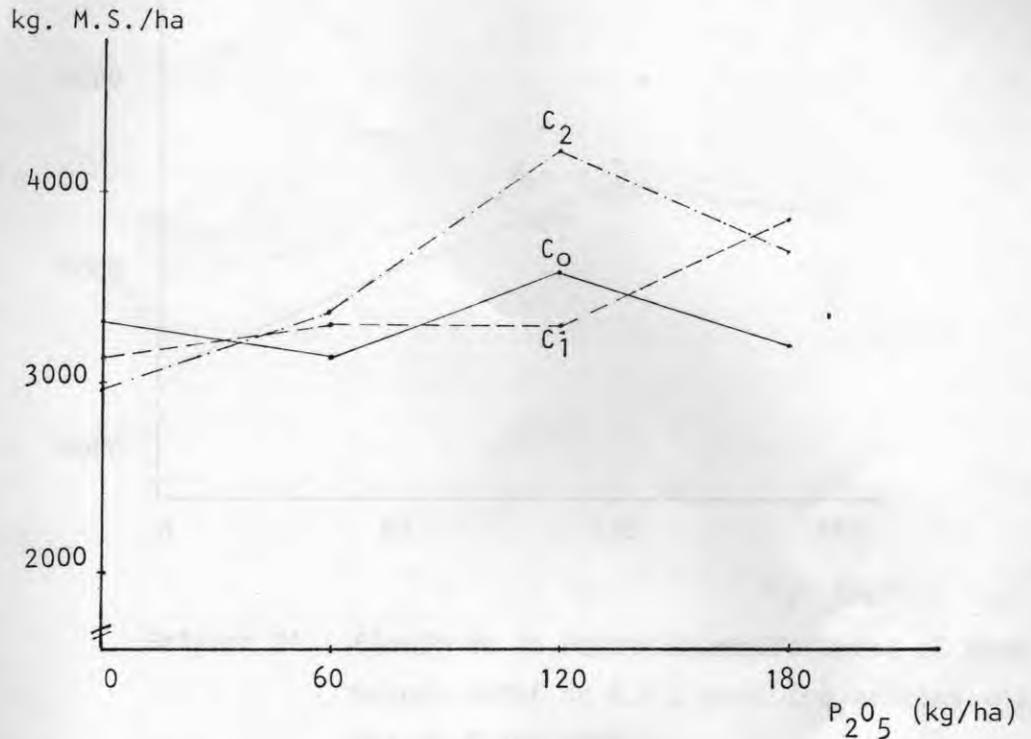
En los Cuadros 31 y 32 del apéndice, aparecen los rendimientos promedio totales de MS y alfalfa pura para las distintas combinaciones de cal y P.



Gráfica 18. Rendimiento total de Materia seca para cada nivel de cal para las dosis iniciales de P aplicado



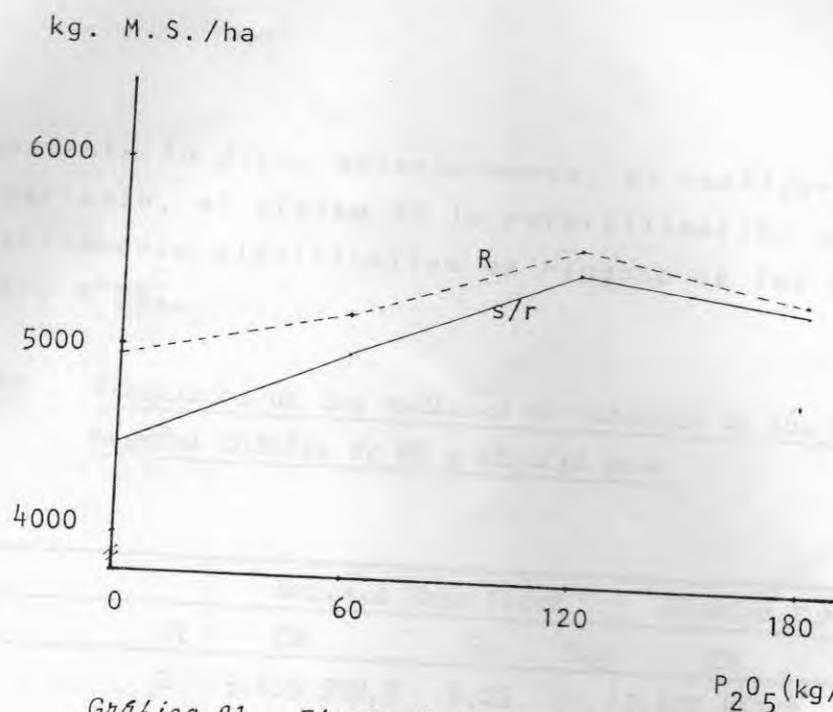
Gráfica 19. Rendimiento total de alfalfa pura (kg. MS/ha) para cada nivel de cal para las dosis iniciales de P aplicado.



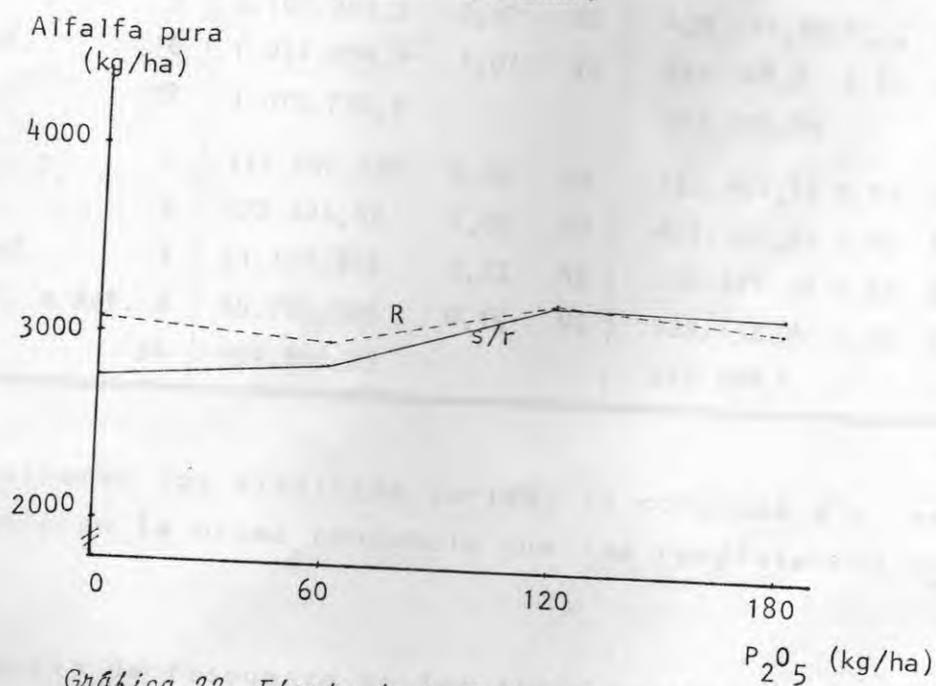
Gráfica 20. Rendimiento total de MS para cada nivel de cal para el 1er. año para las dosis iniciales de P aplicado (Ambrosoni, 1979).

#### IV.B.4. Efecto de la refertilización fosfatada sobre los rendimientos

La refertilización con 60 kg/ha de  $P_2O_5$  incrementó los rendimientos sobre todas las dosis iniciales de P, tanto de MS total como de alfalfa pura total. Sin embargo, se dio una clara tendencia a una interacción negativa entre la refertilización y el P inicialmente aplicado, ya que especialmente en los rendimientos de alfalfa pura, la respuesta fue mayor cuando se habían agregado 0 y 60 kg/ha de  $P_2O_5$ , siendo prácticamente nulo el efecto en las dosis mayores (120 y 180 kg/ha de  $P_2O_5$ ) (gráficas 21 y 22).



Gráfica 21. Efecto de la Refertilización sobre el rendimiento total de M.S., para los niveles iniciales de P aplicado.



Gráfica 22. Efecto de la Refertilización sobre el rendimiento total de alfalfa pura, para los niveles iniciales de P aplicado.

No obstante lo dicho anteriormente, al realizar los análisis de varianza, el efecto de la refertilización no resultó estadísticamente significativo en ninguno de los dos casos ( Cuadro N° 39).

Cuadro N° 39 . Resultados de los análisis de varianza de los rendimientos totales de MS y alfalfa pura

F. de V.	GL	Materia Seca Total			Alfalfa Pura Total		
		CM	Fo	Sig	CM	Fo	Sig
Bloques	2	5.639.998,5	6,22	*	2.477.457,3	6,24	*
Cal	2	3.856.709,4	4,26	NS	1.376.948,7	3,47	NS
E(a)	4	906.257,0			397.219,02		
Fósforo	3	2.107.801,7	2,07	NS	435,164,83	1,25	NS
I. Cal x Fósf.	6	1.031.099,3	1,01	NS	850.068,8	2,45	*
E(b)	18	1.015.730,6			347.096,39		
Ref.	1	137.741,197	0,32	NS	152.401,78	0,71	NS
I. Cal x Ref.	2	472.224,43	1,09	NS	438.501,09	2,03	NS
I. Fósf. x Ref.	3	51.121,846	0,12	NS	130.435,38	0,60	NS
I. Cal x Fósf. x Ref.	6	65.785,505	0,15	NS	128.192,04	0,59	NS
E(c)	24	434.392,75			215.994,4		

Al considerar los distintos cortes, se comprobó que en general siguieron la misma tendencia que los rendimientos totales.

La ausencia de respuesta en las dosis mayores de P aplicado, se debería a que los niveles de P disponible en el suelo eran adecuados para que las plantas se desarrollaran sin

el agregado de mayores dosis de fertilizante. Se debe recordar que los valores promedio de P disponible en el suelo para los niveles de  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$  eran respectivamente 12.19; 12.55; 15.12 y 17.84 ppm.

Se realizaron las regresiones de rendimiento vs P inicial agregado para las parcelas sin refertilizar (s/r) y para las refertilizadas (R). Dichas regresiones se presentan a continuación:

Materia Seca Total:

$$\begin{array}{ll} \text{s/r} & y = 4647,497 + 4,73 x & r = 0,374 *** \\ \text{R} & y = 5057,045 + 2,61 x & r = 0,169 * \end{array}$$

$y$  corresponde al rendimiento total de MS y  $x$  a la dosis inicial de P aplicado.

Alfalfa pura Total:

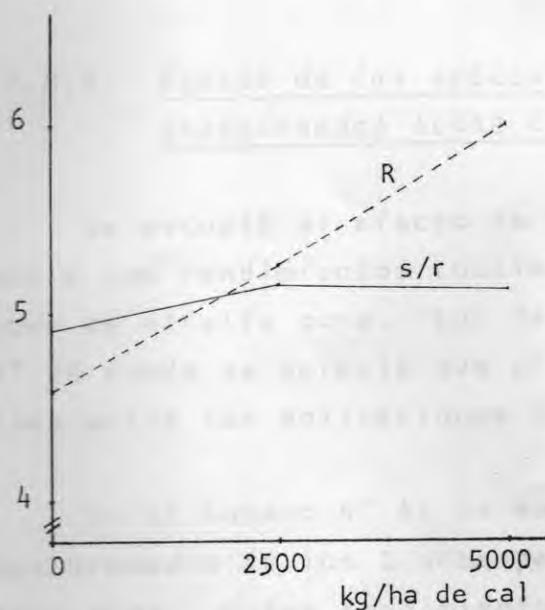
$$\begin{array}{ll} \text{s/r} & y = 2764,065 + 2,76 x & r = 0,310 ** \\ \text{R} & y = 3050,575 + 0,60 x & r = 0,060 \text{ NS} \end{array}$$

$y$  es el rendimiento total de alfalfa pura y  $x$  es la dosis de P inicialmente aplicada.

Se observa en estas ecuaciones y en las gráficas 21 y 22 que los coeficientes lineales y los  $r$  fueron mayores cuando se consideraron las parcelas no refertilizadas. Esto confirma la tendencia a una menor respuesta a la refertilización a dosis altas de P iniciales, discutida previamente.

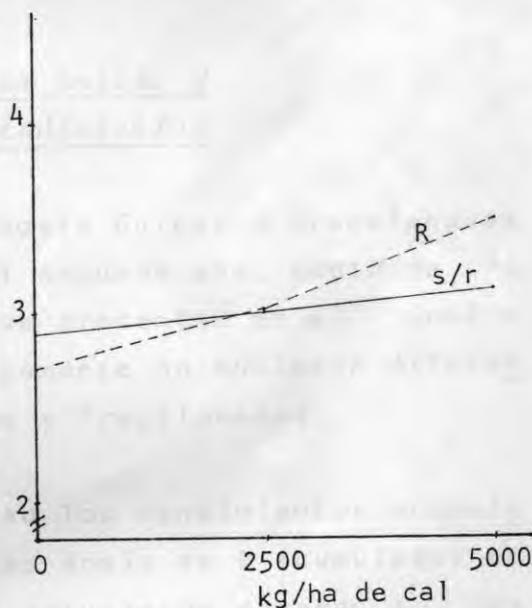
Al graficar separadamente los rendimientos totales de MS y alfalfa pura de las parcelas sin refertilizar y refer\_ tilizadas para las distintas dosis de cal, vemos que hubo un efecto importante de la cal sólo en las parcelas refer\_ tilizadas (incremento de aproximadamente 1400 kg/ha de MS y 700 kg/ha de alfalfa pura desde el nivel de cal 0 hasta la dosis máxima de 5000 kg/ha de caliza)(gráficas 23 y 24).

