

FERTILIZACION DE PASTURAS EN EL LITORAL OESTE DE URUGUAY

J. L. Castro,
Elsa M. de Zamuz y
S. Barboza*

RESUMEN

Se instalaron ensayos de fertilización de mezclas forrajeras (tréboles blanco y subterráneo con festuca) en los suelos del litoral oeste uruguayo.

Los tratamientos incluían niveles de fósforo de 0 a 240 Kg/ha de P_2O_5 con y sin refertilización anual de 40 kg/ha con dos fertilizantes fosfatados, superfosfato e hiperfosfato (fosfato de Gafsa). Cada ensayo fue iniciado en tres años sucesivos. La evaluación se realizó por cortes, determinándose el rendimiento en materia seca, la composición botánica y anualmente, antes de la refertilización, el fósforo disponible por el método Bray P_1 .

Se discuten los efectos: año de instalación, nivel y fuente de fósforo, tipo de suelo, edad de la pastura y refertilización, sobre el rendimiento en materia seca y composición botánica de la mezcla.

Se encontró una relación lineal entre P agregado y P disponible, calculándose los parámetros de las regresiones en los diferentes suelos y fertilizantes.

Se determinó que la tasa de descenso de los valores de P disponible en el tiempo era independiente del nivel de P aplicado, calculándose las tasas de descenso anual de P disponible para cada suelo y fertilizante.

Se presenta un esquema de recomendaciones de fertilización, que basándose en estas relaciones, permite mantener el nivel de P entre un mínimo para la buena sobrevivencia de las especies sembradas y un máximo después del cual no se esperan respuestas importantes al agregado de fósforo.

SUMMARY

Experiments on fertilization of pastures mixtures, white and subterranean clovers with fescue, were installed in soils of the West of Uruguay.

Treatments included initial levels of phosphates from 0 to 240 kg P_2O_5 with and without annual applications of 40 kg P_2O_5 in the following years, and two types of fertilizers (superphosphate and Gafsa rock phosphate). Dry matter yields and botanical composition were determined by clipping. Available phosphorus by Bray P-1 method was determined annually before refertilizations.

The effects of year of installation, levels and sources of phosphate, soil type and age of the pasture on dry matter yield and botanical composition is discussed.

A linear relationship between added fertilizer phosphate and available phosphorus by Bray P-1 was found. Available phosphorus decreased with time at a rate independent of the level of applied phosphorus. The rate of annual decreasing of available soil phosphate for each soil and fertilizer was calculated.

Based on these two relationships a scheme for advising on maintaining recommended levels of available soil phosphate is proposed. The levels vary according to economic conditions between a minimum below which the botanical composition of the mixture deteriorates, and a maximum above which there is no increase in yield.

INTRODUCCION

En el Uruguay existe actualmente abundante información experimental sobre mejoramiento, fertilización y manejo de pasturas, así como experiencias y observaciones efectuadas por técnicos y productores.

Los resultados experimentales del Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" han sido presentados en forma fragmentaria en las publicaciones realizadas para las reuniones técnicas del Plan Agropecuario (9), (11) y (12).

Sin embargo, está faltando reunir toda la información existente en cuerpos coherentes de recomenda-

ciones que permitan unificar criterios sobre implantación, manejo y rentabilidad de las pasturas en las distintas zonas del país.

Este trabajo se presenta la información sobre la fertilización de pasturas en el litoral oeste del país y se formula un esquema de recomendaciones de fertilización que se espera generalizar a otras zonas en próximas publicaciones.

Los datos de producción manejados en este boletín se refieren a materia seca. La utilización de esta información en la fijación de dosis económicas para la fertilización de pasturas puede ser discutida. Sin embargo, si bien es cierto que los rendimientos de producto animal dependen fundamentalmente de la dotación y manejo del ganado, es cierto también como se ha demostrado (Joblin et al. 8) que existe una buena correlación entre la producción de materia se-

* Ex Jefe del Proyecto Investigación Integrada, ex técnico Adjunto y ex Auxiliar Técnico del Proyecto Suelos, respectivamente, Estación Experimental Agropecuaria La Estanzuela.

ca de las pasturas y el producto animal obtenido.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se instalaron en los siguientes suelos:

1. Pradera parda sobre Cristalino, Chacra nueva. (Brunosol Subéutrico Lúvico)*
2. Pradera parda sobre Libertad, chacra vieja. (Brunosol Eutrico Lúvico)*
3. Pradera parda sobre Fray Bentos, chacra vieja. (Brunosol Eutrico Típico)
4. Pradera negra sobre Fray Bentos, chacra nueva. (Brunosol Eutrico Típico)*
5. Pradera arenosa sobre Cretáceo, campo recién roturado. (Luvisol Melánico típico)*
6. Pradera parda sobre Cretáceo, chacra nueva. (Brunosol Subéutrico Lúvico)*

* Equivalencia en el nuevo sistema de clasificación de suelos del Uruguay (Altamirano et al. 1).

Fertilizante	Kg/há de P ₂ O ₅ total inicial	Kg/há de P ₂ O ₅ en refertilización anual
1) Testigo	—	—
2) Superfosfato	40	0 40
3) Superfosfato	80	0 40
4) Superfosfato	120	0 40
5) Superfosfato	160	0 40
6) Superfosfato	200	0 40
7) Superfosfato	240	0 40
8) Hiperfosfato	80	0 40
9) Hiperfosfato	160	0 40
10) Hiperfosfato	240	0 40

con 40 kg/ha de P₂O₅ superfosfato para los tratamientos 2 a 7.

Refertilización anual

con 40 kg/ha de P₂O₅ de hiperfosfato para los tratamientos 8 a 10

Las características químicas de los suelos estudiados aparecen en el Cuadro No. 1.

Cuadro No. 1 pH, materia orgánica y fósforo por el método Bray P₁ de los suelos en ensayo.

Suelo	pH	M.O.	Bray P ₁ *
1	5,8	5,4	9,2
2	6,2	4,0	7,6
3	5,6	3,9	11,2
4	6,0	5,7	11,8
5	5,4	2,2	5,8
6	5,4	3,0	8,6

* Promedio de los testigos de los diferentes años de instalación.

Se empleó un diseño de parcelas divididas dispuestas en bloques al azar con cuatro repeticiones. El tamaño de la parcela grande fue de 3 x 14m, las cuales fueron divididas el segundo año, de manera que una

mitad quedó sin refertilizar para el estudio del efecto residual y en la otra se aplicaron 40 kg/ha de P₂O₅ anuales de super o hiperfosfato según los tratamientos.

Las praderas se implantaron por el sistema convencional, aplicándose la dosis inicial de fertilizante antes de la última disqueada.

Se sembró una mezcla de trébol blanco (2 kg/ha), subterráneo (4 kg/ha) y festuca (6 kg/ha).

La evaluación se realizó por medio de cortes de rendimiento con devolución de forraje, determinándose materia seca y efectuándose anualmente en primavera un análisis botánico por el método de punto cuadrado, con agujas verticales, anotándose el primer toque.

A fin de obviar el efecto que sobre la implantación de pasturas ejercen los agentes climáticos, los ensayos se iniciaron en años consecutivos. De esta manera, por cada suelo se tuvieron dos o tres ensayos iniciados en los años 1967, 68 y 69. Estos experimentos fueron planificados en el Proyecto Suelos del Centro de Investigaciones Agrícolas, Estación Experimental La Estanzuela. La responsabilidad del manejo de los ensayos estuvo a cargo de diferentes equipos de los Proyectos Suelos y Pasturas, por lo cual no siempre se realizaron los muestreos en los suelos ni se utilizaron criterios uniformes para el corte de las pasturas y la profundidad del muestreo del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

1) Composición botánica.

En las Figuras 1 a 12 se resumen los resultados de los análisis botánicos, por suelo, año de implantación y edad, considerando período sucesivos de 12 meses a partir de la siembra (edad 1 de 0 a 12 meses). No se incluyen los datos del suelo 6, donde no se consiguió implantar las especies sembradas.

La composición botánica varió con el suelo, el manejo anterior, la edad de la pastura y el nivel de fósforo.

En los primeros años hubo un predominio de las leguminosas que disminuyó en los años sucesivos, siendo sustituidas por gramíneas naturales o sembradas en las chacras nuevas y campos recién roturados y por malezas en las chacras viejas.

Este descenso en el porcentaje de leguminosas se realizó bastante bruscamente de un año para otro, lo que coincide con lo observado en las praderas convencionales. Aparentemente la causa de esta desaparición es un complejo de factores de manejo, condiciones climáticas y aumento de agresividad de malezas y gramíneas al aumentar la fertilidad. Al producirse condiciones desfavorables para la leguminosa, por ejemplo un corte o pastoreo seguido de un período seco, se produce la invasión de malezas y gramíneas. La edad interviene entonces de dos maneras: aumentando la posibilidad de encontrar un período desfavorable y aumentando la agresividad de las especies no leguminosas.