Materia Seca  
(tt/ha)



Gráfica 23. Efecto de la refertilización sobre el rendimiento total de M.S. para cada nivel de cal.

Alfalfa pura  
(tt/ha)



Gráfica 24. Efecto de la refertilización sobre el rendimiento total de alfalfa pura para cada nivel de cal.

Las parcelas no refertilizadas prácticamente no respondieron a las distintas dosis de cal. Sin embargo, la interacción entre cal y refertilización sólo fue estadísticamente

te significativa en el 1er. y 4o. corte de MS y en el 4o. corte de alfalfa pura.

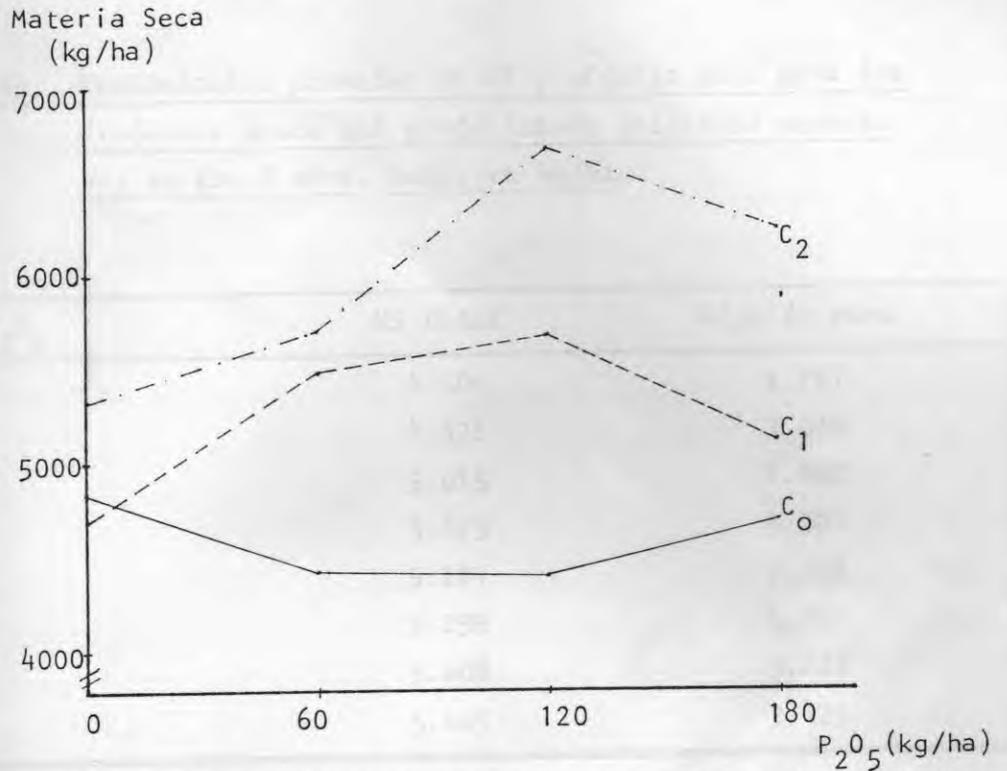
Lo visto anteriormente estaría de acuerdo con lo discutido en el inciso de efecto residual, en el sentido de que a mayor nivel de P, sea por aplicación inicial o por refertilización, es mayor el efecto del encalado. Confirmando esto se aprecia en las gráficas 25 y 26, dónde sólo se consideran las parcelas refertilizadas, que el nivel de rendimiento y la respuesta a la aplicación inicial fue mayor para la dosis de Ca1 2 (5000 kg/ha).

#### IV.B.5. Efecto de las aplicaciones únicas y fraccionadas sobre los rendimientos

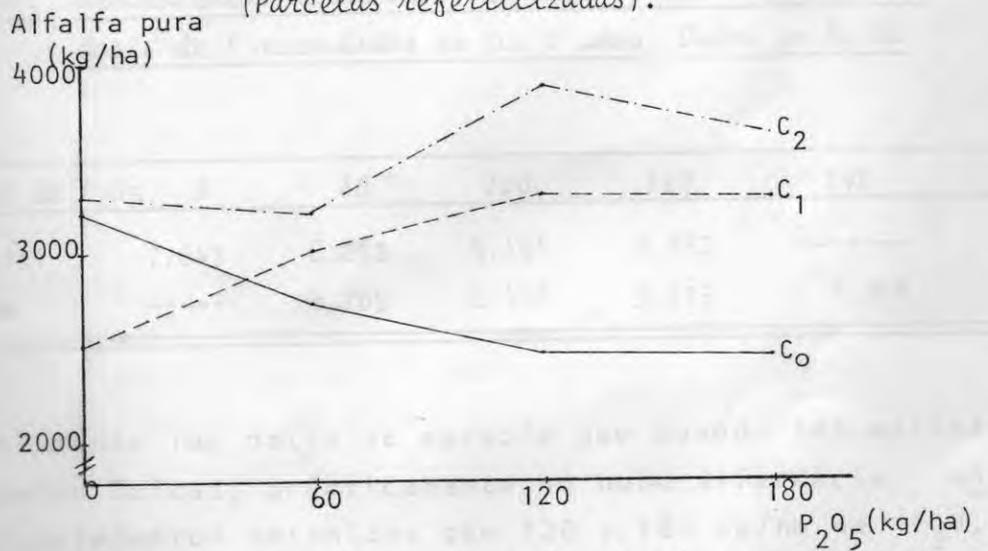
Se estudió el efecto de las dosis únicas y fraccionadas sobre los rendimientos totales del segundo año, tanto de MS como de alfalfa pura. Los datos se presentan en el Cuadro N° 40 donde se aprecia que prácticamente no hubieron diferencias entre las aplicaciones únicas y fraccionadas.

En el Cuadro N° 41 se muestran los rendimientos acumulados promedio de los 2 años para las dosis de P acumuladas en esos años. Estos rendimientos se obtuvieron sumando a los correspondientes al primer año, los del segundo año. La dosis única es la cantidad aplicada en el primer año y la fraccionada corresponde a la aplicación inicial más la dosis única de refertilización.

Este cuadro también muestra que las diferencias entre aplicación fraccionada y no fraccionada son de escasa magni



Gráfica 25. Rendimiento total de M.S. para cada nivel de cal para las dosis iniciales de P aplicado. (Parcelas refertilizadas).



Gráfica 26. Rendimiento total de alfalfa pura para cada nivel de cal para las dosis iniciales de P aplicado. (parcelas refertilizadas).

Cuadro N° 40. Rendimientos promedio de MS y alfalfa pura para las distintas dosis del fertilizante fosfatado acumuladas en los 2 años. Datos en kg/ha.

Dosis de $P_2O_5$	MS total	Alfalfa pura
0 - 0	4.506	2.767
0 - 60	4.972	3.016
60 - 0	5.015	2.862
120 - 0	5.473	3.221
60 - 60	5.221	2.993
180 - 0	5.299	3.201
120 - 60	5.608	3.221
180 - 60	5.665	3.125

Cuadro N° 41. Rendimientos acumulados bianuales promedio, para las dosis de P acumuladas en los 2 años. Datos en kg/ha

Dosis Total de $P_2O_5$	0	60	120	180	240
única inicial	7.643	8.292	9.184	8.882	-----
fraccionada	-----	8.109	8.498	9.319	8.948

tud. Analizando los datos se aprecia que cuando las aplicaciones fueron únicas, prácticamente no hubo diferencia en tre los rendimientos obtenidos con 120 y 180 kg/ha de  $P_2O_5$ , en cambio sí la hubo cuando las aplicaciones se hicieron en forma fraccionada, obteniéndose rendimientos menores con

120 kg/ha de  $P_2O_5$  que con 180 kg/ha de  $P_2O_5$ . Esto significaría que las parcelas que recibieron 120 kg/ha de  $P_2O_5$  en forma fraccionada tuvieron una aplicación subóptima en la implantación mientras que las que recibieron 180 kg/ha en forma fraccionada tuvieron la dosis correcta para obtener una buena población inicial de plantas. En consecuencia, se puede concluir que en este suelo, una dosis de 120 kg/ha de  $P_2O_5$  aplicada en el momento de la siembra sería la adecuada para lograr una buena implantación y posterior producción de la pastura.

A pesar de todo, se puede observar en el cuadro últimamente citado, que las diferencias de los rendimientos para las distintas dosis de P no alcanzan los 1000 kg/ha, hecho éste que posiblemente se deba a la presencia de niveles adecuados de P disponible en el suelo, que permitieron una buena implantación de la alfalfa con bajas dosis iniciales de fertilizante.

#### IV.B.6. Análisis de la composición química de las plantas

IV.B.6.a. *Efecto de los tratamientos sobre la composición de P de las plantas.* 1. *Porcentaje de fósforo.* En el Cuadro N° 42 se presentan los promedios por tratamiento de los contenidos de P en cada uno de los cuatro cortes, apareciendo los datos originales en el apéndice (Cuadros Nos. 33 y 34).

De la observación de los datos del cuadro, surge que hay una tendencia a disminuir el porcentaje de P hasta el 3er. corte, aumentando luego en el 4to. corte. Esta dismi

nución se podría explicar en el caso del 2do. corte por el efecto de dilución, ya que en dicho corte se obtuvieron los mayores rendimientos. En cambio, los bajos porcentajes de P del 3er. corte, se deberían a las condiciones de sequía imperantes durante el período de crecimiento del mismo que hicieron que las plantas tuvieran un menor desarrollo y que realizaran una menor extracción de nutrientes.

Cuadro N° 42. Porcentaje de P en cada uno de los cuatro cortes para los diferentes tratamientos.

Tratamiento		Corte			
		1	2	3	4
P <sub>0</sub>	s/r	0,309	0,244	0,185	0,259
	R	0,300	0,259	0,194	0,291
P <sub>1</sub>	s/r	0,324	0,275	0,203	0,288
	R	0,336	0,261	0,205	0,302
P <sub>2</sub>	s/r	0,294	0,265	0,210	0,280
	R	0,272	0,279	0,208	0,283
P <sub>3</sub>	s/r	0,321	0,281	0,209	0,298
	R	0,301	0,271	0,212	0,312
C <sub>0</sub>	s/r	0,305	0,272	0,201	0,279
	R	0,297	0,256	0,207	0,292
C <sub>1</sub>	s/r	0,306	0,261	0,205	0,280
	R	0,314	0,271	0,201	0,296
C <sub>2</sub>	s/r	0,325	0,267	0,200	0,285
	R	0,296	0,275	0,205	0,304
s/r		0,312	0,266	0,202	0,281
R		0,302	0,267	0,204	0,297

También se aprecia que el efecto de la refertilización no es tan importante como en el ensayo de San Ramón, hecho éste que se explicaría por el alto contenido de P nativo en el suelo de Joanicó.

Se realizaron los ANAVA de los contenidos de P para cada uno de los cortes y los resultados se presentan en los Cuadros Nos. 43 y 44.

Cuadro N° 43. Análisis de Varianza del porcentaje de P en las plantas para los cortes 1 y 2.

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2		
		C.M.	Fo	Sig	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	0,0262736	5,61	*	0,0017728	1,09	NS
Cal	2	0,0006979	0,15	NS	0,0002618	0,16	NS
E(a)	4	0,00468			0,0016257		
Fósforo	3	0,0066983	2,13	NS	0,0020985	2,83	*
l. Cal x Fósf.	6	0,0052432	1,67	NS	0,0010610	1,43	NS
E(b)	18	0,0031458			0,0007412		
Ref.	1	0,0015587	0,40	NS	0,0000160	0,02	NS
l. Cal x Ref.	2	0,0020787	0,53	NS	0,0012869	1,50	NS
l. Fósf. x Ref.	3	0,0010739	0,27	NS	0,0010288	1,20	NS
l. Cal x Fósf. x Ref.	6	0,0030092	0,76	NS	0,0004183	0,49	NS
E(c)	24	0,0039315			0,0008604		

Se observa que en 2o., 3ro. y 4to. corte hubo un efecto estadísticamente significativo de los tratamientos de Fósforo inicial ( $P < 0.1$ ;  $P < 0,05$  y  $P < 0.1$  respectivamente). Además en el 4to. corte se dio un efecto significativo de la refertilización ( $P < 0.01$ ) y también hubo un efecto significativo

de los tratamientos de Cal ( $P < 0.1$ ), lo cual estaría indicando que existe un efecto residual de la cal sobre el porcentaje de P de las plantas.

Cuadro N° 44. Análisis de Varianza del porcentaje de P en las plantas, para los cortes 3 y 4

V. de V.	G.L.	Corte 3			Corte 4		
		C.M.	Fo	Sig	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	0,0000507	0,16	NS	0,0014563	11,16	**
Cal	2	0,0000107	0,04	NS	0,0005696	4,36	*
E(a)	4	0,0003068			0,0001305		
Fósforo	3	0,0016974	3,76	**	0,0032444	2,78	*
I. Cal x Fósf.	6	0,0002270	0,50	NS	0,0003616	0,31	NS
E(b)	18	0,0004508			0,0011692		
Ref.	1	0,0001491	1,17	NS	0,0045442	9,53	***
I. Cal x Ref.	2	0,0001743	1,37	NS	0,0000462	0,10	NS
I. Fósf. x Ref.	3	0,0000839	0,66	NS	0,0006584	1,38	NS
I. Cal x Fósf. x Ref.	6	0,0000830	0,65	NS	0,0007123	1,49	NS
E(c)	24	0,0001270			0,0004768		

En el 2do. y 3er. corte, donde no hubo un efecto significativo de la cal, se dio igualmente una leve tendencia a un efecto positivo de la misma sobre el porcentaje de P, sobre todo en las parcelas refertilizadas.