En general, los niveles mínimos de fertilización utilizados en estos ensayos permitieron una buena implantación de las leguminosas (50% o más del área cubierta) por lo menos hasta el segundo año. En años sucesivos el porcentaje de leguminosas aumentó con el nivel de fósforo y la refertilización hasta niveles mayores que variaron con el suelo y el año de siembra. Aparentemente para mantener un porcentaje alto de leguminosas es más importante el nivel inicial que las refertilizaciones, probablemente a través de plantas más vigorosas y semillazón más abundante el primer año. El efecto de la refertilización en el porcentaje de leguminosas sólo se notó en los niveles menores de fertilización inicial y durante el tercer y cuarto año.

El trébol subterráneo desapareció luego del primer

año en todos los suelos a excepción del 5. Esto confirma los resultados de la experimentación de pasturas del Centro, los cuales indican que esta especie sólo persiste en suelos de texturas superficiales livianas. En las Figuras 10, 11 y 12 puede verse el cambio en la composición botánica en cuanto a especies y dentro de las leguminosas entre los porcentajes relativos de trébol blanco y subterráneo de acuerdo con el año de implantación y edad de la pradera.

2) Rendimientos en materia seca

Se realizó un análisis conjunto de homogeneidad de varianza de los rendimientos de materia seca (Barlett 2) encontrándose que éstas no son homogéneas.

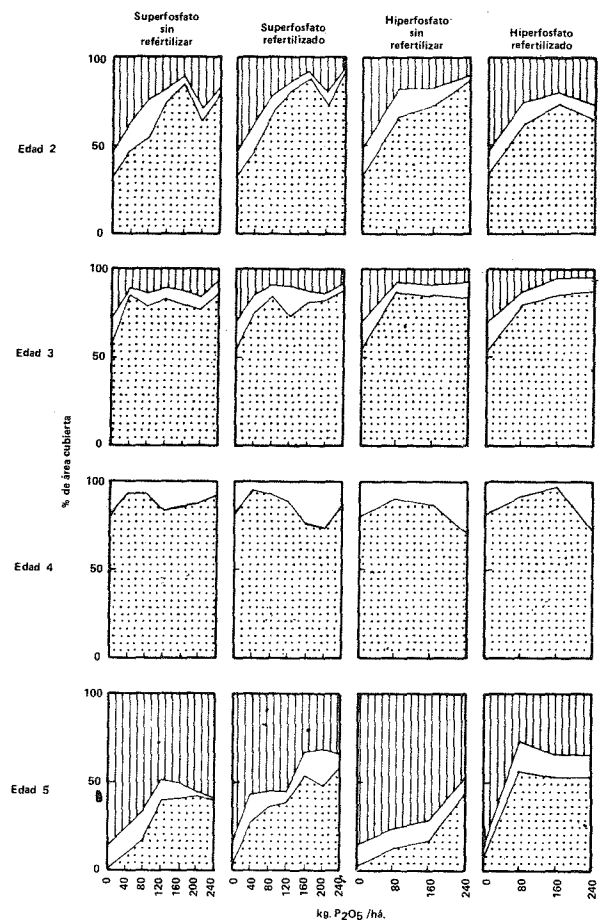
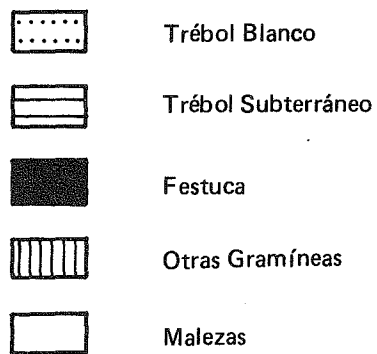


Fig. 2.— Suelo 1. Pradera Parda sobre Cristalino. Chacra nueva. Siembras 1967 y 1968.

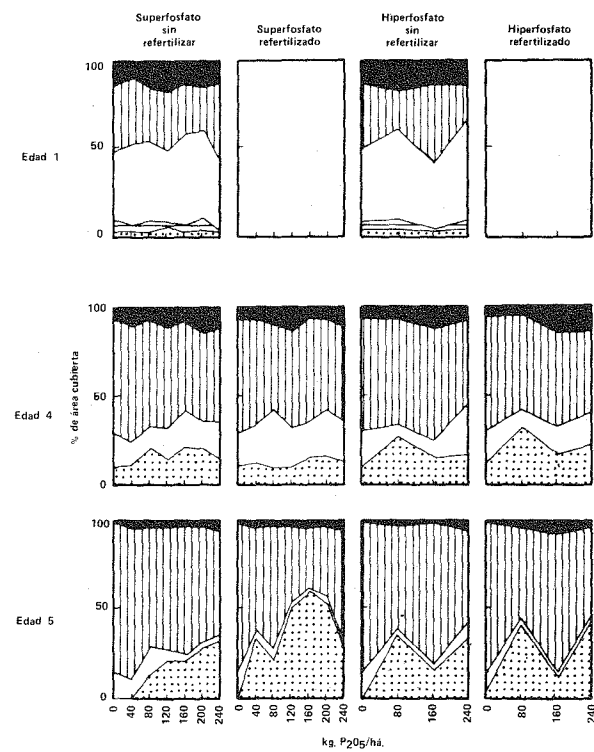


Fig. 1.— Suelo 1. Pradera Parda sobre Cristalino. Chacra nueva. Siembras 1967 y 1968.

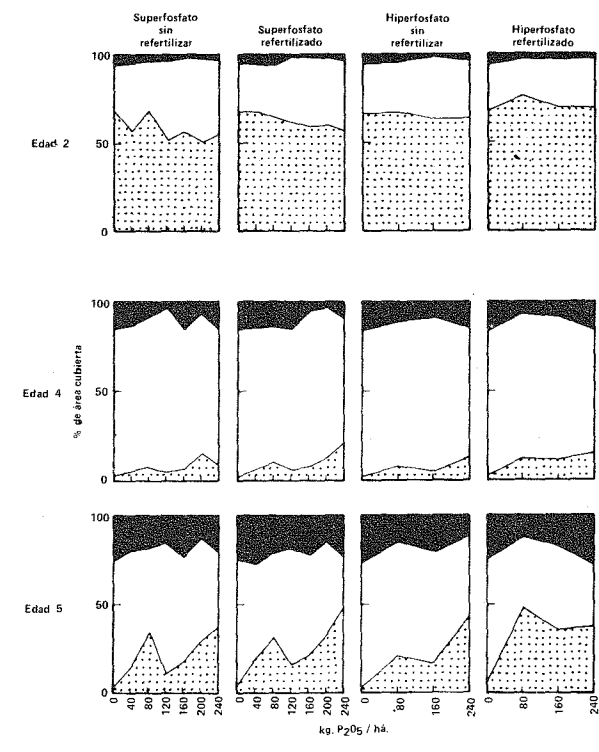


Fig. 3.— Suelo 2. Pradera Parda sobre Libertad. Chacra vieja. Siembras 1967, 1968 y 1969.

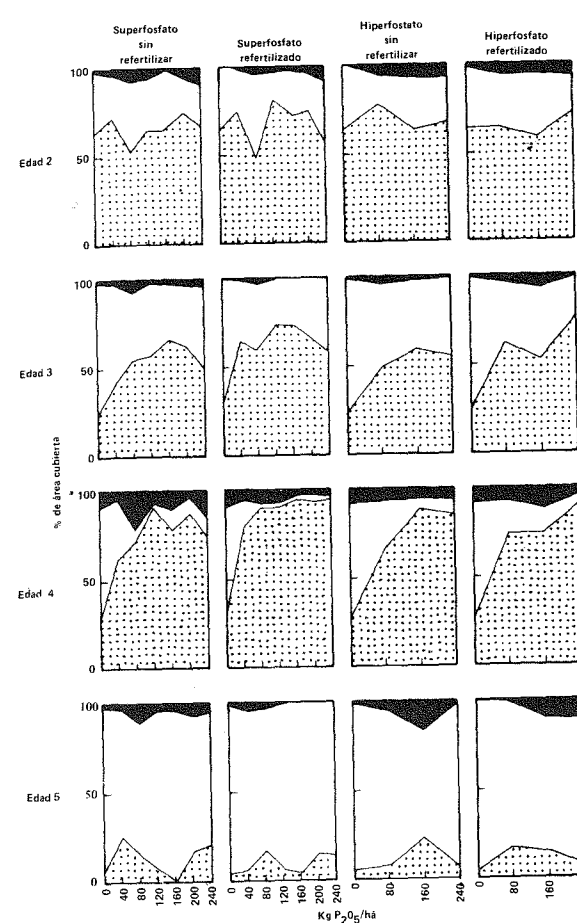


Fig. 4.— Suelo 2. Pradera Parda sobre Libertad. Chacra vieja. Siembras 1967, 1968 y 1969.

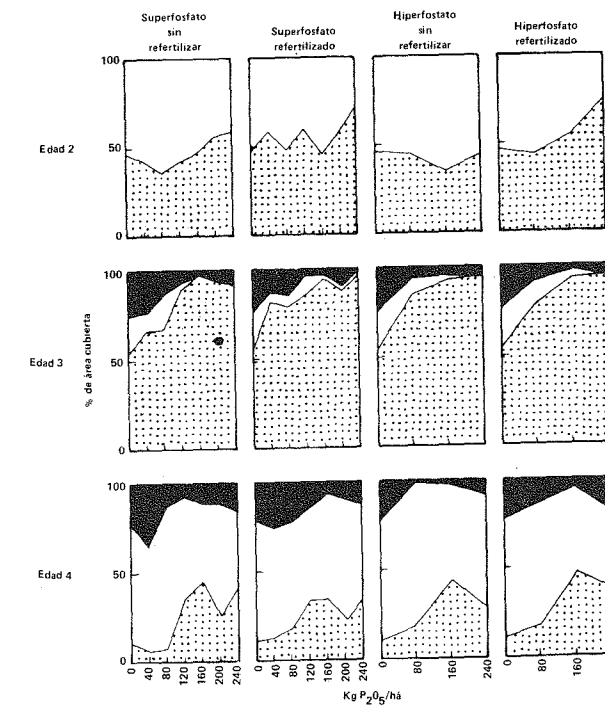


Fig. 5.— Suelo 2. Pradera Parda sobre Libertad. Chacra vieja. Siembras 1967, 1968 y 1969.

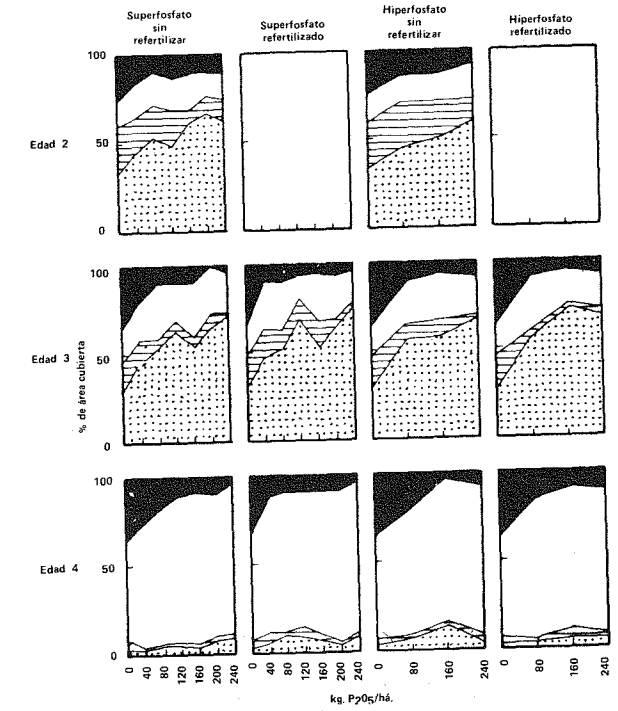


Fig. 6.— Suelo 3. Pradera Parda sobre Fray Bentos. Chacra vieja. Siembras 1967 y 1968.

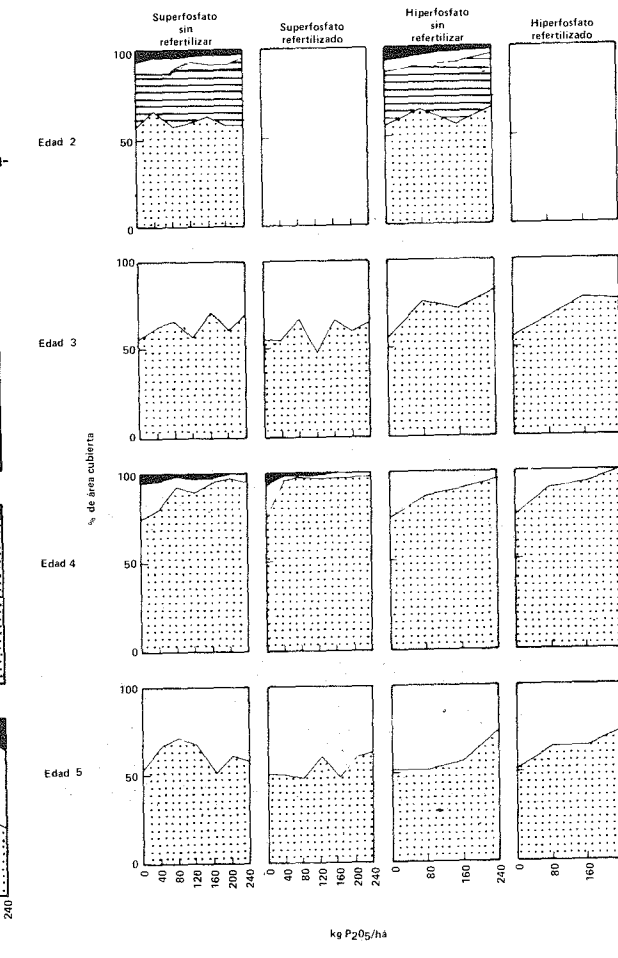


Fig. 7.— Suelo 3. Pradera Parda sobre Fray Bentos. Chacra vieja. Siembras 1967 y 1968.

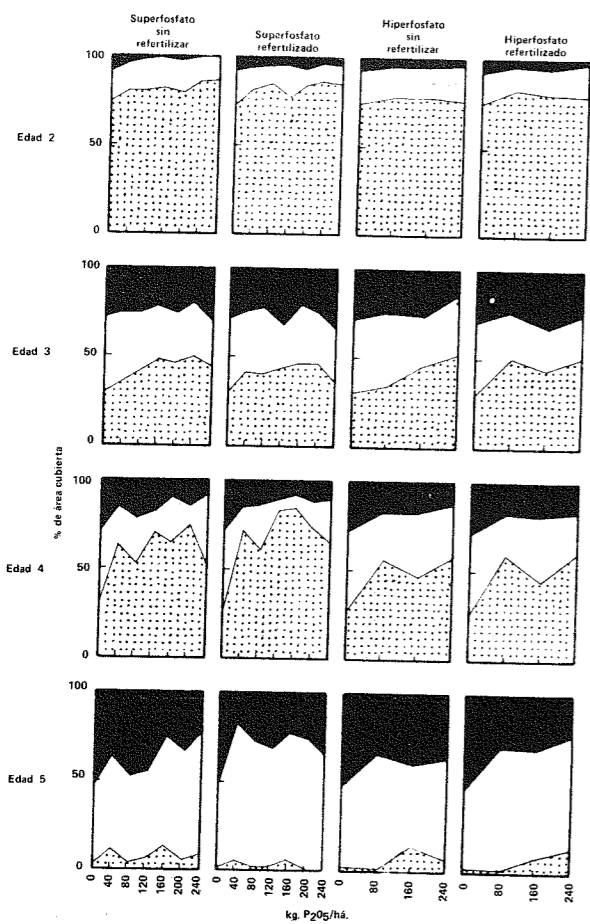


Fig. 8.— Suelo 4. Pradera negra sobre Fray Bentos. Chacra nueva. Siembras 1967 y 1968.

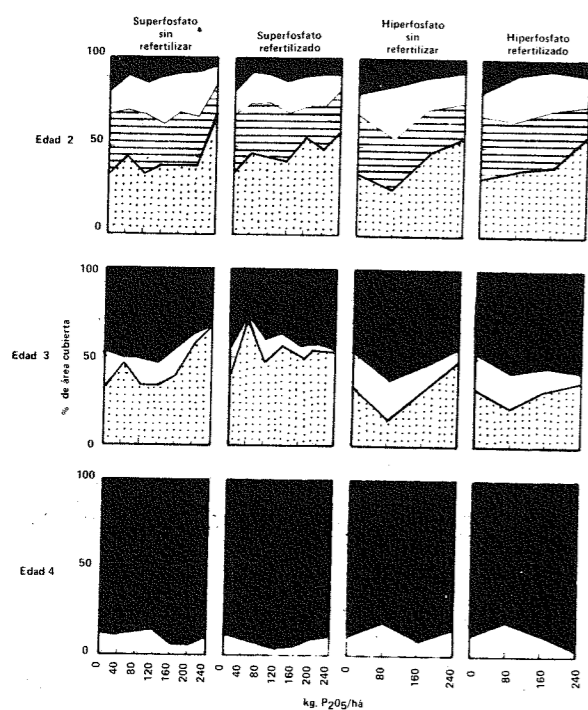


Fig. 9.— Suelo 4. Pradera negra sobre Fray Bentos. Chacra nueva. Siembras 1967 y 1968.