2. Rendimiento de P. En el Cuadro N° 45 se muestran los datos promedio de P absorbido para los tratamientos extremos de cada uno de los cortes observándose que no hubie

ron grandes diferencias entre los distintos tratamientos. Los datos originales se presentan en el Cuadro N° 35 y 36 del apéndice.

Cuadro N° 45. Rendimiento de P en kg/ha. Datos promedios para cada uno de los cortes

Tratamiento	Corte				Total
	1	2	3	4	
C <sub>0</sub> P <sub>0</sub> s/r	1,39	2,50	1,26	2,19	7,34
R	1,34	3,45	1,55	2,32	8,66
C <sub>0</sub> P <sub>3</sub> s/r	1,36	3,95	1,61	1,67	8,59
R	1,15	2,76	1,06	1,78	6,75
C <sub>2</sub> P <sub>0</sub> s/r	1,22	3,13	1,01	1,39	6,75
R	1,89	3,48	1,37	1,78	8,52
C <sub>2</sub> P <sub>3</sub> s/r	1,70	4,24	1,51	2,48	9,93
R	2,05	4,69	1,42	2,38	10,54

También se consideró el P Total absorbido durante la estación de crecimiento a través de los cuatro cortes. Los datos promedio de los distintos tratamientos son los que aparecen en el Cuadro N° 46 y los originales en el Cuadro N° 37 del apéndice. De la observación de este cuadro, se extrae que hubo cierto efecto positivo de la cal cuando se habían aplicado dosis altas de P (120 y 180 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), en tanto que cuando las dosis de P aplicadas eran bajas (0 y 60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) las dosis altas de cal tuvieron un efecto depresivo sobre la absorción de P por las plantas.

Cuadro N° 46. *P Total absorbido (kg/ha)*

Tratamientos		C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
P <sub>0</sub>	s/r	7,34	6,41	6,75
	R	8,66	7,08	8,52
P <sub>1</sub>	s/r	8,18	8,33	7,09
	R	6,88	8,42	9,22
P <sub>2</sub>	s/r	6,85	8,77	10,18
	R	6,63	8,76	10,71
P <sub>3</sub>	s/r	8,59	8,70	9,93
	R	6,75	9,08	10,54
*	s/r	7,74	8,05	8,49
	R	7,23	8,34	9,75

Se realizó el ANAVA de los valores de P Total absorbido y no se encontró significación de ninguno de los tratamientos ni de las interacciones (Cuadro N° 47).

IV.B.6.b. *Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje y rendimiento de N.* Este año se analizaron solamente los dos primeros cortes, ya que se constató que al igual que el primer año, no hubo una respuesta importante a la fertilización y refertilización fosfatada en el contenido de N de las plantas. En el cuadro N° 48 son presentados los datos promedio de los distintos tratamientos para ambos cortes.

Se realizaron los ANAVA de los datos de porcentaje de N y los resultados aparecen en el Cuadro N° 49.

Cuadro N° 47. Resultados del análisis de varianza de los datos de P total absorbido

F. de V.	G.L.	C.M.	F <sub>o</sub>	Sig
Bloques	2	14,822094	3,82	N.S.
Cal	2	16,02295	4,13	N.S.
E(a)	4	3,8783635		
Fósforo	3	7,81806	1,88	N.S.
I. Cal x Fósf.	6	6,0225188	1,45	N.S.
E(b)	18	4,1501276		
Ref	1	2,139733	1,02	N.S.
I. Cal x Ref.	2	4,7193885	2,25	N.S.
I. Cal x Fósf.	3	1,9167707	0,92	N.S.
I. Cal x Fósf. x Ref.	6	1,0536363	0,50	N.S.
E(c)	24	2,0938392		

Cuadro N° 48. Datos promedio de los contenidos de N expresados en porcentaje

Tratamiento	Corte 1			Corte 2		
	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
P <sub>0</sub> s/r	3,33	4,58	3,57	3,40	3,48	3,51
R	3,48	3,63	3,63	3,65	3,30	3,61
P <sub>1</sub> s/r	3,58	3,42	3,72	3,67	3,49	3,45
R	3,74	3,65	3,51	3,90	3,48	3,52
P <sub>2</sub> s/r	3,79	3,43	3,28	3,60	3,49	3,39
R	4,53	3,87	3,56	3,46	3,20	3,78
P <sub>3</sub> s/r	3,79	3,56	3,76	3,78	3,16	3,92
R	4,32	4,23	3,83	3,84	3,40	3,43

Cuadro N° 49. Resultados del análisis de varianza para los cortes 1 y 2 de los porcentajes de N en las plantas

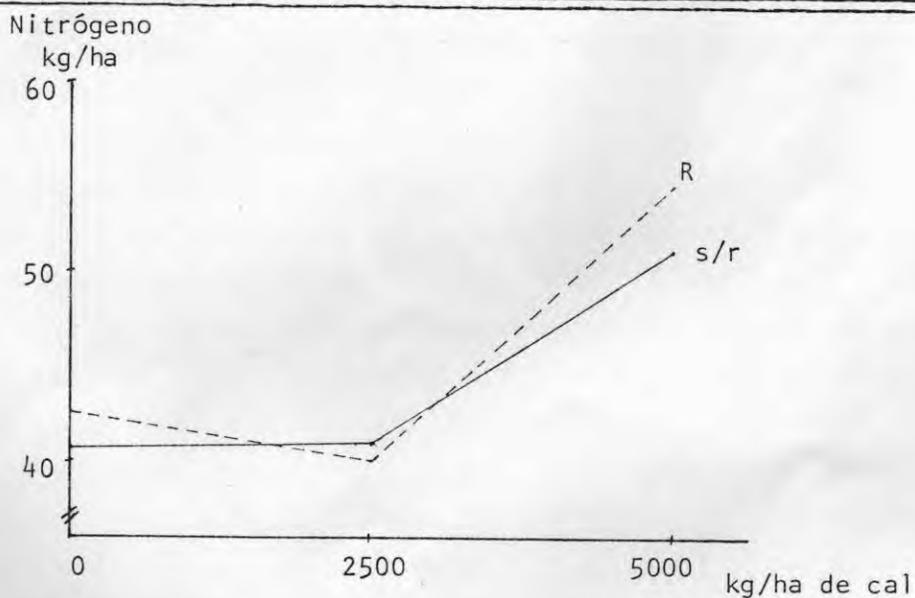
F. de V.	G.L.	1er. corte			2do. corte		
		C.M.	F <sub>o</sub>	Sig	C.M.	F <sub>o</sub>	Sig
Bloques	2	0,791256	0,72	NS	0,04365	2,25	NS
Cal	2	0,322977	0,30	NS	0,5282541	27,28	***
E(a)	4	1,092067			0,0193666		
Fósforo	3	0,3045943	0,66	NS	0,0562185	0,38	NS
I. Cal x Fósf.	6	0,4817855	1,05	NS	0,0858782	0,58	NS
E(b)	18	0,4595953			0,1478888		
Ref.	1	0,588647	0,70	NS	0,0079777	0,11	NS
I. Cal x Ref.	2	0,214737	0,25	NS	0,037232	0,53	NS
I. Fósf. x Ref.	3	0,444649	0,53	NS	0,0217889	0,31	NS
I. Cal x Fósf. x Ref.	6	0,265741	0,32	NS	0,1655515	2,34	*
E(c)	24	0,844576			0,0707208		

Se observa que en el primer corte ninguno de los tratamientos fue estadísticamente significativo, en tanto que en el segundo hubo un efecto significativo de la cal ( $P < 0.01$ ) que también se manifestó en el rendimiento de N de dicho corte tal como lo muestra el ANAVA del Cuadro N° 50. Para visualizar mejor este efecto en la gráfica 27 se muestran las variaciones del rendimiento de N frente a los distintos niveles de cal aplicados.

Los datos originales de porcentaje de N y rendimiento de N aparecen en los Cuadros Nos. 38 y 39 del apéndice.

Cuadro N° 50. Resultado del análisis de varianza de los datos de N absorbido en el 2do. corte

F. de V.	GL	C.M.	F <sub>o</sub>	Sig.
Bloques	2	632,869	6,46	*
Cal	2	1137,302	11,61	**
E(a)	4	97,986		
Fósforo	3	108,114	0,95	N.S.
I. Cal x Fósf.	6	225,354	1,98	N.S.
E(b)	18	113,609		
Ref.	1	32,587	0,34	N.S.
I. Cal x Ref.	2	25,336	0,26	N.S.
I. Fósf. x Ref.	3	62,015	0,65	N.S.
I. Cal x Fósf. x Ref.	6	79,808	0,84	N.S.
E(c)	24	95,256		



Gráfica 27. Rendimiento de N para las distintas dosis de cal en el 2do. corte.

Este comportamiento podría explicarse por un efecto directo de la cal sobre la fijación de N o por un efecto indirecto a través de los mayores rendimientos logrados por el incremento en la eficiencia de la fertilización fosfatada en las parcelas que habían recibido cal.

## V. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudiaron los efectos residuales de aplicaciones iniciales de cal y fósforo y el efecto de la refertilización fosfatada en el cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.), en ensayos instalados sobre dos suelos ácidos del sur del país.

Para estudiar el efecto residual se evaluaron 12 tratamientos resultantes de la combinación factorial de 3 niveles de cal (0; 2500 y 5000 kg/ha de caliza) y 4 dosis iniciales de P (0; 60; 120 y 180 kg/ha de  $P_{205}$ ) dispuestos en diseño de parcela dividida. Para el estudio de la refertilización se superpusieron 2 niveles de P en cobertura (0 y 60 kg/ha de  $P_{205}$ ) a los 3 niveles de cal y los 4 de P iniciales. El diseño resultante fue de parcelas subdivididas, en bloques al azar con tres repeticiones.

En uno de los ensayos, instalado sobre un Brunosol éutrico lúvico de San Ramón, de pH 5,5 y 7,5 ppm de P inicial, se evaluaron el efecto residual del P y de la cal en el tercer año luego de la aplicación así como también el efecto de la refertilización. En el otro suelo, un Vertisol rúptico lúvico de Joanicó con pH 5,8 y 18 ppm de P inicial, se evaluaron el efecto residual de la cal y del P en el segundo año luego de aplicados y el efecto de la refertilización fosfatada.

Se realizaron 4 cortes en cada uno de los ensayos, determinándose el rendimiento en Materia Seca (alfalfa más otras especies) así como también el rendimiento en alfalfa pura. Tam

bién se realizaron los análisis foliares correspondientes para la determinación de los contenidos de P, N y K en las plantas.

Las principales conclusiones extraídas del estudio de ambos ensayos son:

### *Efecto residual*

1. El efecto residual de la fertilización fosfatada inicial, medido a través de los rendimientos totales de M.S. y alfalfa pura fue muy importante en el ensayo de San Ramón presentando una respuesta lineal hasta la dosis máxima utilizada (incremento de 3000 kg/ha). En Joanicó dicha respuesta fue más importante para el rendimiento de M.S. total que para el rendimiento total de alfalfa pura siendo en ambos casos lineal hasta la dosis de 120 kg/ha de  $P_{205}$  (incrementos de 1000 kg/ha y 500 kg/ha respectivamente). La respuesta hasta una dosis menor en Joanicó se debería al mayor nivel inicial de P en dicho suelo.

2. Con respecto al efecto residual de la cal, en San Ramón se encontró una tendencia a incrementar los rendimientos de M.S. y alfalfa pura, aunque éstos no fueron estadísticamente significativos. En Joanicó el comportamiento fue similar en los rendimientos totales, pero en este caso estaría explicado solamente por un efecto estadísticamente significativo de la cal en el 2o. corte de alfalfa pura. Este escaso efecto de la cal en ambos sitios, coincide con los resultados de los años anteriores y puede concluirse que los pH en ambos suelos no se encontraban dentro de un rango muy perjudicial para el crecimiento de

la alfalfa. También se concluye que al 3er. y 2do. año del encalado (San Ramón y Joanicó respectivamente) su efecto en el pH y en los rendimientos permanece casi incambiado.

3. La interacción P x Cal en San Ramón no fue estadísticamente significativa aunque existió una tendencia a interaccionar negativamente cuando las dosis de P fueron mayores de 120 kg/ha de  $P_2O_5$ . Este comportamiento indicaría que hubo un mejor uso del P nativo o aplicado cuando se había encalado. En Joanicó la interacción P x Cal tampoco fue significativa en los rendimientos totales pero fue significativa en el segundo y cuarto corte. Se observó que cuando no se agregó P y se había aplicado cal, se produjo una reducción en los rendimientos totales de aproximadamente 500 kg/ha debido posiblemente a un efecto depresivo de la cal sobre el contenido de P nativo, en tanto que la aplicación conjunta de cal y P tuvo un efecto positivo debido probablemente a un incremento de la eficiencia de la fertilización, así como a un mayor potencial productivo. Los resultados de los dos ensayos aparentan contradictorios, sin embargo lo escaso de la respuesta a la cal en ambos sitios y el alto error experimental en Joanicó no permiten explicaciones concluyentes.

#### *Efecto de la refertilización fosfatada*

4. En San Ramón se encontró un efecto importante de la refertilización fosfatada sobre los rendimientos totales así como también en cada uno de los cortes individuales, tanto de M.S. total como de alfalfa pura. Los incrementos fueron del orden de los 3000 kg/ha de M.S. total y 2500 kg/ha de alfalfa pura.

En Joanicó hubo una pequeña respuesta a la refertilización, pero no fue estadísticamente significativa, lo que se explicaría por el alto contenido inicial de P disponible en dicho suelo.