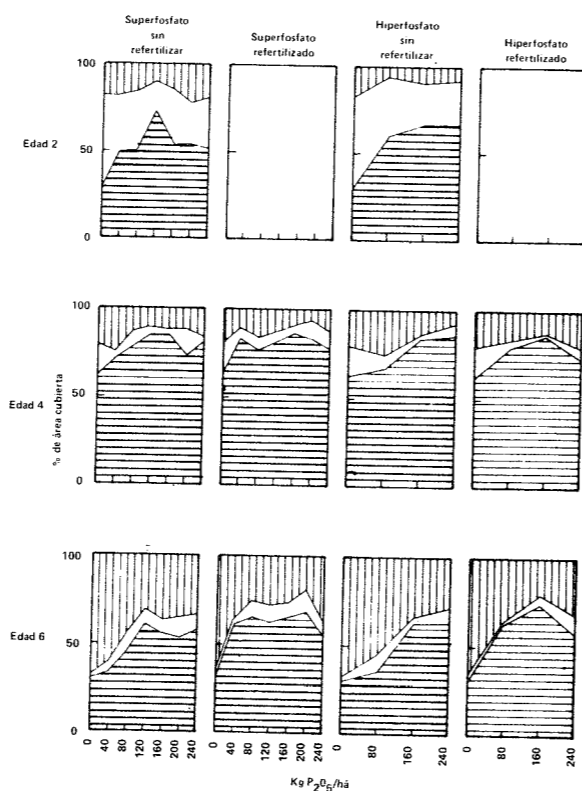


Fig. 10.— Suelo 5. Pradera arenosa sobre Cretáceo. Campo recién roturado. Siembras 1967, 1968 y 1969.

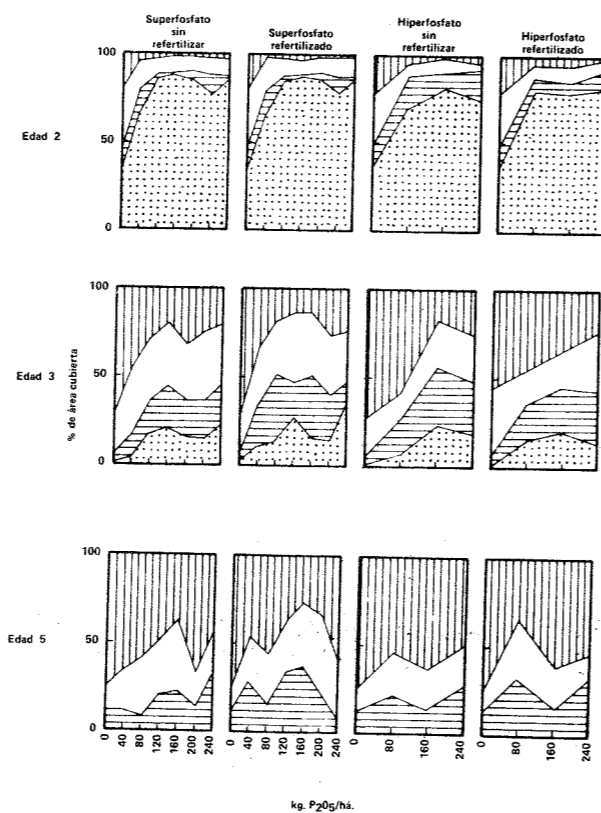


Fig. 11.— Suelo 5. Pradera arenosa sobre Cretáceo. Campo recién roturado. Siembras 1967, 1968 y 1969.

Cuadro No. 2 (continuación)

Fuente de variación	G. de Libertad	F
Nivel x fertilizante	2	< 1
Nivel x refertilización	2	3,75*
Fertiliz. x refertiliz.	1	1,67 N.S.
Residual	183	
Total	239	

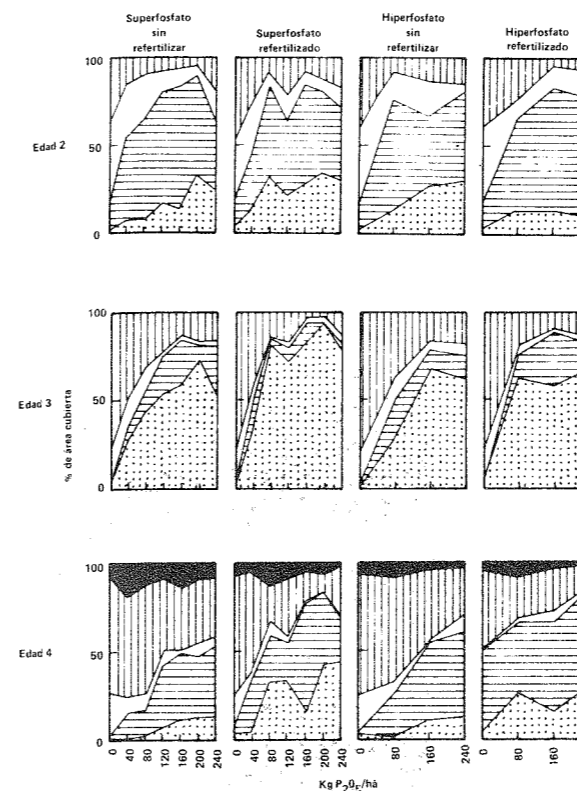


Fig. 12.— Suelo 5. Pradera arenosa sobre Cretáceo. Campo recién roturado. Siembras 1967, 1968 y 1969.

Se probaron entonces diferentes transformaciones de los datos de rendimiento que incluyen su expresión en porcentaje del máximo en cada corte, en porcentaje de aumento sobre el testigo y en porcentaje del promedio de tratamientos y se estudiaron por medio del análisis de variancia. Se encontró que este tipo de transformaciones, si bien homogeneizaba las variancias, eliminaba al mismo tiempo las diferencias de suelo y edad. Por tanto sólo se las utilizó para los análisis de regresión.

Con los datos reales de materia seca, promediando los diferentes años de siembra para cada suelo y edad, se realizó un análisis de variancia del factorial edad x suelo x nivel x tipo de fertilizante x refertilización y las interacciones simples de estos factores, tomándose como error las interacciones de mayor orden. Los resultados de este análisis se muestran en el Cuadro No. 2.

Cuadro No. 2 Análisis de variancia de los datos de rendimiento en materia seca.

Fuente de variación	G. de Libertad	F
Edad	3	156,13**
Suelos	4	356,07**
Niveles	2	52,71**
Fertilizantes	1	113,17**
Refertilización	1	74,07**
Edad x suelo	12	209,05**
Edad x nivel	6	2,88**
Edad x fertilizante	3	1,20 N.S.
Edad x refertilización	3	2,92*
Suelos x nivel	8	3,73**
Suelo x fertilizante	4	4,67**
Suelos x refertilización	4	< 1

Como se ve, todos los efectos principales resultaron altamente significativos. Respecto a las interacciones, el hecho de ser significativa la de edad x suelo, indica que el efecto de la edad de la pastura es dependiente del tipo y manejo anterior del suelo en que fue instalada. En cuanto a edad x nivel, edad x refertilización y nivel x refertilización, también son significativas como resultado del efecto residual diferencial de los niveles y la mayor respuesta a la refertilización a medida que aumenta la edad y disminuye el nivel de fertilización inicial. Las interacciones suelo x nivel y suelo x fertilizante son también altamente significativas, es decir, que tanto los requerimientos de fósforo como la eficiencia relativa de los dos fertilizantes empleados, son distintos en los diferentes suelos. En cambio ni edad x fertilizante, ni nivel x fertilizante, ni fertilizante x refertilización son significativos, lo que indica que las diferencias entre los dos fertilizantes no dependieron de la edad de la pradera, ni de la dosis inicial, ni de si se refertilizó o no la pradera.

Por último, la interacción suelo x refertilización no es significativa, lo que puede significar que el efecto residual de los dos fertilizantes no es muy diferente en los diversos suelos.

Los niveles de rendimiento están dados por el efecto tratamiento más las condiciones de manejo, composición de manejo, composición botánica y factores climáticos.

Por medio de la transformación de los datos se intentó separar el efecto tratamiento de estos otros factores. La transformación de los datos de rendimiento se realizó de la siguiente manera: para cada corte se calculó el rendimiento promedio de los distintos tratamientos y se expresaron éstos en porcentaje de ese promedio. Los porcentajes así obtenidos se sumaron y se dividieron por el número de cortes efectuados en cada año.