La respuesta a la refertilización en San Ramón fue independiente de las dosis de P aplicadas el primer año. En el ensayo de Joanicó se observó una tendencia a una interacción negativa entre la refertilización y el nivel de P inicialmente aplicado dado que la respuesta a la refertilización fue menor para las dosis más altas (120 y 180 kg/ha de  $P_{205}$ ).

En San Ramón se observó una clara interacción negativa entre el encalado y el P aplicado inicialmente en las parcelas que recibieron refertilización, en tanto que en las no refertilizadas no se dió este efecto. Un comportamiento similar se observó en Joanicó aunque en menor grado. Estos resultados sugieren que el efecto del encalado en incrementar la disponibilidad del P inicial o la eficiencia del P aplicado es importante sólo cuando no existen niveles muy bajos de P.

#### *Efecto de las dosis únicas y fraccionadas*

5. En San Ramón, al estudiar los rendimientos acumulados en los tres años del ensayo para las dosis de P acumuladas durante esos años, se encontró que las aplicaciones fraccionadas tendrían ventajas sobre las aplicaciones únicas iniciales, siempre que en el momento de la siembra hubiesen recibido una aplicación de P importante. También se encontró que en los rendimientos anuales las aplicaciones fraccionadas dieron mejores resultados que las únicas inicia

les. En Joanicó no se observaron claras diferencias entre las aplicaciones únicas y fraccionadas.

#### *Estudio de la composición química*

6. En el ensayo de San Ramón el contenido porcentual de P en las plantas fue afectado por la refertilización y en menor grado por el P inicialmente aplicado, en tanto que en Joanicó tuvieron efecto importante los tratamientos iniciales de P. En ambos ensayos, en el último corte, hubo un pequeño efecto de la cal sobre el porcentaje de P de las plantas lo que indicaría que aún se mantiene el efecto residual de la misma luego de dos y tres años de aplicada. En San Ramón el P total absorbido resultó incrementado por los tratamientos de P y refertilización y en menor grado por la cal, mientras que en Joanicó ninguno de los tratamientos tuvo un efecto importante sobre el mismo.

El porcentaje de N en San Ramón fue incrementado por los tratamientos de P y refertilización con intensidad variable para los distintos cortes, no encontrándose efecto significativo de la cal. Sin embargo se observó una tendencia a incrementar el porcentaje de N en presencia de cal especialmente en las parcelas refertilizadas. En Joanicó la tendencia general observada fue similar a la de San Ramón.

El contenido de K sólo se evaluó en los dos primeros cortes del ensayo de San Ramón observándose que no hubo un efecto importante de los tratamientos sobre el mismo, salvo un pequeño efecto depresivo de la cal en las parcelas refertilizadas. De todos modos, las determinaciones dieron valores por encima de los considerados críticos.

*Estudio de la composición botánica*

• 7. En San Ramón se estudió como afectaban los distintos tratamientos el porcentaje de alfalfa de la pastura. Se encontró un efecto positivo del P y de la refertilización sobre todo cuando los niveles de P inicial aplicado eran bajos. En cuanto al efecto de la cal el comportamiento observado no fue claro.



Cuadro N° 1. Análisis de varianza de los rendimientos de Materia Seca del 1er. corte

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	1772112,154	9,24	**
Cal	2	177455,475	0,92	N.S.
Error (a)	4	191875,187		
P	3	834020,073	10,19	***
Cal x P	6	16235,640	0,20	N.S.
Error (b)	18	81856,788		

Cuadro N° 2. Análisis de varianza de los rendimientos de Materia Seca del 2do. corte

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	913129,708	7,87	**
Cal	2	15077,276	0,13	N.S.
Error (a)	4	116029,802		
P	3	1080343,748	8,46	***
Cal x P	6	93568,845	0,73	N.S.
Error (b)	18	127670,738		

Cuadro N° 3. Análisis de varianza de los rendimientos de Materia seca del 3er. corte

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	26702,752	0,21	N.S.
Cal	2	75088,953	0,59	N.S.
Error (a)	4	126327,985		
P	3	1214539,633	7,24	***
Cal x P	6	64291,228	0,38	N.S.
Error (b)	18	167722,535		

Cuadro N° 4. Análisis de varianza de los rendimientos de Materia Seca del 4to. corte

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	979461,067	9,55	**
Cal	2	21221,789	0,21	N.S.
Error (a)	4	102520,247		
P	3	459008,340	3,42	**
Cal x P	6	92447,267	0,69	N.S.
Error (b)	18	134268,430		

Cuadro N° 5. Análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura del 1er. corte

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	256997,612	15,70	**
Cal	2	8475,805	0,52	N.S.
Error (a)	4	16372,524		
P	3	482687,522	6,24	***
Cal x P	6	37043,336	0,48	N.S.
Error (b)	18	77413,476		

Cuadro N° 6. Análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura del 2do. corte

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	205719,396	3,75	N.S.
Cal	2	3459,540	0,06	N.S.
Error (a)	4	54821,212		
P	3	1257028,477	11,37	***
Cal x P	6	98864,482	0,89	N.S.
Error (b)	18	110562,024		

Cuadro N° 7. Análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura del 3er. corte

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	41826,299	0,77	N.S.
Cal	2	62753,338	1,16	N.S.
Error (a)	4	54214,598		
P	3	1117812,627	8,51	***
Cal x P	6	60592,053	0,46	N.S.
Error (b)	18	131290,153		

Cuadro N° 8. Análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura del 4to. corte

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	403476,134	7,88	**
Cal	2	23569,080	0,46	N.S.
Error (a)	4	51199,323		
P	3	658442,515	7,55	***
Cal x P	6	86687,220	0,99	N.S.
Error (b)	18	87220,155		

Rectas ajustadas para los 3 niveles de cal, de las parcelas no refertilizadas

$$C_0 \quad y = 1957,161 + 19,67 x \quad r^2 = 0,58 \quad r = 0,761^{***}$$

$$C_1 \quad y = 3496,859 + 8,33 x \quad r^2 = 0,094 \quad r = 0,307^{N.S.}$$

$$C_2 \quad y = 2469,152 + 17,20 x \quad r^2 = 0,723 \quad r = 0,850^{***}$$

$y =$  M.S. Total (kg/ha)

$x =$  dosis de cal (kg/ha)

Cuadro N° 9. Rendimientos de M.S. del 1er. y 2do. corte. Datos en kg/ha.

Corte			1			2		
Bloque			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	257	446	583	564	709	859
		R	631	1061	968	1178	1864	1607
	P <sub>1</sub>	s/r	514	394	1302	1077	1150	1133
		R	1088	908	1595	1613	1981	2093
	P <sub>2</sub>	s/r	651	687	1607	1055	832	2187
		R	1286	1442	2154	1747	2327	2718
P <sub>3</sub>	s/r	1318	932	1225	1892	1780	1992	
	R	1188	1680	2495	3147	2254	3164	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	145	342	1627	491	709	1897
		R	1254	1004	1824	2171	1998	2148
	P <sub>1</sub>	s/r	763	422	1993	1451	597	2349
		R	1230	1655	1920	1763	1869	1881
	P <sub>2</sub>	s/r	676	1053	1981	1306	988	1680
		R	1229	1507	1535	2550	2383	1613
P <sub>3</sub>	s/r	1077	1406	1350	1512	1641	1456	
	R	1254	2274	2349	2662	2115	1981	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	374	603	615	686	1027	815
		R	988	1049	1258	2260	1635	1546
	P <sub>1</sub>	s/r	438	924	1266	893	1138	1630
		R	1559	2049	2708	2227	2561	3270
	P <sub>2</sub>	s/r	562	1141	1366	1579	1233	1702
		R	1808	1527	2997	2952	1741	3689
P <sub>3</sub>	s/r	1004	1434	1663	1462	1758	1786	
	R	1888	1776	2029	2740	2439	2667	

Cuadro N° 10. Rendimientos de M.S. del 3er. y 4to. corte. Datos en kg/ha.

Corte			3			4		
Bloque			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	298	425	388	277	629	988
		R	745	1207	675	625	1299	1322
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	492	529	477	542	608	553
		R	1341	1431	663	625	1548	608
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	723	574	1200	553	582	1933
		R	1677	1796	1677	791	809	2307
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	2146	782	1207	1251	1095	1299
		R	2891	939	1908	1901	979	2610
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	104	484	1192	395	663	1548
		R	2168	2608	782	1315	1675	1382
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	954	328	1401	835	348	1635
		R	2109	1580	1843	1802	1448	1671
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	678	857	931	647	857	1542
		R	2146	3286	1490	1388	2246	1693
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	1490	1490	693	952	951	1034
		R	3733	2228	611	2212	1376	1582
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	499	522	134	570	702	166
		R	1624	1528	782	1276	1050	1355
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	604	939	1021	629	780	1012
		R	1677	3130	1848	787	1913	2516
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	1230	864	1080	1222	1050	1121
		R	2422	1483	2489	2073	1487	2954
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	1431	1856	887	553	1186	1941
		R	1706	1818	2489	1476	1527	2936

Cuadro N° 11. Rendimientos de alfalfa pura del 1er. y 2do. corte. Datos en kg/ha.

Corte			1			2		
Bloque			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	91	173	251	342	430	524
		R	429	602	438	1056	1507	1016
	P <sub>1</sub>	s/r	246	249	409	776	784	693
		R	264	611	596	1468	1625	1096
	P <sub>2</sub>	s/r	512	177	1518	980	628	1862
		R	883	1170	983	1592	2027	2147
	P <sub>3</sub>	s/r	615	664	425	1665	1405	1477
		R	1346	952	1049	2815	1978	2620
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	19	90	480	289	421	1064
		R	916	586	678	1871	1810	1458
	P <sub>1</sub>	s/r	400	205	766	1177	466	1936
		R	567	622	750	1558	1532	1526
	P <sub>2</sub>	s/r	662	565	753	1114	940	894
		R	919	868	684	2293	1732	1369
	P <sub>3</sub>	s/r	662	926	324	1331	1323	953
		R	1247	878	628	2362	1922	1556
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	159	219	201	423	449	465
		R	668	578	802	2181	1353	1240
	P <sub>1</sub>	s/r	247	232	751	723	895	1057
		R	1149	1311	2004	1935	2249	2892
	P <sub>2</sub>	s/r	503	436	620	1274	1122	1285
		R	800	1212	890	2459	1422	2970
	P <sub>3</sub>	s/r	514	805	1227	1179	1696	1358
		R	1061	533	1251	2390	2206	1885

Cuadro N° 12. Rendimientos de alfalfa pura del 3er. y 4to. corte. Datos en kg/ha.

Corte			3			4		
Bloque			I	II	III	I	II	III
Tratamiento								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	293	353	306	148	405	636
		R	645	1230	774	436	1150	568
	P <sub>1</sub>	s/r	408	460	419	343	381	218
		R	1355	1407	527	460	1295	297
	P <sub>2</sub>	s/r	706	534	1048	420	479	1510
		R	1547	1612	1480	642	691	1931
P <sub>3</sub>	s/r	1876	716	979	1143	941	1062	
	R	2469	918	1789	1817	772	1928	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	37	406	814	46	459	1017
		R	2084	2292	713	1141	1540	1030
	P <sub>1</sub>	s/r	922	280	1316	641	227	1175
		R	1774	1460	1184	1418	1423	1088
	P <sub>2</sub>	s/r	651	726	723	500	659	1015
		R	1783	2562	1202	1310	1938	1101
P <sub>3</sub>	s/r	1371	1370	603	972	790	779	
	R	3111	1937	465	1995	1474	1326	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	425	342	75	216	346	95
		R	1485	1383	722	1131	670	1190
	P <sub>1</sub>	s/r	484	713	970	532	700	859
		R	1630	2728	1751	747	1653	1970
	P <sub>2</sub>	s/r	1186	830	1010	982	1017	839
		R	1969	1357	2131	1798	1226	2434
P <sub>3</sub>	s/r	1359	1575	835	523	1141	1495	
	R	1413	1615	2254	1218	1466	2357	

Cuadro N° 13. Porcentajes de fósforo de cada corte

Corte	1			2			3			4		
	I	II	III									
<i>Tratamiento</i>												
C <sub>0</sub> P <sub>0</sub> s/r	0,240	0,244	0,249	0,137	0,204	0,154	0,154	0,150	0,141	0,150	0,176	0,191
R	0,286	0,264	0,286	0,235	0,160	0,246	0,246	0,211	0,167	0,205	0,174	0,194
P <sub>1</sub> s/r	0,273	0,240	0,253	0,193	0,160	0,188	0,169	0,167	0,178	0,205	0,119	0,202
R	0,238	0,266	0,253	0,232	0,252	0,255	0,196	0,211	0,185	0,196	0,183	0,213
P <sub>2</sub> s/r	0,180	0,255	0,233	0,146	0,235	0,207	0,180	0,189	0,180	0,172	0,209	0,216
R	0,174	0,242	0,235	0,210	0,246	0,218	0,198	0,165	0,169	0,251	0,220	0,231
P <sub>3</sub> s/r	0,275	0,229	0,242	0,143	0,168	0,196	0,165	0,174	0,150	0,180	0,200	0,209
R	0,255	0,275	0,251	0,244	0,199	0,269	0,209	0,185	0,187	0,187	0,213	0,218
C <sub>1</sub> P <sub>0</sub> s/r	0,207	0,370	0,271	0,154	0,146	0,188	0,165	0,161	0,189	0,163	0,143	0,196
R	0,279	0,332	0,211	0,238	0,221	0,235	0,191	0,152	0,194	0,191	0,154	0,211
P <sub>1</sub> s/r	0,233	0,231	0,147	0,179	0,174	0,190	0,163	0,189	0,189	0,152	0,169	0,189
R	0,273	0,198	0,277	0,246	0,227	0,238	0,202	0,196	0,202	0,196	0,187	0,222
P <sub>2</sub> s/r	0,222	0,294	0,275	0,210	0,204	0,322	0,180	0,180	0,222	0,213	0,187	0,231
R	0,308	0,205	0,312	0,241	0,216	0,244	0,220	0,198	0,269	0,207	0,145	0,238
P <sub>3</sub> s/r	0,191	0,218	0,268	0,176	0,204	0,165	0,185	0,172	0,185	0,187	0,189	0,198
R	0,242	0,266	0,266	0,188	0,230	0,224	0,211	0,218	0,211	0,156	0,211	0,235

// sigue

(continuación Cuadro N° 13)

Corte	1			2			3			4			
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
C <sub>2</sub> P <sub>0</sub>	s/r	0,238	0,191	0,279	0,165	0,157	0,168	0,154	0,158	0,180	0,165	0,163	0,240
	R	0,224	0,279	0,141	0,227	0,224	0,218	0,180	0,211	0,205	0,191	0,194	0,233
P <sub>1</sub>	s/r	0,200	0,231	0,227	0,165	0,168	0,227	0,189	0,196	0,165	0,165	0,169	0,222
	R	0,286	0,246	0,282	0,238	0,232	0,232	0,200	0,211	0,205	0,209	0,202	0,262
P <sub>2</sub>	s/r	0,255	0,211	0,213	0,174	0,190	0,193	0,187	0,167	0,132	0,174	0,207	0,222
	R	0,290	0,158	0,238	0,241	0,241	0,230	0,227	0,202	0,147	0,233	0,229	0,264
P <sub>3</sub>	s/r	0,249	0,248	0,286	0,232	0,210	0,202	0,150	0,200	0,183	0,189	0,183	0,224
	R	0,312	0,297	0,156	0,204	0,218	0,249	0,238	0,216	0,251	0,253	0,200	0,246

Cuadro N° 14. P absorbido en cada uno de los cortes  
Datos en kg/ha.

Corte			1			2			3			4		
			I	II	III									
Tratamiento														
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,22	0,42	0,62	0,47	0,88	0,81	0,45	0,53	0,43	0,22	0,71	1,22
		R	1,23	1,59	1,25	2,48	2,41	2,50	1,32	2,60	1,29	0,87	2,00	1,10
P <sub>1</sub>	s/r	0,67	0,60	1,04	1,50	1,26	1,30	0,69	0,77	0,75	0,70	0,45	0,44	
	R	0,63	1,62	1,50	3,40	4,10	2,80	2,65	2,97	0,97	0,90	2,36	0,63	
P <sub>2</sub>	s/r	0,92	0,45	3,54	1,43	1,48	3,85	1,27	1,01	1,89	0,72	1,00	3,26	
	R	1,54	2,83	2,31	3,34	4,99	4,68	3,06	2,66	2,51	1,61	1,52	4,46	
P <sub>3</sub>	s/r	1,69	1,52	1,03	2,38	2,36	2,89	3,10	1,24	1,46	2,06	1,88	2,22	
	R	3,44	2,62	2,63	6,87	3,94	7,05	5,16	1,70	3,34	3,40	1,65	4,20	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,04	0,33	1,30	0,44	0,62	2,00	0,06	0,65	1,54	0,07	0,66	1,99
		R	2,56	1,95	1,43	4,45	4,00	3,43	3,99	3,48	1,38	2,18	2,37	2,18
P <sub>1</sub>	s/r	0,93	0,47	1,13	2,11	0,81	3,68	1,50	0,53	2,49	0,97	0,38	2,22	
	R	1,55	1,23	2,08	3,83	3,50	3,63	3,59	2,86	2,40	2,78	2,66	2,42	
P <sub>2</sub>	s/r	1,47	1,27	2,07	2,34	1,92	2,88	1,17	1,31	1,61	1,07	1,23	2,01	
	R	2,83	1,78	2,14	5,52	3,74	3,34	3,92	5,07	2,51	2,71	2,81	2,59	
P <sub>3</sub>	s/r	1,27	2,02	0,87	2,34	2,70	1,57	2,53	2,35	1,11	1,82	1,50	1,54	
	R	3,02	2,34	1,67	4,44	4,42	3,48	6,57	4,22	0,98	3,12	3,11	3,12	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,38	0,42	0,56	0,70	0,70	0,78	0,66	0,54	0,14	0,36	0,56	0,23
		R	1,63	1,62	1,13	4,95	3,03	2,70	2,68	2,92	1,48	2,16	1,30	2,78
P <sub>1</sub>	s/r	0,49	0,54	1,70	1,19	1,50	2,40	0,92	1,40	1,60	0,88	1,19	1,91	
	R	3,28	3,23	5,64	4,60	5,22	6,71	3,26	5,76	3,58	1,56	3,35	5,16	
P <sub>2</sub>	s/r	1,28	0,92	1,32	2,22	2,13	2,48	2,22	1,39	1,33	1,71	2,10	1,86	
	R	2,32	1,92	2,12	5,93	3,43	6,83	4,46	2,75	3,14	4,19	2,81	6,43	
P <sub>3</sub>	s/r	1,28	2,00	3,51	2,74	3,56	2,74	2,03	3,15	1,52	0,99	2,08	3,36	
	R	3,31	1,58	1,95	4,87	4,81	4,69	3,36	3,48	5,65	3,08	2,93	5,81	

Cuadro N° 15. P total absorbido. Datos en kg/ha

Bloques		I		II		III	
Tratamientos		s/r	R	s/r	R	s/r	R
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	1,36	5,90	2,54	8,60	3,08	6,14
	P <sub>1</sub>	3,56	7,59	3,08	11,06	3,53	5,91
	P <sub>2</sub>	4,35	9,56	3,94	12,00	12,54	13,96
	P <sub>3</sub>	9,23	18,86	7,01	9,90	7,61	17,22
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	0,62	13,19	2,25	11,80	6,83	8,41
	P <sub>1</sub>	5,51	11,74	2,20	10,24	9,52	10,52
	P <sub>2</sub>	6,05	14,99	5,73	13,40	8,56	10,58
	P <sub>3</sub>	7,96	17,15	8,56	14,10	5,10	9,26
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	2,09	11,43	2,23	8,87	1,71	8,08
	P <sub>1</sub>	3,48	12,71	4,62	17,56	7,61	21,10
	P <sub>2</sub>	7,42	16,90	6,54	11,00	7,00	18,51
	P <sub>3</sub>	7,04	14,62	10,79	12,80	11,13	18,10

Cuadro N° 16. Análisis de varianza del P total absorbido

F. de V.	G.L.	C.M.	F <sub>0</sub>	Sig
Bloques	2	10,346292	1,77	N.S.
Cal	2	31,280063	5,36	*
Error (a)	4	5,840830		
P	3	106,619710	11,31	***
I. Cal x P	6	11,440843	1,21	N.S.
Error (b)	18	9,423782		
Ref.	1	808,683420	145,23	***
I. Cal x Ref	2	13,293735	2,39	N.S.
I. P x Ref.	3	0,659133	0,12	N.S.
I. Cal x P x Ref	6	7,303040	1,31	N.S.
Error (c)	24	5,568449		

Cuadro N° 17. Porcentaje de N de los cortes 1, 2 y 3

Corte			1			2			3		
Bloque			I	II	III	I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>											
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	2,98	3,73	2,98	3,19	3,43	3,02	3,78	3,93	3,63
		R	3,79	3,38	3,62	3,38	2,69	3,38	3,93	3,86	3,71
	P <sub>1</sub>	s/r	3,23	3,01	2,50	3,22	3,27	2,98	4,09	3,78	3,93
		R	3,69	3,32	3,91	3,46	3,36	3,16	3,78	4,09	3,71
	P <sub>2</sub>	s/r	4,29	3,05	2,92	3,23	3,85	3,34	4,01	4,16	3,78
		R	4,84	3,48	3,59	2,88	3,56	3,12	3,71	3,86	2,95
P <sub>3</sub>	s/r	2,92	4,07	3,12	3,20	3,02	3,26	3,78	3,86	4,09	
	R	4,63	3,20	3,67	3,29	3,45	3,56	3,78	3,86	3,71	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	3,67	1,58	3,44	2,71	3,19	2,98	3,56	3,40	3,93
		R	3,58	2,80	3,67	3,26	3,34	3,33	3,56	4,01	3,78
	P <sub>1</sub>	s/r	3,79	3,45	5,52	3,36	3,12	3,31	3,86	4,09	3,93
		R	3,11	4,46	3,73	3,46	3,60	3,49	4,01	3,78	4,16
	P <sub>2</sub>	s/r	3,63	3,38	3,76	3,56	3,25	3,42	3,93	3,71	4,01
		R	3,38	4,42	3,51	3,29	3,23	3,46	4,08	4,09	3,93
P <sub>3</sub>	s/r	3,83	3,77	2,81	3,16	3,42	4,18	4,16	3,71	4,01	
	R	3,52	3,32	3,90	3,26	3,36	3,02	3,93	4,09	3,78	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	3,72	3,45	2,91	3,12	3,02	3,22	3,71	3,40	3,93
		R	4,24	3,23	5,85	3,29	3,43	3,38	3,86	4,09	4,16
	P <sub>1</sub>	s/r	4,03	3,28	3,59	2,98	3,22	3,41	4,16	4,16	3,86
		R	4,00	3,85	3,53	3,57	3,49	3,29	3,71	4,01	4,01
	P <sub>2</sub>	s/r	3,38	3,59	3,81	3,29	3,33	3,09	3,71	3,48	3,86
		R	3,94	5,55	3,01	3,29	3,26	3,02	4,01	3,93	3,56
P <sub>3</sub>	s/r	2,87	3,93	3,28	3,40	3,19	3,45	4,38	4,24	4,16	
	R	3,38	3,11	5,52	3,31	3,70	3,89	4,31	4,24	4,01	

Cuadro N° 18. Porcentaje de K de los cortes 1 y 2

Bloque			Corte 1			Corte 2		
			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	2,32	2,35	3,08	2,00	2,70	2,76
		R	2,95	2,46	3,08	2,18	2,05	2,89
	P <sub>1</sub>	s/r	2,05	2,15	3,43	2,18	2,84	3,00
		R	2,68	2,75	3,14	2,40	2,76	2,95
	P <sub>2</sub>	s/r	2,88	2,78	2,88	2,35	2,76	3,00
		R	3,00	2,57	3,34	2,76	2,70	3,00
P <sub>3</sub>	s/r	2,46	3,26	3,08	2,18	2,35	2,76	
	R	3,10	3,30	3,10	2,11	2,53	2,99	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	2,35	3,86	3,36	2,11	2,84	2,84
		R	2,78	2,73	2,64	2,00	2,18	2,89
	P <sub>1</sub>	s/r	2,57	2,35	2,68	2,11	2,53	2,53
		R	2,32	2,52	3,28	2,35	2,65	2,53
	P <sub>2</sub>	s/r	2,88	3,30	3,30	2,64	2,55	2,40
		R	2,68	2,10	2,68	2,00	2,29	2,47
P <sub>3</sub>	s/r	2,75	3,08	3,08	1,95	2,89	2,35	
	R	2,78	2,84	3,52	2,40	3,00	3,06	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	2,75	2,40	2,95	1,95	2,40	2,84
		R	3,26	3,00	1,88	1,90	2,76	3,00
	P <sub>1</sub>	s/r	2,40	2,10	3,36	2,00	2,65	3,06
		R	3,43	3,30	3,07	2,18	2,76	3,00
	P <sub>2</sub>	s/r	2,88	2,68	2,78	2,29	2,95	2,70
		R	2,84	2,05	2,88	2,22	3,00	2,40
P <sub>3</sub>	s/r	2,23	2,73	3,22	2,59	2,59	2,76	
	R	2,52	1,69	2,27	2,00	2,47	2,84	

Cuadro N° 19. Análisis de varianza del porcentaje de K del 1er. y 2do. corte

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2		
		C.M.	Fo	Sig	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	0,77772	4,18	N.S.	2,23962	29,17	***
Cal	2	0,1851281	0,99	N.S.	0,075168	0,98	N.S.
Error (a)	4	0,1862619			0,0767837		
P	3	0,0197194	0,16	N.S.	0,0592791	0,91	N.S.
I. Cal x P	6	0,2906017	2,39	*	0,0818291	1,26	N.S.
Error (b)	18	0,1214145			0,0649458		
Ref.	1	0,0006722	0,0004	N.S.	0,0010125	0,03	N.S.
I. Cal x Ref.	2	0,3097337	1,82	N.S.	0,0049625	0,13	N.S.
I. P x Ref.	3	0,3239009	1,91	N.S.	0,0443088	1,16	N.S.
I. Cal x P x Ref.	6	0,1643387	0,97	N.S.	0,0894865	2,35	N.S.
Error (c)	24	0,1698687			0,038012		