A los datos así obtenidos se ajustó (Patterson 15) una función para cada fertilizante con y sin refertilización del tipo $y = \alpha - \beta (\rho)^x$ donde:

y = rendimiento

x = kg/ha de P_2O_5 total en el fertilizante agregado inicialmente

(cada unidad de x representa 40 kg/ha en las funciones ajustadas para superfosfato y 80 en las ajustadas para hiperfosfato).

α = rendimiento máximo hacia el cual tiende y cuando x tiende a infinito,

β y ρ son parámetros donde $0 < \rho < 1$

Para los datos de hiperfosfato refertilizado no se ajustó una función, ya que sólo se contaba con tres puntos.

Estas funciones se expresaron luego en porcentaje del máximo, igualando α a 100 en la función que presentaba mayor α y ajustando las demás funciones a ese máximo. En los casos en que la función no se ajustó, se expresaron los rendimientos en porcentaje del tratamiento con rendimiento más alto, expresándose los demás datos en porcentaje de ese rendimiento.

Los resultados obtenidos y los coeficientes de determinación calculados se presentan en el Cuadro No. 3.

En las figuras 13 a 17 se muestran las funciones de respuesta a las dosis iniciales y refertilizaciones para los distintos suelos y edades de las pasturas. En los casos en que no fue posible ajustar una función, se presentan los promedios de cada tratamiento.

La forma de la respuesta a la fertilización y refertilización es bastante similar en los diferentes suelos, con excepción de la pradera arenosa sobre Cretáceo. Los rendimientos superiores al 90% del máximo para la edad 2 se obtienen con dosis que varían entre 120 y 160 kg/ha de P₂O₅, observándose poca respuesta a la refertilización en esa edad. En edades sucesivas aumenta progresivamente la respuesta a la refertilización y tiende a desaparecer el efecto de la dosis inicial en las parcelas refertilizadas. En el quinto año los rendimientos de las parcelas refertilizadas aparecen como una recta horizontal por encima del 90% del máximo.

No es seguro que el nivel de refertilización utilizado (40 kg/ha de P₂O₅) permita los rendimientos máximos. Los datos de análisis de suelo indican que en los niveles más altos iniciales, la refertilización utilizada no llegó a mantener los niveles de P disponible en el segundo año.

En la pradera arenosa sobre Cretáceo la respuesta a la fertilización inicial continúa hasta los más altos niveles utilizados y la respuesta a la refertilización es importante desde el segundo año. Esto puede deberse, por un lado, a la pobreza en fósforo de este

suelo y por otro, a la predominancia del trébol subterráneo que por ser una especie anual, requiere probablemente altos niveles de P en su crecimiento inicial.

3) Tipo de fertilizante

Observando el comportamiento de los dos fertilizantes (Figura 13 y 14) puede verse que en las praderas pardas sobre Cristalino y Libertad no hubo grandes diferencias en la respuesta a los dos fertilizantes en las diferentes edades de la pastura, aunque los rendimientos máximos, tanto en la fertilización inicial como en la refertilización, se obtuvieron siempre con la aplicación de superfosfato.

En la pradera arenosa sobre Cretáceo (Figura 17) la respuesta a las dosis iniciales fue similar pero existió una gran diferencia en favor de la refertilización con superfosfato.

En la pradera negra sobre Fray Bentos (Figura 16) el efecto del hiperfosfato fue mínimo, existiendo grandes diferencias entre las dos fuentes.

En la pradera parda sobre Fray Bentos (Figura 15) el comportamiento relativo de las dos fuentes fue intermedio entre la pradera parda sobre libertad y Cristalino y la pradera negra sobre Fray Bentos.

Para una mejor comparación de los dos fertilizantes se calculó la eficiencia relativa del hiperfosfato frente al superfosfato. Como eficiencia relativa se en-

Cuadro No. 3 Funciones ajustadas, R² de las mismas para cada fuente y suelo, con y sin refertilización, en porcentaje del rendimiento máximo. Valores del rendimiento máximo en kg/há de materia seca.

SUELO 1 — PRADERA PARDA SOBRE CRISTALINO

	Edad 2		Edad 3		Edad 4		Edad 5	
	y =	R ²	y =	R ²	y =	R ²	y =	R ²
SSP *	100 - 79,1 (0,578) ^x	0,95	100 - 70,6 (0,761) ^x	0,95	No ajusta		82,8 - 25,2 (0,646) ^x	0,83
SR **	88,0 - 45,0 (0,364) ^x	0,94	93,8 - 20,4 (0,597) ^x	0,79	No ajusta		100 - 14,8 (0,269) ^x	0,70
HSR ***	78,8 - 64,4 (0,297) ^x	0,98	No ajusta		No ajusta		No ajusta	
HR ****	No ajusta		No ajusta		No ajusta		No ajusta	
	100 = 12245 kg/há		100 = 10287 kg/há		100 = 1877 kg/há		100 = 3422 kg/há	

SUELO 2 — PRADERA PARDA SOBRE LIBERTAD

SSR	y = 100 - 63,6 (0,611) ^x	0,88	y = 88,3 - 34,5 (0,463) ^x	0,87	y = 88,8 - 65,1 (0,562) ^x	0,91	No ajusta	
SR	No ajusta		No ajusta		y = 100 - 15,9 (0,284) ^x	0,72	No ajusta	
HSR	y = 79,8 - 39,9 (0,326) ^x	0,72	y = 90,6 - 39,7 (0,429) ^x	0,77	No ajusta		No ajusta	
HR	No ajusta		No ajusta		No ajusta		No ajusta	
	100 = 3151 kg/há		100 = 7711 kg/há		100 = 5969 kg/há		100 = 3326 kg/há	

SUELO 3 — PRADERA PARDA SOBRE FRAY BENTOS

SSR	y = 90,0 - 45,0 (0,262) ^x	0,96	y = 85,5 - 36,9 (0,335) ^x	0,97	No ajusta		y = 97,6 - 38,4 (0,699) ^x	0,87
SR	y = 100 - 29,3 (0,498) ^x	0,80	No ajusta		y = 100 - 22,4 (0,616) ^x	0,54	No ajusta	
HSR	y = 81,8 - 38,1 (0,356) ^x	0,98	y = 74,6 - 26,6 (0,103) ^x	0,99	y = 58,7 - 10,4 (0,295) ^x	0,96	No ajusta	
HR	No ajusta		No ajusta		No ajusta		No ajusta	
	100 = 6652 kg/há		100 = 5984 kg/há		100 = 8581 kg/há		100 = 5859 kg/há	

SUELO 4 — PRADERA NEGRA SOBRE FRAY BENTOS

SSR	y = 97,0 - 41,9 (0,539) ^x	0,82	No ajusta		y = 89,2 - 45,6 (0,805) ^x	0,89	y = 74,3 - 28,2 (0,549) ^x	0,81
SR	No ajusta		No ajusta		No ajusta		No ajusta	
HSR	y = 74,4 - 20,0 (0,317) ^x	0,82	No ajusta		y = 57,6 - 14,2 (0,179) ^x	0,87	y = 68,0 - 23,9 (0,419) ^x	0,88
HR	No ajusta		No ajusta		No ajusta		No ajusta	
	100 = 6381 kg/há		100 = 7556 kg/há		100 = 6112 kg/há		100 = 7378 kg/há	

SUELO 5 — PRADERA ARENOSA SOBRE CRETACICO

SSR	y = 94,9 - 90,0 (0,623) ^x	0,99	y = 87,5 - 81,4 (0,720) ^x	0,94	y = 58,0 - 40,8 (0,760) ^x		y = 90,1 - 49,7 (0,546) ^x	0,92
SR	y = 100 - 24,6 (0,574) ^x	0,68	y = 100 - 46,0 (0,248) ^x	0,95	y = 100 - 44,2 (0,429) ^x	0,87	y = 100 - 11,1 (0,602) ^x	0,33
HSR	y = 92,2 - 88,6 (0,451) ^x	0,98	No ajusta		y = 40,9 - 23,8 (0,166) ^x	0,96	y = 77,6 - 32,1 (0,184) ^x	0,99
HR	No ajusta		No ajusta		No ajusta		No ajusta	
	100 = 1757 kg/há		100 = 3321 kg/há		100 = 4491 kg/há		100 = 3695 kg/há	

* Superfosfato sin refertilizar.
 ** Superfosfato refertilizado.
 *** Hiperfosfato sin refertilizar.
 **** Hiperfosfato refertilizado.

Figs. 13 a 17. — Respuesta a las dosis iniciales y refertilizaciones para los distintos suelos y años. Rendimientos en materia seca promedio de distintos años de implantación expresados como porcentaje de rendimiento máximo.

- Superfosfato sin refertilizar
- ▲ Hiperfosfato sin refertilizar
- Superfosfato refertilizado
- △ Hiperfosfato refertilizado

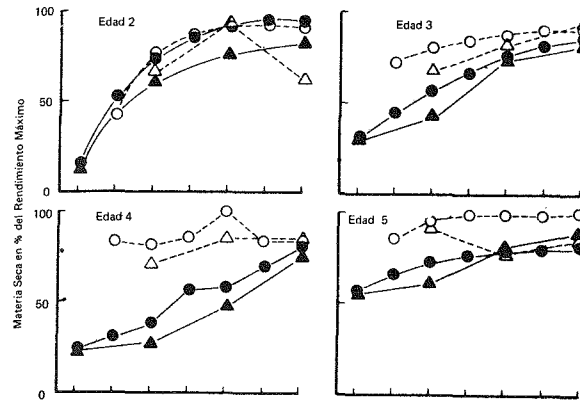


Fig. 13.— Suelo 1. Pradera parda sobre Cristalino.

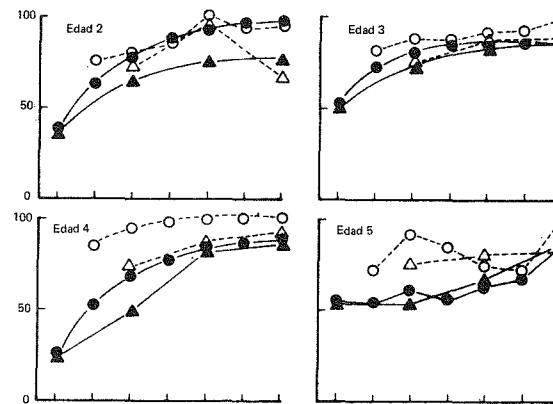


Fig. 14.— Suelo 2. Pradera parda sobre Libertad.

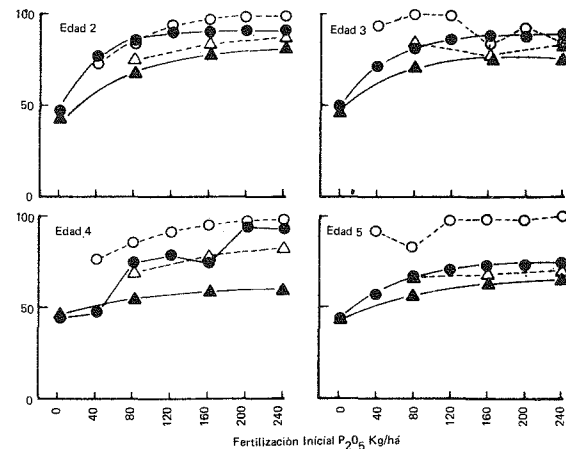


Fig. 15.— Suelo 3. Pradera parda sobre Fray Bentos.

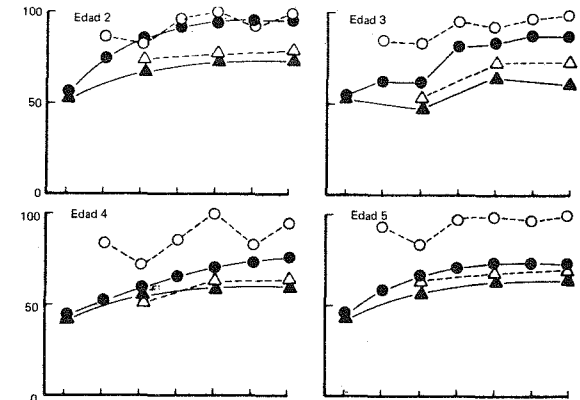


Fig. 16.— Suelo 4. Pradera negra sobre Fray Bentos.

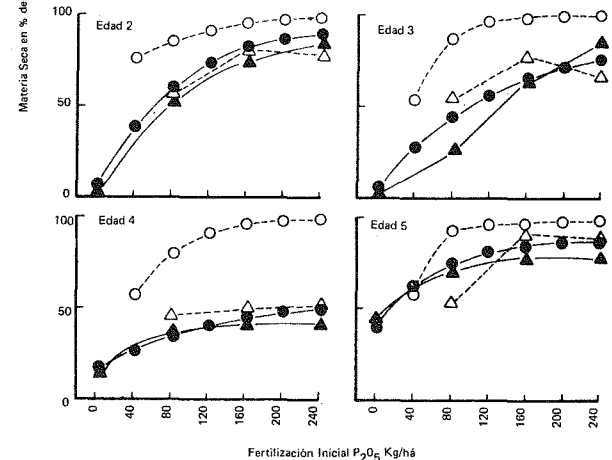


Fig. 17.— Suelo 5. Pradera arenosa sobre Cretáceo.

tiende la relación entre las cantidades de P₂O₅ de cada fuente que permiten alcanzar el mismo rendimiento, (Reynaert y Castro 16).

Las eficiencias se calcularon para cada suelo y edad, tomando los rendimientos de los niveles 160 y 240 kg P₂O₅/ha del hiperfosfato sin refertilización. Los kg de P₂O₅/ha con los que se alcanzaban estos rendimientos se calcularon de la función ajustada para el superfosfato. En los casos en que no hubo ajuste de la función, los valores se calcularon por interpolación entre los dos niveles que cubrían ese rendimiento, de acuerdo al método descrito por Cooke y Widdowson (6).

En el Cuadro No. 4 se presentan los valores encontrados.

Cuadro No. 4 Eficiencia relativa del hiperfosfato con respecto al superfosfato.

Suelo	Nivel de aplicación de Hiper Kg. P ₂ O ₅ /há	E d a d e s			Promedio Suelos
		2	3	4	
1	160	0.493	0.939	0.626	0.699 b
	240	0.377	0.841	0.916	
2	160	0.485	0.627	1.027	0.703 b
	240	0.365	0.806	0.910	
3	160	0.231	0.273	0.331	0.239 a
	240	0.188	0.185	0.226	

Cuadro No. 4 (continuación)

Suelo	Nivel de aplicación de Hiper Kg. P ₂ O ₅ /há	E d a d e s			Promedio Suelos
		2	3	4	
4	160	0.215	0.541	0.407	0.322 a
	240	0.159	0.333	0.280	
5	160	0.774	1.420	0.758	1.106 c
	240	0.744	2.413	0.525	
Promedio Edades		0.403 a	0.838 b	0.601 ab	

Medias seguidas por la misma letra, no difieren significativamente (P < 0.05).

Medias seguidas por la misma letra, no difieren significativamente (P < 0.05)

Los valores del Cuadro No. 4 se sometieron a un análisis de variancia considerando un factorial suelo x edad y tomando como repeticiones los niveles de fósforo. En este análisis no resultaron significativos ni las repeticiones ni la interacción, pero sí el efecto suelo (P < 0.001) y el efecto edad (P < 0.05). De acuerdo a estos resultados la eficiencia relativa del hiperfosfato tiende a aumentar después del primer año posiblemente debido a la menor tasa de inmovilización de este fertilizante.

En cuanto a los suelos podemos separarlos en 3 grupos: a) aquellos en los cuales la eficiencia del hiperfosfato es igual a un 70% de la eficiencia del superfosfato (suelos 1 y 2); b) aquellos en los cuales la eficiencia del hiperfosfato es muy baja (suelos 3 y 4), y c) suelos en los que la eficiencia de los dos fertilizantes es similar (suelo 5).

Estas eficiencias se refieren solamente a las aplicaciones iniciales; en las refertilizaciones, especialmente en el suelo 5, la eficiencia del hiperfosfato fue aparentemente bastante menor que la indicada en el Cuadro No. 4.

Estos índices de eficiencia relativa pueden emplearse directamente para decidir la conveniencia económica del empleo de una u otra fuente de fósforo, de acuerdo al método presentado por Reynaert y Castro (16).

La eficiencia relativa representa el límite económico de la relación:

$$\frac{PH}{PS} = \frac{\text{Precio de 1 kg de P}_2\text{O}_5 \text{ del hiperfosfato}}{\text{Precio de 1 kg de P}_2\text{O}_5 \text{ del Superfosfato}}$$

Precio ton hiper. / 30.5

Precio ton super. / 23

Por ejemplo, en el caso de que el precio por tonelada de los dos fertilizantes fuera el mismo, esta relación sería igual a 0,754 y el empleo de hiperfosfato para la instalación de pasturas sólo se justificaría económicamente en suelos donde su eficiencia relativa fuera superior a esta relación.

El comportamiento diferente de los dos fertilizantes no se explica totalmente por el pH de los mismos. Por ejemplo, en el suelo 2 el pH es similar al suelo 4 (Cuadro 1) y sin embargo, al rendimiento relativo de la fosforita es mayor en aquel suelo. Esta falta de relación entre pH y el rendimiento de la fosforita es más marcada cuando se tiene en cuenta mayor rango de suelos. Probablemente otros factores como contenido de materia orgánica, saturación de bases y capacidad de intercambio podrían explicar estas diferencias. Esta es la razón por la cual en el Boletín de Divulgación No. 5 (10) se separaron los suelos en calcá-

reos y no calcáreos, en vez de referirse solamente a valores de pH.