Cuadro N° 20. Porcentaje de alfalfa pura por corte

Corte		1			2			3			4			
Bloque		I	II	III										
Tratamiento														
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	33,5	35,0	42,0	50,5	56,4	56,2	82,0	77,6	75,0	43,6	58,3	61,2
		R	72,0	57,6	45,2	81,2	84,2	62,0	79,0	95,6	92,5	59,0	72,7	42,0
	P <sub>1</sub>	s/r	54,2	62,2	29,7	65,3	66,4	59,0	73,0	81,0	84,0	60,5	59,3	43,7
		R	25,2	72,0	40,0	87,0	87,0	60,0	94,6	96,0	72,7	64,3	91,0	51,0
	P <sub>2</sub>	s/r	69,4	53,0	61,0	88,0	75,0	91,0	95,0	93,0	91,0	72,2	83,0	80,0
		R	72,7	76,5	57,8	93,0	91,0	79,0	98,6	98,0	91,0	90,0	86,2	98,2
P <sub>3</sub>	s/r	58,0	68,0	41,6	88,0	77,0	74,7	95,4	90,0	80,4	92,0	85,0	91,7	
	R	77,0	70,2	46,7	98,5	89,7	83,8	98,6	93,5	94,0	96,2	87,0	87,6	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	9,4	25,3	40,7	47,4	55,0	58,4	27,9	77,8	73,0	10,6	57,6	71,6
		R	74,0	70,0	33,0	89,8	90,6	70,7	94,0	97,3	91,5	88,3	93,4	82,0
	P <sub>1</sub>	s/r	55,5	42,0	40,7	78,0	63,0	82,4	88,0	78,5	91,0	65,0	50,0	73,6
		R	55,0	43,6	43,4	85,6	83,6	84,0	92,3	95,7	89,0	75,7	90,0	63,7
	P <sub>2</sub>	s/r	61,0	57,0	39,0	82,7	85,0	57,0	87,5	93,4	83,3	73,0	88,0	64,0
		R	79,5	68,6	45,7	92,3	78,0	86,6	95,4	94,3	86,8	95,0	99,0	61,9
P <sub>3</sub>	s/r	54,5	62,0	33,6	88,0	80,0	68,2	95,4	95,0	86,6	93,0	84,0	82,5	
	R	56,8	42,2	28,3	96,4	93,5	82,5	98,0	98,0	76,0	97,2	93,0	88,5	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	39,0	33,7	33,7	52,0	43,7	49,8	76,0	64,3	42,0	42,5	45,5	45,6
		R	66,0	58,6	53,8	91,4	80,3	77,8	95,6	92,0	88,3	80,5	62,6	87,3
	P <sub>1</sub>	s/r	50,0	29,5	56,6	69,0	71,0	76,0	74,7	91,0	95,3	78,0	85,0	96,0
		R	73,0	62,0	46,5	89,4	89,0	95,3	97,2	96,0	96,0	90,8	94,2	91,0
	P <sub>2</sub>	s/r	58,0	34,8	48,3	83,0	87,5	76,7	94,0	96,8	91,0	82,0	86,5	70,0
		R	50,7	62,7	31,0	89,0	91,7	83,0	96,0	95,5	94,8	94,3	97,0	89,4
P <sub>3</sub>	s/r	75,0	54,8	59,6	96,0	90,0	75,6	96,0	92,3	95,2	93,0	91,6	84,4	
	R	73,0	32,0	63,8	89,0	87,0	73,6	97,5	98,0	96,0	97,6	96,0	93,5	

ANEXO II - *[Faint text]*  
*[Faint text]*

	MAY	JUN	JUL	AGO
1987	1487	1508	1529	1550
1988	1508	1529	1550	1571
1989	1529	1550	1571	1592
1990	1550	1571	1592	1613
1991	1571	1592	1613	1634
1992	1592	1613	1634	1655
1993	1613	1634	1655	1676
1994	1634	1655	1676	1697
1995	1655	1676	1697	1718
1996	1676	1697	1718	1739
1997	1697	1718	1739	1760
1998	1718	1739	1760	1781
1999	1739	1760	1781	1802
2000	1760	1781	1802	1823
2001	1781	1802	1823	1844
2002	1802	1823	1844	1865
2003	1823	1844	1865	1886
2004	1844	1865	1886	1907
2005	1865	1886	1907	1928
2006	1886	1907	1928	1949
2007	1907	1928	1949	1970
2008	1928	1949	1970	1991
2009	1949	1970	1991	2012

APENDICE B - JOANICO

Cuadro N° 21. P disponible en el suelo en el momento de la  
refertilización. Datos en ppm.

Tratamiento		Bloque		
		I	II	III
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	10,45	20,57	8,99
C <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	10,56	7,31	25,40
C <sub>0</sub>	P <sub>2</sub>	18,77	13,15	16,52
C <sub>0</sub>	P <sub>3</sub>	20,57	7,42	20,34
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	18,43	7,31	9,33
C <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	7,30	12,48	7,31
C <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	12,93	23,15	6,86
C <sub>1</sub>	P <sub>3</sub>	12,48	32,15	21,36
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	22,93	4,50	7,19
C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	11,58	13,94	17,08
C <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	13,94	25,63	5,17
C <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	25,40	11,01	9,78

Cuadro N° 22. Análisis de varianza del P disponible en el suelo en el momento de la refertilización

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	20,669	0,274	N.S.
Cal	2	3,202	0,042	N.S.
E(a)	4	75,295		
P	3	61,876	1,066	N.S.
Cal x P	6	23,232	0,400	N.S.
E(b)	18	58,056		

Cuadro N° 23. Rendimientos de M.S. de los cortes 1 y 2.  
 Datos en kg/ha.

Corte			1			2		
Bloque			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	667	2260	1874	1271	2100	1364
		R	788	2343	1191	1550	2393	1579
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	1158	2398	2007	1314	1707	1807
		R	1075	1819	1257	1636	1921	1221
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	1577	2029	1836	1393	1707	1350
		R	1378	1433	1775	1479	1486	1386
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	1461	1345	1819	2079	2171	1586
		R	1770	1599	1626	2171	1979	1650
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	1566	2068	1168	1707	1129	1307
		R	2134	1560	2023	1386	1064	1314
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	2040	2106	1505	1714	1871	2300
		R	2205	2442	1698	1721	1907	2079
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	1985	2729	1836	2071	1610	1850
		R	1968	2316	2062	1814	2157	1843
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	1489	2258	2448	1707	1829	1386
		R	910	1957	2327	1664	1671	1779
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	1461	1489	1466	1650	1807	1964
		R	1841	2040	1114	1779	2371	2507
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	1796	1693	1505	1571	1729	1786
		R	2128	2481	2227	1757	1900	1986
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	1985	2591	1737	2243	2143	2100
		R	2101	3242	2415	1964	2614	1814
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	1505	1886	2817	1929	1900	2229
		R	2178	2316	3005	1564	1957	3134

Cuadro N° 24. Rendimientos de M.S. de los cortes 3 y 4.  
 Datos en kg/ha

Corte			3			4		
			I	II	III	I	II	III
Tratamiento								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	548	1005	465	584	1207	1045
		R	607	1199	420	578	1116	798
P <sub>1</sub>	s/r		550	884	498	824	1311	1045
		R	620	1051	311	623	1045	733
P <sub>2</sub>	s/r		502	819	489	1012	1012	915
		R	491	641	458	844	935	980
P <sub>3</sub>	s/r		528	1044	660	474	818	591
		R	366	527	643	701	623	493
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	851	522	459	705	902	753
		R	810	353	506	980	948	1058
P <sub>1</sub>	s/r		774	762	605	974	818	370
		R	652	805	828	883	656	623
P <sub>2</sub>	s/r		598	1194	230	844	1266	766
		R	810	913	580	435	1012	1220
P <sub>3</sub>	s/r		561	852	774	705	1077	883
		R	915	777	593	811	1110	883
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	800	452	430	870	428	208
		R	912	710	546	1175	831	227
P <sub>1</sub>	s/r		488	502	642	363	1012	701
		R	885	618	794	720	1188	493
P <sub>2</sub>	s/r		853	684	631	948	1045	675
		R	1034	979	618	1012	1253	1012
P <sub>3</sub>	s/r		1128	634	454	896	902	870
		R	574	632	838	809	1045	688

Cuadro N° 25. Rendimientos de alfalfa pura para los cortes 1 y 2. Datos en kg/ha.

Corte			1			2		
			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	86	594	539	867	1275	930
		R	204	411	391	1077	1784	1126
	P <sub>1</sub>	s/r	79	468	107	810	1123	1243
		R	248	158	198	1090	1461	1031
	P <sub>2</sub>	s/r	45	170	143	861	1249	908
		R	88	218	138	921	1113	913
P <sub>3</sub>	s/r	346	246	346	1535	1632	1083	
	R	457	190	191	1162	930	1168	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	86	247	325	1306	759	1005
		R	226	110	446	905	685	802
	P <sub>1</sub>	s/r	66	355	452	1123	1379	1489
		R	127	431	416	923	1311	1482
	P <sub>2</sub>	s/r	180	479	455	1074	1640	1345
		R	221	285	625	1099	1504	1493
P <sub>3</sub>	s/r	219	598	245	999	1424	887	
	R	115	330	772	949	1268	1352	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	222	220	323	1084	1470	1586
		R	467	583	466	1184	1604	1571
	P <sub>1</sub>	s/r	105	316	163	1072	1429	1149
		R	484	254	121	1181	1513	1486
	P <sub>2</sub>	s/r	222	243	613	1739	1616	1864
		R	517	688	162	1445	1876	1295
P <sub>3</sub>	s/r	398	378	563	1423	1296	1639	
	R	389	352	887	1044	1562	2307	

Cuadro N° 26. Rendimiento de alfalfa pura del corte 4.  
Datos en kg/ha.

Corte			4		
Bloque			I	II	III
<i>Tratamiento</i>					
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	509	1162	994
		R	543	1130	774
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	720	1297	1020
		R	448	922	702
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	952	974	828
		R	793	737	900
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	492	760	500
		R	657	632	439
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	673	888	747
		R	985	774	935
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	918	768	371
		R	818	661	594
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	833	1206	735
		R	422	1000	977
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	812	1052	831
		R	900	1076	831
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	849	424	206
		R	890	788	212
P <sub>1</sub>	s/r	s/r	370	989	676
		R	701	1164	445
P <sub>2</sub>	s/r	s/r	950	1018	646
		R	998	1118	915
P <sub>3</sub>	s/r	s/r	821	877	771
		R	744	983	582

Cuadro N° 27. Análisis de varianza de los rendimientos de M.S.  
de las parcelas s/r de los cortes 1 y 2.

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2		
		C.M.	Fo	Sig.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	792975,091	4,19	N.S.	23701,693	0,18	N.S.
Cal	2	159616,747	0,84	N.S.	239401,644	1,85	N.S.
E(a)	4	189040,264			129233,472		
Fósforo	3	360139,069	2,15	N.S.	137612,568	2,53	*
Cal x Fósforo	6	96234,831	0,58	N.S.	154991,811	2,85	**
E(b)	18	167166,343			54417,031		

Cuadro N° 28. Análisis de varianza de los rendimientos de M.S.  
de las parcelas s/r de los cortes 3 y 4

F. de V.	G.L.	Corte 3			Corte 4		
		C.M.	Fo	Sig	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	192710,007	1,73	N.S.	112987,065	2,39	N.S.
Cal	2	4963,220	0,04	N.S.	87453,278	1,85	N.S.
E(a)	4	111350,800			47269,032		
Fósforo	3	26120,409	0,74	N.S.	82226,529	1,24	N.S.
Cal x Fósforo	6	12463,898	0,35	N.S.	139663,760	2,10	N.S.
E(b)	18	35288,212			66382,936		

Cuadro N° 29. Análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura de las parcelas s/r de los cortes 1 y 2.

F. de V.	G.L.	Corte 1			Corte 2		
		C.M.	Fo	Sig	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	139401,550	7,16	**	119802,721	3,08	N.S.
Cal	2	8991,393	0,46	N.S.	337516,581	8,68	**
E(a)	4	19474,719			38899,558		
Fósforo	3	28703,756	1,66	N.S.	97798,750	1,95	N.S.
Cal x Fósforo	6	34260,386	1,98	N.S.	120176,215	2,39	*
E(b)	18	17304,434			50186,699		

Cuadro N° 30. Análisis de varianza de los rendimientos de alfalfa pura de las parcelas s/r del corte 4

F. de V.	G.L.	C.M.	Fo	Sig
Bloques	2	225021,968	5,52	*
Cal	2	59266,720	1,45	N.S.
E(a)	4	40759,469		
Fósforo	3	56604,816	1,51	N.S.
Cal x Fósforo	6	85399,928	2,28	*
E(b)	18	37502,787		

Cuadro N° 31. Rendimientos promedio de M.S. total para los distintos tratamientos de Cal y P. Datos en kg/ha.

Tratamiento	Co	C1	C2	$\bar{x}$
P <sub>0</sub>	4797	4379	4342	4507
P <sub>1</sub>	5168	5280	4596	5015
P <sub>2</sub>	4881	5660	5878	5473
P <sub>3</sub>	4859	5323	5716	5299
$\bar{x}$	4926	5160	5133	

Cuadro N° 32. Rendimientos promedio de alfalfa pura total para los distintos tratamientos de Cal y P. Datos en kg/ha.