4) Análisis de suelo

Anualmente se muestrearon los suelos por parcela antes de efectuar las refertilizaciones. Ya se ha puntualizado que debido a la intervención de diferentes equipos en el manejo de estos ensayos, hubo diferencias en la profundidad de muestreo de los suelos. Esto ha sido la causa principal de la variabilidad en los datos de fósforo disponible observada sobre todo para las parcelas refertilizadas.

Del estudio de los datos de análisis de suelos surgen dos relaciones a considerar: la primera entre P disponible y P agregado, y la segunda, entre P disponible y años desde su aplicación.

a) Relación entre P disponible y P agregado

Fue en general lineal, aunque en algunos suelos esta relación tendió a ser exponencial para los niveles más altos de su aplicación. Esta relación lineal entre P agregado y valor de análisis al año siguiente al de aplicación ya había sido descrita (10).

Se realizó un análisis de regresión lineal de fósforo agregado inicialmente y fósforo disponible, ajustando el modelo $Y = B_0 + B_1 x + e$ donde Y = fósforo disponible; x = fósforo agregado; B₀ = intercepto; y B₁ = término lineal; e = error. Los ajustes fueron realizados por método de mínimos cuadrados. Este análisis se hizo por separado para tipo de fertilizante, año de la pastura, fertilización inicial y refertilización. En los casos en que las dosis más altas se apartaban de la linealidad, se hizo la regresión hasta la última dosis con relación lineal que nunca fue menor de 160 unidades. Lo mismo que las pendientes en la regresión, fueron siempre muy inferiores a las fertilizadas con superfosfato aun en el suelo 5 donde las dos fuentes tuvieron un comportamiento muy similar. Esto se debe al método de análisis de suelo Bray P - 1 (4) inicialmente desarrollado para los suelos de Illinois donde se habían utilizado cantidades masivas de fosforitas de mala calidad y por lo tanto se necesitaba un método que no las detectara en los valores de análisis. A partir de 1972 se comenzó a utilizar en La Estanzuela el método de análisis con resinas catiónicas de Zamuz y Castro (18) que se comporta en forma muy similar a Bray P - 1 en los suelos fertilizados con superfosfato y que expresa mejor la disponibilidad de P en los fertilizados con fosforitas o harina de hueso. Mientras que en Bray P - 1 sería necesario utilizar dos calibraciones según el fertilizante utilizado, con el método de resinas puede emplearse una calibración única. (Zamuz y Castro 19).

El coeficiente de determinación o R² de estas regresiones lineales fue en general muy alto. De los 202 análisis realizados, 93 (46%) tuvieron un R² superior a 0,90; 87 (43%) entre 0,90 y 0,60; y 7(3%) entre 0,60 y 0,40 y 15 (7%) menor de 0,40.

El coeficiente lineal estimado (b₁) descendió con los años, pero la relación lineal se mantuvo, lo que prueba que el efecto residual es directamente proporcional al fertilizante agregado.

El coeficiente b₁ de las funciones lineales ajustadas en el análisis de regresión de los datos del segundo año de las pasturas, indica el aumento en ppm de P disponible que produce un kg/ha de P₂O₅ al año siguiente de su aplicación. Los valores de este coeficiente b₁ para cada suelo figuran en el Cuadro. No. 5.

Se hizo el análisis de variancia de los b₁ de todos los suelos menos el 3, ya que para éste no había repeticiones, considerando un factorial suelos por año de instalación por fertilizantes y utilizando la interacción triple como error. El resultado de este análisis arrojó un valor significativo el (P < 0,05) para suelos y altamente significativo para tipos de fertilizante (P < 0,01)

Cuadro No. 5 Valores de b₁ y R² para cada fuente de fósforo, suelo y año de instalación.

Suelo	Año de instalación	b ₁ super	R ²	b ₁ hiper	R ²
1	67	0,175 *	0,89	0,034	0,83
	68	0,216	0,98	0,070	0,99
2	67	0,081	0,96	0,022	0,94
	69	0,064	0,96	0,007	0,65
3	69	0,191**	0,99	0,079	0,99
4	67	0,088*	0,88	0,044	0,91
	68	0,074*	0,95	0,019	0,92
5	67	0,122	0,97	0,081	0,98
	69	0,141	0,99	0,038	0,98
6	67	0,157	0,96	0,060	0,99
	69	0,164**	0,93	0,110	0,99

* Regresión calculada hasta 160 unidades.

** Regresión calculada hasta 200 unidades.

no siendo significativo el efecto año de instalación ni ninguna de las interacciones.

Utilizando los datos del tercer año, si comparamos los valores de las parcelas refertilizadas con las sin fertilizar y dividimos por la dosis utilizada en la refertilización, tenemos otra estimación del aumento que produce un kg/ha de P₂O₅ (b'₁).

Utilizando la ecuación de regresión para los tratamientos sin refertilización $y = b_0 + b_1 x$ donde

$$y = \text{ppm de P Bray P - 1}$$

b₀ y b₁ son los valores estimados para el intercepto y término lineal, respectivamente.

$$x = \text{kg/ha de P}_2\text{O}_5 \text{ agregados}$$

y la ecuación de regresión de los tratamientos refertilizados $y' = b'_0 + b'_1 x$ se calculó el aumento que produce un kg/ha de P₂O₅ en la primera refertilización en el P disponible al año siguiente, según fórmula: Aumento producido en el fósforo disponible por la aplicación de un kg/ha de P₂O₅ =

$$\frac{y' - y}{40} = \frac{b'_0 - b_0 + 140 (b'_1 - b_1)}{40}$$

Los valores de aumento calculados en esta forma y los obtenidos en las regresiones para el segundo año (Cuadro No. 5), fueron sometidos a un análisis de variancia, considerándose un factorial suelo x forma de cálculo, siendo los años de instalación las repeticiones. El efecto suelo fue significativo (P < 0,05), no así la forma de cálculo ni la interacción. Esto nos permite promediar para cada suelo los valores de aumento en el P disponible obtenidos por ambas formas. Los valores promedio aparecen en el Cuadro Nro. 6.

Cuadro No. 6 Aumento en el fósforo disponible producido por un kg/há de P₂O₅ al año siguiente al de su aplicación en forma de superfosfato e hiperfosfato.

Suelo	Superfosfato	Hiperfosfato
1 Pradera parda Cristalino	0,199	0,054
2 Pradera parda Libertad	0,079	0,023
3 Pradera parda Fray Bentos	0,191	0,079
4 Pradera negra Fray Bentos	0,078	0,031
5 Pradera arenosa Cretáceo	0,141	0,061
6 Pradera parda Cretáceo	0,149	0,078

Estos valores permiten formar tres grupos entre

MAYO 1981

los suelos, en donde el aumento del valor de análisis por kg/ha de P₂O₅ aplicado, difiere significativamente cuando el fertilizante agregado es superfosfato (Cuadro No. 7).

Cuadro No. 7 Grupos de suelos de acuerdo al aumento del fósforo disponible por kg/há de P₂O₅ aplicado como superfosfato.

b ₁ superfosfato		
Grupo 1: pradera parda sobre Libertad y negra sobre Fray Bentos.	Suelos 2 y 4	0,078
Grupo 2: praderas sobre Cristalino y Fray Bentos.	Suelos 1 y 3	0,195
Grupo 3: praderas parda y arenosa sobre Cretáceo.	Suelos 5 y 6	0,145

b) Relación de P disponible y años desde su aplicación

La relación lineal entre fósforo disponible y dosis inicial en distintas edades de las pasturas, indicó que la tasa de inmovilización expresada en porcentaje del fósforo aplicado fue independiente del nivel. En consecuencia, para estudiar el efecto residual se promediaron para cada suelo, cada edad de la pastura y cada tipo de fertilizante, las diferencias entre los valores de análisis de los tratamientos sin refertilización y el testigo. El fósforo disponible en los suelos estudiados después de la aplicación descendió siguiendo una típica curva de extinción hasta el quinto año, en el sexto año las diferencias fueron tan pequeñas en relación al testigo, que no es posible tener una estimación precisa. Larsen (13) y (14) encontró una relación semejante para el descenso de P lábil en el suelo. Fitter (7) halló una relación similar entre fósforo disponible y tiempo a partir de los dos primeros meses desde la aplicación para suelos incubados con el agregado de fósforo. Su experimento le permitió detectar un período de rápido descenso del fósforo disponible que duraba cinco días, un período de estabilización que duraba dos meses y a partir de ese momento un descenso similar al encontrado en este trabajo. Barrow (3) describe también una relación similar entre eficiencia residual de fósforo y tiempo desde su aplicación. Esta relación era dependiente de la humedad y temperatura de incubación de los suelos.