Tratamiento	Co	C1	C2	$\bar{x}$
P <sub>0</sub>	2991	2623	2689	2768
P <sub>1</sub>	2933	3021	2634	2862
P <sub>2</sub>	2646	3323	3693	3221
P <sub>3</sub>	3058	3084	3460	3200
$\bar{x}$	2907	3013	3119	

Cuadro N° 33. Porcentaje de P del 1er. y 2do. corte

Corte			1			2		
Bloque			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,337	0,310	0,209	0,258	0,300	0,213
		R	0,268	0,301	0,348	0,218	0,263	0,294
	P <sub>1</sub>	s/r	0,328	0,264	0,295	0,266	0,272	0,302
		R	0,350	0,317	0,315	0,249	0,260	0,174
	P <sub>2</sub>	s/r	0,354	0,266	0,262	0,280	0,252	0,288
		R	0,310	0,178	0,233	0,280	0,274	0,300
P <sub>3</sub>	s/r	0,328	0,359	0,348	0,274	0,283	0,280	
	R	0,345	0,154	0,444	0,244	0,266	0,255	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,251	0,277	0,242	0,260	0,255	0,216
		R	0,253	0,330	0,323	0,305	0,224	0,300
	P <sub>1</sub>	s/r	0,383	0,328	0,361	0,288	0,274	0,260
		R	0,389	0,425	0,326	0,302	0,260	0,238
	P <sub>2</sub>	s/r	0,376	0,277	0,246	0,266	0,269	0,216
		R	0,343	0,284	0,277	0,328	0,255	0,230
P <sub>3</sub>	s/r	0,356	0,271	0,301	0,255	0,297	0,272	
	R	0,297	0,255	0,271	0,277	0,263	0,272	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,530	0,323	0,304	0,288	0,188	0,221
		R	0,334	0,290	0,257	0,266	0,221	0,238
	P <sub>1</sub>	s/r	0,394	0,268	0,293	0,235	0,274	0,308
		R	0,304	0,251	0,348	0,311	0,269	0,288
	P <sub>2</sub>	s/r	0,451	0,117	0,295	0,300	0,283	0,232
		R	0,244	0,286	0,297	0,300	0,260	0,280
P <sub>3</sub>	s/r	0,383	0,304	0,235	0,288	0,266	0,316	
	R	0,361	0,323	0,260	0,308	0,269	0,288	

Cuadro N° 34. Porcentaje de P del 3er. y 4to. corte

Corte		3			4			
Bloque		I	II	III	I	II	III	
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,198	0,191	0,167	0,275	0,251	0,229
		R	0,200	0,227	0,172	0,277	0,308	0,257
	P <sub>1</sub>	s/r	0,185	0,191	0,209	0,284	0,341	0,299
		R	0,187	0,196	0,216	0,326	0,279	0,266
	P <sub>2</sub>	s/r	0,207	0,180	0,229	0,277	0,257	0,284
		R	0,233	0,202	0,209	0,299	0,273	0,277
P <sub>3</sub>	s/r	0,224	0,217	0,209	0,268	0,295	0,284	
	R	0,222	0,218	0,207	0,301	0,299	0,337	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,218	0,156	0,200	0,279	0,249	0,249
		R	0,198	0,176	0,207	0,323	0,310	0,286
	P <sub>1</sub>	s/r	0,216	0,207	0,196	0,312	0,255	0,262
		R	0,207	0,202	0,207	0,332	0,253	0,297
	P <sub>2</sub>	s/r	0,220	0,224	0,198	0,297	0,288	0,240
		R	0,196	0,200	0,189	0,257	0,304	0,264
P <sub>3</sub>	s/r	0,183	0,211	0,227	0,301	0,319	0,307	
	R	0,202	0,189	0,242	0,301	0,304	0,323	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,189	0,169	0,176	0,310	0,242	0,249
		R	0,189	0,200	0,174	0,273	0,290	0,295
	P <sub>1</sub>	s/r	0,205	0,211	0,207	0,279	0,286	0,271
		R	0,198	0,224	0,211	0,301	0,350	0,319
	P <sub>2</sub>	s/r	0,227	0,215	0,191	0,312	0,328	0,242
		R	0,207	0,231	0,207	0,273	0,337	0,262
P <sub>3</sub>	s/r	0,107	0,207	0,198	0,345	0,257	0,304	
	R	0,202	0,211	0,211	0,319	0,282	0,345	

Cuadro N° 35. P absorbido en el 1er. y 2do. corte. Datos en kg/ha.

Corte			1			2		
Bloque			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,39	2,35	1,43	2,24	3,28	1,98
		R	0,70	1,58	1,73	2,35	4,69	3,31
	P <sub>1</sub>	s/r	0,33	1,57	0,40	2,15	3,05	3,75
		R	1,10	0,64	0,79	2,72	3,80	1,79
	P <sub>2</sub>	s/r	0,20	0,58	0,48	2,41	3,15	2,61
		R	0,35	0,50	0,41	2,58	3,05	2,74
P <sub>3</sub>	s/r	1,44	1,12	1,53	4,21	4,62	3,03	
	R	2,01	0,37	1,08	2,84	2,47	2,98	
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	0,28	0,87	1,00	3,40	1,94	2,17
		R	0,73	0,46	1,84	2,76	1,53	2,41
	P <sub>1</sub>	s/r	0,32	1,48	2,07	3,24	3,78	3,87
		R	0,63	2,33	1,72	2,79	3,41	3,53
	P <sub>2</sub>	s/r	0,86	1,69	1,43	2,86	4,41	2,90
		R	0,96	1,03	2,21	3,61	3,84	3,43
P <sub>3</sub>	s/r	0,99	2,06	0,94	2,55	4,23	2,41	
	R	0,44	1,07	2,66	2,63	3,33	3,68	
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	1,50	0,91	1,25	3,12	2,76	3,50
		R	1,99	2,16	1,53	3,15	3,55	3,74
	P <sub>1</sub>	s/r	0,52	1,08	0,61	2,52	3,91	3,54
		R	1,87	0,81	0,54	3,67	4,07	4,28
	P <sub>2</sub>	s/r	1,27	0,36	2,30	5,22	4,57	4,32
		R	1,61	2,50	0,61	4,34	4,88	3,63
P <sub>3</sub>	s/r	1,94	1,46	1,69	4,10	3,45	5,18	
	R	1,78	1,45	2,93	3,22	4,20	6,64	

Cuadro N° 36. *P* absorbido en el 3er. y 4to. corte. Datos en kg/ha.

Corte			3			4		
Bloque			I	II	III	I	II	III
<i>Tratamiento</i>								
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	1,08	1,92	0,78	1,40	2,91	2,27
		R	1,22	2,72	0,72	1,50	3,48	1,99
	P <sub>1</sub>	s/r	1,02	1,69	1,04	2,04	4,42	3,05
		R	1,16	2,06	0,67	1,46	2,58	1,87
	P <sub>2</sub>	s/r	1,04	1,48	1,12	2,64	2,51	2,35
		R	1,15	1,30	0,96	2,37	2,01	2,49
	P <sub>3</sub>	s/r	1,19	2,27	1,38	1,33	2,24	1,42
		R	0,81	1,04	1,33	1,98	1,89	1,48
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	1,85	0,82	0,92	1,88	2,26	1,86
		R	1,60	0,62	1,04	3,18	2,40	2,67
	P <sub>1</sub>	s/r	1,67	1,58	1,18	2,87	1,96	0,97
		R	1,35	1,63	1,71	2,72	1,67	1,76
	P <sub>2</sub>	s/r	1,32	2,68	0,46	2,47	3,48	1,76
		R	1,59	1,83	1,10	1,09	3,04	2,58
	P <sub>3</sub>	s/r	1,02	1,80	1,75	2,45	3,35	2,55
		R	1,85	1,47	1,44	2,71	3,27	2,69
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	1,51	0,77	0,76	2,63	1,02	0,51
		R	1,73	1,42	0,95	2,43	2,29	0,63
	P <sub>1</sub>	s/r	1,00	1,06	1,33	1,03	2,83	1,83
		R	1,75	1,39	1,68	2,11	4,07	1,42
	P <sub>2</sub>	s/r	1,99	1,48	1,21	2,97	3,34	1,56
		R	2,14	2,26	1,28	2,72	3,76	2,40
	P <sub>3</sub>	s/r	2,33	1,31	0,90	2,84	2,26	2,34
		R	1,16	1,33	1,77	2,37	2,77	2,01

Cuadro N° 37. P total absorbido. Datos en kg/ha.

Bloque		I		II		III	
Tratamiento		s/r	R	s/r	R	s/r	R
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	5,10	5,77	10,47	12,47	6,46	7,75
	P <sub>1</sub>	5,54	6,44	10,74	9,07	8,25	5,12
	P <sub>2</sub>	6,29	6,45	7,71	6,85	6,56	6,60
	P <sub>3</sub>	8,16	7,64	10,26	5,78	7,36	6,87
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	7,40	8,28	5,89	5,02	5,95	7,95
	P <sub>1</sub>	8,09	7,48	8,79	9,04	8,10	8,72
	P <sub>2</sub>	7,51	7,24	12,26	9,73	6,55	9,32
	P <sub>3</sub>	7,01	7,63	11,44	9,14	7,66	10,46
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	8,77	9,30	5,46	9,41	6,02	6,84
	P <sub>1</sub>	5,08	9,41	8,89	10,34	7,30	7,91
	P <sub>2</sub>	11,39	10,80	9,74	13,40	9,39	7,91
	P <sub>3</sub>	11,20	8,53	8,47	9,75	10,11	13,35

Cuadro N° 38. Porcentaje de N del 1er. y 2do. corte.

Corte			1			2			
Bloque			I	II	III	I	II	III	
<i>Tratamiento</i>									
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	3,33	3,57	3,09	3,17	3,40	3,63	
		R	3,48	3,77	3,19	3,57	3,48	3,90	
	P <sub>1</sub>	s/r	3,22	3,88	3,64	3,64	3,78	3,58	
		R	3,19	3,81	4,22	4,39	3,67	3,63	
	P <sub>2</sub>	s/r	5,01	2,78	3,57	3,78	3,40	3,63	
		R	3,43	6,76	3,40	3,01	3,71	3,67	
	P <sub>3</sub>	s/r	3,26	3,40	4,70	3,56	3,78	4,01	
		R	3,40	5,93	3,64	3,74	3,86	3,93	
	C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	s/r	2,74	7,37	3,64	3,37	3,56	3,50
			R	3,98	3,64	3,26	3,01	3,27	3,63
		P <sub>1</sub>	s/r	3,94	3,29	3,02	3,52	3,17	3,78
			R	3,84	3,40	3,70	3,57	3,56	3,30
P <sub>2</sub>		s/r	3,50	3,33	3,46	3,63	3,12	3,71	
		R	3,94	3,77	3,90	2,95	3,23	3,42	
P <sub>3</sub>		s/r	3,47	3,50	3,70	3,56	3,47	2,44	
		R	3,98	4,63	4,08	3,24	3,89	3,07	
C <sub>2</sub>		P <sub>0</sub>	s/r	3,74	3,57	3,39	3,74	3,34	3,44
			R	4,01	3,77	3,12	3,37	3,85	3,60
		P <sub>1</sub>	s/r	4,02	3,33	3,81	3,54	3,24	3,56
			R	4,42	3,57	2,54	3,20	3,27	4,08
	P <sub>2</sub>	s/r	3,67	3,33	2,85	3,48	3,54	3,14	
		R	3,74	3,05	3,88	3,93	4,08	3,34	
	P <sub>3</sub>	s/r	4,70	3,19	3,40	3,81	3,63	4,31	
		R	4,22	3,25	4,01	3,20	3,40	3,70	

Cuadro N° 39. N absorbido en el 2do. corte. Datos en kg/ha.

Bloques		I		II		III	
Tratamiento		s/r	R	s/r	R	s/r	R
C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	27,50	38,45	43,34	62,09	33,75	43,91
	P <sub>1</sub>	29,47	47,87	42,45	53,62	44,50	37,42
	P <sub>2</sub>	32,54	27,73	42,48	41,30	32,95	33,50
	P <sub>3</sub>	54,65	43,46	61,69	35,89	43,43	45,89
C <sub>1</sub>	P <sub>0</sub>	44,02	27,25	27,03	42,87	35,17	29,12
	P <sub>1</sub>	39,54	32,95	43,71	46,67	56,29	48,92
	P <sub>2</sub>	38,97	32,43	51,17	48,58	49,90	51,05
	P <sub>3</sub>	35,57	30,73	49,40	49,32	21,65	41,50
C <sub>2</sub>	P <sub>0</sub>	40,54	39,92	49,09	61,77	54,56	56,57
	P <sub>1</sub>	37,97	37,80	46,29	49,47	40,89	60,64
	P <sub>2</sub>	60,53	56,80	57,22	76,53	58,53	43,26
	P <sub>3</sub>	54,22	33,40	47,04	53,09	70,63	85,35

## VII, LITERATURA CITADA

1. ADAMS, F. and PEARSON, R.W. Crop response to lime in the Southern United States and Puerto Rico. In Pearson, R.W. and Adams, F., eds. Soil acidity and liming. Madison, Wis. ASA, 1967. pp. 161-206.
2. AMBROSONI, J. Efectos del encalado y la fertilización fosfatada en alfalfa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1979. 65 p.
3. BARROW, N.J. The slow reactions between soil and anions. I. Effects of time, temperature and water content of a soil on the decrease in effectiveness of phosphate for plant growth. Soil Science 118(6):380-386. 1974.
4. \_\_\_\_\_ and CARTER, E.D. A modified model for evaluating residual phosphate in soils. Australian Journal of Agricultural Research 29(5):1011-1021. 1979.
5. BARROWS, H.L., TAYLOR, A.W. and SIMPSON, T.S. Interaction of limestone particle size on phosphorus on the control of soil acidity. Soil Science Society of America Proceedings 32(1):64-68. 1968.
6. BARSHAD, I. Factors affecting the molybdenum content of pasture plants. I. Nature of soil molybdenum, growth of plant and soil pH. Soil Science 71:297-313. 1951.

7. BIANCO, L.E. y LOZA, W.L. Efecto residual del encalado y de la fertilización fosfatada y efecto de la referertilización en alfalfa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1979. 106 p.
8. BINGHAM, F.T. and GARBER, M.J. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. Soil Science Society of America Proceedings 24(3): 209-213. 1960.
9. BLACK, C.A. Relaciones suelo-planta. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1975. 2 v.
10. BROWNLEE, H. et al. Effects of topdressed 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.
11. BURTON, V.C. Nodulation and symbiotic nitrogen fixation. In Hansen, C.H., ed. Alfalfa science and technology. Madison, Wis., ASA, 1972. pp.229-246.
12. CALRKSON, N.M. and ANDREW, C.S. Mineral nutrition and persistence of lucerne on the granitic belt of south east Queensland. Tropical Grassland 13(2):75-81. 1979.
13. CASTRO, J.L., ZAMUS, E.M. de y BARBOZA, S. Fertilización de pasturas en el litoral oeste de Uruguay. Investigaciones Agronómicas (Uruguay) no. 1:56-67. 1981.

14. CURLL, M.L. and SMITH, A.N. Topdressing requirements of established perennial pastures with a substantial history of superphosphate use. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 17(89): 969-975. 1973.
15. CRUZ, E. de S. e STAMMEL, J.G. Efeito residual da calagem em solos de diferentes classes texturais. Anuário Técnico do Instituto de Pesquisas Zootécnicas "Francisco Osorio" (Brasil) 5(1): 225-310. 1978.
16. CHAFFIN, W. Liming soils for better farming. Oklahoma University Agricultural Experiment Station. Circular no. 625. 1954. 19 p.
17. DIEZ, J.A. Influencia del pH, arcilla y mecanismos de reacción del fósforo en el suelo sobre la capacidad tampón del ión fosfato. Anales de Edafología y Agrobiología 38 (1/2): 221-231. 1979.
18. DIONNE, J.L. et ROLA-PLESZCYNKY, S.S. Comportement différentiel de la Luzerne en regard du chaulage sur cinq types de soils du Quebec. Canadian Journal of Soil Science 44:119-130. 1963.
19. ESCUDERO, J. y MORON, A. Caracterización de la capacidad de fijación de fósforo en distintos suelos de Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1978. 100 p.

20. ESTEBAN, E. y AGUILAR, A. Estudio de la nutrición de la alfalfa. I. Importancia del equilibrio fisiológico. *Agrochimica* 21(6):523-528. 1977.
21. FASSBENDER, H.W. Química de suelos con énfasis en América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1975. pp. 168-365.
22. GACHON, L. The usefulness of a good level of soil phosphate reserves. *Phosphorus in Agriculture* 31(70): 25-30. 1977.
23. GIDDENS, J. and PERKINS, H.F. Influence of molybdenum on growth and composition of alfalfa and distribution of molybdenum in a Cecil-Lloyd soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 24(6):496-497. 1960.
24. HELYAR, K.R. and ANDERSON, A.J. Effects of lime on the growth of five species on aluminium toxicity and phosphorus availability. *Australian Journal of Agricultural Research* 22(5):707-721. 1971.
25. \_\_\_\_\_ and \_\_\_\_\_. Effects of calcium carbonate on the availability of nutrient in an acid soil. *Soil Science Society of America Proceeding* 38(2):341-346. 1974.
26. HOLFORD, I.C.R. and GLEESON, A.C. Residual effectiveness of phosphorus on white clover on granitic soils. *Australian Journal of Agricultural Research* 27(4):509-518. 1976.

27. HOURIGAN, W.B. et al. Growth and Ca uptake by plants as affected by rates and depth of liming. Soil Science Society of America Proceedings 25(6):491-494. 1961.
28. JO, J., YOSHIDA, S. and KAYAMA, R. Acidity tolerance and symbiotic nitrogen fixation capacity of some varieties of alfalfa. Journal of Japanese Society of Grassland Science 26(2): 174-178. 1980.
29. JOE, W.H.E. and ALLEN, J.R. Effect of soil pH on plant growth and tannin of cowpea (*Vigna unguiculata*). Communications in Soil Science and Plant Analysis 11 (11): 1077-1085. 1980.
30. KAMPRATH, E.J., NELSON, W.L. and FITTS, J.W. The effect of pH, sulfate and phosphate concentrations on the adsorption of sulfate by soils. Soil Science Society of America Proceedings 20(4):463-466. 1956.
31. \_\_\_\_\_. Residual effect of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Agronomy Journal 59(1):25-27. 1967.
32. KLIEWER, W.M., and KENNEDY, W.K. Studies on response of legumes to molybdenum and lime fertilization on Mar din Silt Loam Soil. Soil Science Society of America Proceedings 24(5): 377-380. 1960.
33. KOWALENKO, C.G., MAAS, E.F. and VAN LAERHOVEN, C.I. Residual effects of high rates of limestone, P, K and Mg applications; evidence of induced Mn and Zn deficiency in oats. Canadian Journal of Soil Science 60(4): 757-761. 1980.

34. LANGER, R.H.M. Alfalfa. In \_\_\_\_\_. Las pasturas y sus plantas. Montevideo, Hemisferio Sur, 1981. pp. 417-437.
35. LAWTON, K., TESAR, M.B. and KAWIN, B. Effect of rate and placement of superphosphate on the yield and phosphorus absorption of legume hay. Soil Science Society of America Proceedings 18(4):428-433. 1954.
36. LIM, K.L. and SHEW, T.C. Lime and P applications and their residual effects on corn yields. Agronomy Journal 70(6):927-932. 1978.
37. McLACHLAN, K.D. and NORMAN, B.W. The influence of rate and frequency of superphosphate applications on pasture yields. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 4(13):152-157. 1964.
38. \_\_\_\_\_. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. Australian Journal of Agricultural Research 27(3):323-341. 1976.
39. \_\_\_\_\_. Nutrient problems in sown pasture on an acid soil. II. Role of lime and superphosphate. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 20(106): 568-575. 1980.
40. MAHILUM, B., FOX, R. and SILVA, J. Residual effect of liming volcanic ash soils in the humid tropics. Soil Science 109(2):102-109. 1970.

41. MALLARINO, A., ZAMALVIDE, J.P. y CASANOVA, O.N. Encalado y fertilización fosfatada de alfalfa. In Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, 1a., Montevideo, 1978. Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1978. v.2.
42. MANDAL, S.K. and DRY, S.K. Effect of liming on phosphate transformation and availability in acid tea soils. Two and a Bud (India) 26(1): 5-7. 1979.
43. MENDEZ, J. and KAMPRATH, E.J. Liming of Latosoles and the effect on phosphorus response. Soil Science Society of America Journal 42(1): 86-88. 1978.
44. MOSCHLER, W.W., TONES, G.D. and THOMAS, G.W. Lime and soil acidity on alfalfa grown in a red yellow Podzolic soil. Soil Science Society of America Proceedings 24(6): 507-509. 1960.
45. MUNNS, D.N. Soil acidity and growth of a legume. II. Relations of aluminium and phosphate in solution and effects of aluminium phosphate, calcium and pH on *M. sativa* L. and *Trifolium subterraneum* L. in solution culture. Australian Journal of Agricultural Research 16(5):743-755. 1965a.
46. \_\_\_\_\_. Soil acidity and growth of a legume. III. Interactions of lime and phosphate on growth of *Medicago sativa* in relation to aluminium toxicity and phosphate fixation. Australian Journal of Agricultural Research 16(5): 755-766. 1965b.

47. MUNNS, D.N. Nodulation of *M. sativa* in solution culture V. Calcium and pH requirements during infection. *Plant and Soil* 32(1): 90-102. 1968.
48. NICHOLAIDES, J.J., FISKELL, J.G.A. and MARTIN, F.G. Corn response to S. coated and non-coated superphosphates and residual effects. *Agronomy Journal* 71(6):1021-1026. 1979.
49. NOVAIS, R. and KAMPRATH, E.J. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 42(6):931-935. 1978.
50. NUTTALL, W.F. Effect of soil moisture tension and amendments on yields and on herbage N, P and S concentrations of alfalfa. *Agronomy Journal* 68(5):741-744. 1976.
51. PALGI, E. y VADORA, M.L. Efectos del encalado y fertilización fosfatada en alfalfa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1979. 92 p.
52. PEARSON, R.W. Liming and fertilizer efficiency. *Agronomy Journal* 50(7):356-362. 1958.
53. PECK, N.H. Removal of ten elements by vegetables and by alfalfa. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103(6):809-812. 1978.

54. PROBERT, M.E., WINTER, W.H., and JONES, R.K. Plant nutrition studies on some yellow and red earth soils in northern Cape York Peninsula. 3. Effect of liming and placement on responses to applied phosphorus. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 19:583-589. 1979.
55. RAINS, D.W., SCHMID, W.E. and EPSTEIN, E. Absorption of cations by roots; effects of hydrogen ions and essential role of calcium. Plant Physiology 39(2): 274-278. 1964.
56. REHM, G.W. and SORENSEN, R.C. Effect of the applications of phosphorus, potassium and sulfur to alfalfa grown on calcareous silt loam. Soil Science 117(1):58-65. 1974.
57. RHYKERD, C.L. and OVERDAHL, C.J. Nutrition and fertilizer use. In Hanson, C.H., ed. Alfalfa science and technology. Madison, Wis., American Society of Agronomy, 1972.
58. SALINAS, J.G. et al. Residual effects of lime rate and incorporation depths. North Carolina University. Annual Report; 1976-77. 1978. pp. 81-98.
59. SANDAL, P.C. and GAREY, C.L. Effect of topdressing permanent pastures with superphosphate on beef yields and distribution of available  $P_2O_5$  in the soil. Agronomy Journal 47(5): 229-231. 1955.

60. SEAY, W.A. and WEEKS, M.E. The effect of time of top-dressing on uptake of phosphorus and potassium by an established stand of alfalfa. Soil Science Society of America Proceedings 19(4):458-461. 1955.
61. SINGH, R.N. and SEATZ, U.F. Alfalfa yield and composition after different times and rates of lime and phosphorus applications. Soil Science Society of America Proceedings 24(4):307-309. 1961.
62. SNYDER, G.H., KRETSCHMER JUNIOR, A.E. and SARTAIN, J.B. Field response of four tropical legumes to lime and superphosphate. Agronomy Journal 70(2):269-273. 1978.
63. SOROUR, F.A., SALMAN, A.J. and EL-FALEIT, J.K. Effect of the method of application of supplementary phosphorus on the yield and nutritive value of alfalfa. Lybian Journal of Agriculture 6(1):169-173. 1977.
64. SPRATT, E.D. et al. Measurement of fertilizer phosphorus residues and its utilization. Soil Science Society of America Journal 44(6):1200-1204. 1980.
65. STANFORD, G. and NELSON, L.B. Utilization of phosphorus from various fertilizer materials. III. Oats and alfalfa in Iowa. Soil Science 68:157. 1954.
66. SUMMER, M.E. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. Agronomy Journal 71:343-348. 1979.

67. TERRIME, D.G. et al. Effects of annual weed control on alfalfa forage quality. *Agronomy Journal* 71:371-380. 1979.
68. THOMPSON, L.M. El suelo y su fertilidad. Barcelona, Reverté, 1962. 407 p.
69. TISDALE, S.L. y NELSON, W.L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, Montaner y Simon, 1970. 760 p.
70. TROUG, N.V., WILSON, G.L. and ANDREW, C.S. Manganese toxicity in pasture legumes. I. Effect of calcium and phosphorus levels in the substrate. *Plant and Soil* 34(2): 309-320. 1970.
71. UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA (URUGUAY) FACULTAD DE AGRONOMIA. Curso de Suelos II. Montevideo, 1974. v.3 (Mimeografiado).
72. VALDEZ, A.A., GARCIA, C.B. y GOMEZ, G.J.M. Correlaciones entre bioelementos en especies pratenses bajo los efectos de la madurez. I. Leguminosas. *Anales de Edafología y Agrobiología* 38 (1/2): 310-329. 1979.
73. VIEITEZ, E., ARINES, J. y FABREGAS, R. Efecto de la adición de caliza sobre el pH y la disponibilidad de elementos de un suelo ácido con especial referencia al fósforo. *Anales de Edafología y Agrobiología* 38 (7/8) : 1277-1289. 1979.

74. WAGNER, G.H., KASSIM, G.M. and MARTYNIUK, S. Nodulation of annual Medicago by strains of *R. meliloti* in a commercial inoculant as influenced by soil phosphorus and pH. *Plant and Soil* 50(1):81-89. 1978.
75. WANG, L.C., ATTOE, O.J., and TROUG, E. Effect of lime and fertility levels on the chemical composition and winter survival of alfalfa. *Agronomy Journal* 45(8): 381-384. 1953.
76. WEEKS, M.E. and LATHWELL, D.J. Crop response to lime in the Northeastern United States. In Pearson, R.W. and Adams, F., eds. *Soil acidity and liming*. Madison, Wis., ASA, 1967. pp.233-259.
77. WELLS, K.L. and PARKS, W.L. Vertical distribution of soil phosphorus and potassium on several established alfalfa stands that received various rates of annual fertilization. *Soil Science Society of America Proceedings* 25(2):117-120. 1961.
78. WHITE, R.E. Studies on mineral ion absorption by plants. III. The interaction of aluminium phosphate and pH on the growth of *Medicago sativa*. *Plant and Soil* 46(1):195-208. 1977.
79. ZAMALVIDE, J.P. Efecto del encalado sobre la disponibilidad de fósforo del suelo y la eficiencia del fertilizante fosfatado en un suelo de basalto. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1970. 9 p.