Se realizó un ajuste de regresión de las curvas de descenso del fósforo disponible con la edad para cada suelo y fertilizante. Para esto se ajustó el modelo de regresión lineal mencionado anteriormente, utilizando:

$$y = \text{Logaritmo del promedio de; (fósforo disponible con fertilización inicial y sin refertilización - fósforo disponible en el tratamiento testigo).}$$

x = número de años después de la fertilización.

El coeficiente lineal de esta regresión es negativo y el antilogaritmo de este coeficiente (Pr) expresa el efecto residual de cada kg de P₂O₅ por hectárea. El valor de 1 - Pr representa la tasa anual de descenso del valor de análisis.

Los valores de Pr, 1 - Pr y los coeficientes de determinación se presentan en el Cuadro No. 8.

Se hizo un análisis de variancia de los valores Pr, considerándose un factorial suelo x fertilizante y tomando el cuadrado medio de la interacción como estimación del error experimental. En este análisis

Cuadro No. 8 Valores de Pr, 1 - Pr y R² para cada suelo y tipo de fertilizante.

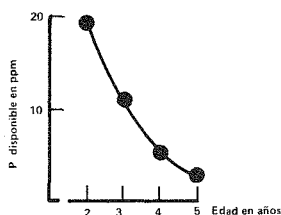
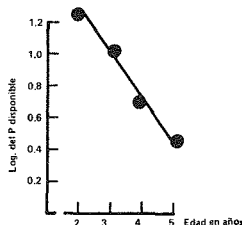
Suelo	Superfosfato			Hiperfosfato		
	Pr	1 - Pr	R ²	Pr	1 - Pr	R ²
1	0,695	0,305	0,942	0,719	0,281	0,844
2	0,714	0,286	0,999	0,796	0,204	0,975
3	0,758	0,242	0,927	0,819	0,181	0,872
4	0,714	0,286	0,987	0,837	0,163	0,935
5	0,716	0,284	0,911	0,753	0,247	0,991
6	0,744	0,256	0,989	0,743	0,257	0,989
		0,276			0,222	

se encontraron diferencias significativas entre fertilizantes pero no entre suelos.

Al no encontrarse diferencias significativas entre suelos, se promediaron para todos los suelos las diferencias entre los valores de análisis de los tratamientos sin refertilización y el testigo para cada edad, a los efectos de obtener la curva de descenso de fósforo disponible en el suelo. (Figuras 18 y 19). Los valores calculados para cada fertilizante se presentan en el Cuadro No. 9.

Cuadro No. 9 Valores de Pr, 1 - Pr y R² para todos los suelos.

	Pr	1 - Pr	R ²
Superfosfato	0,724	0,276	0,993
Hiperfosfato	0,778	0,222	0,959

**Fig. 18.**— Relación entre P disponible y edad de la Pastura.**Fig. 19.**— Relación entre los logaritmos de P disponible y edad de la Pastura.

De acuerdo con estos valores, la tasa de descenso del hiperfosfato sería en promedio un 5% menor que la del superfosfato, lo que explicaría en parte el aumento de su eficiencia relativa con la edad. Los valores de tasa de inmovilización encontrados, coinciden sorprendentemente con los presentados por Russell (17) quien estimó la tasa anual de inmovilización en 28%

CONCLUSIONES

Del estudio de los resultados de estos ensayos puede extraerse una serie de conclusiones generales.

- 1) Niveles relativamente bajos de fósforo permiten una buena implantación de las leguminosas, no existiendo grandes diferencias en la persistencia de éstas por dosis iniciales mayores a 80 - 120 kg/ha de P₂O₅ siempre que se refertilice.
- 2) La respuesta a la fertilización inicial en producción de materia seca continúa hasta niveles mayo-

res, tendiendo a estabilizarse en años posteriores para todos los niveles cuando se hacen refertilizaciones anuales.

- 3) El superfosfato es la fuente más eficiente para todos los suelos ensayados, a excepción de la fertilización inicial en el suelo sobre Cretacéo, en el cual las dos fuentes se comportan en forma similar.
- 4) Existe una relación lineal entre P disponible y P agregado. La pendiente de la línea de regresión que expresa esta relación varía en los distintos suelos. De acuerdo con el valor de esta pendiente es posible reunir los suelos en grupos que se diferencian fundamentalmente en textura y PH.
- 5) El logaritmo del valor de análisis desciende linealmente con el tiempo independientemente del nivel de fósforo aplicado. La tasa de descenso es similar para todos los suelos ensayados, siendo algo menor para el hiperfosfato que para el superfosfato.

Consideramos que estas relaciones pueden utilizarse para la elaboración de un esquema de fertilización. Sin embargo, los datos utilizados en la cuantificación de sus valores presentan gran variabilidad debido a la conducción de los experimentos discutida anteriormente.

Método a utilizar para efectuar recomendaciones de fertilización en pasturas.

En base a las relaciones descritas anteriormente se podrá determinar:

- 1) El nivel mínimo y óptimo de fósforo disponible. Este último se define como aquel que permite obtener un 90% del rendimiento máximo en materia seca.

Los datos de composición botánica indican que el nivel de fósforo disponible que permite una buena implantación y sobrevivencia de las leguminosas es bastante más bajo que el nivel óptimo. A este nivel se le llamará nivel mínimo y podrá ser mantenido por el productor en los momentos que por dificultades financieras o por baja relación de precios producto-fertilizante se desee ahorrar en la aplicación de fósforo sin perder el capital que representan las pasturas.

Dentro de estos dos niveles podrá variar la cantidad de fertilizante a agregar de acuerdo con los recursos y objetivos del productor.

- 2) La relación lineal entre fósforo agregado y fósforo disponible permitirá calcular la cantidad de fósforo a agregar para pasar del nivel actual al nivel que se desea obtener. Para esto se utiliza el "equivalente fertilizante" o sea la cantidad de fósforo a agregar para aumentar en una parte por millón el fósforo disponible.

Los datos de este boletín permiten calcular el equivalente fertilizante para el año siguiente al de aplicación de fósforo.

Utilizando la tasa de inmovilización determinada se puede ajustar el equivalente fertilizante para recomendaciones de refertilizaciones anuales.

Con estos dos índices se podrá calcular a partir de un dato de análisis de suelo y la información sobre aplicaciones de fertilizante posteriores, el nivel de P disponible sin tener que realizar análisis de suelo anuales.

Un sistema de recomendación para la fertilización de pasturas basado en estas relaciones fue presentado al Plan Agropecuario en 1976, Castro et al (5). Posteriormente Russell (17) publicó un modelo de aplicación general a todos los nutrientes pero con valores específicos para fósforo.

LITERATURA CITADA

1. ALTAMIRANO, A. et al — Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay, Montevideo, Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. 1976, V.1, 97p.
2. BARTLETT, M.S. — Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. *Journal of the Royal Statistical Society* 4 (suppl.) 137 - 183. 1937.
3. BARROW, N. J. — The slow reactions between soil and anions: 1. Effects of time, temperature and water content of a soil on the decrease in the effectiveness of phosphate for plant growth, *Soil Science* 118(6): 380 - 386. 1974.
4. BRAY, R. H. y KURTZ, L. T. — Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Science* 59 (1): 39 - 45. 1945.
5. CASTRO, L., ZAMUZ, E. M. de y OUDRI, N. — Guía para fertilización de pasturas, La Estanzuela, Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" 1976. 17p. (Mimeografiado).
6. COOKE, G. W. y WIDDOWSON, F. V. — Field experiments on phosphate fertilizers, a joint investigation *Journal of Agricultural Science* 53 (1): 46 - 63. 1959.
7. FITTER, A. H. — A relationship between phosphorus requirements, the immobilization of added phosphate, and the phosphate buffering capacity of colliery shales. *Journal of Soil Science* 25(1) : 41 - 50. 1974.
8. JOBLIN, A. D. H. — Review of field research section fertilizer stocking rate grazing trials in New Zealand. *Proceeding of the New Zealand Society Animal Production*, 32: 64 - 76. 1972.
9. La Estanzuela — Centro de Investigaciones Agrícolas
10. ——— Fertilización de pasturas. La Estanzuela. *Boletín de Divulgación* No. 5. 1971. 40p.
11. ——— Producción de pasturas. La Estanzuela, 1971. 2v.
12. ——— Pasturas. La Estanzuela, 1973. 3v.
13. LARSEN, S. — On the relationship between labile and non labile phosphate in soil. *Acta Agriculturae Scandinavica* 14(4): 249 - 253. 1964.
14. ———, GUNARY, D. and SUTTON, C. D. — The rate of immobilization of applied phosphate in relation to soil properties. *Journal of Soil Science* 16 (1): 141 - 148. 1965.
15. PATTERSON, H. D. — A simple method for fitting an asymptotic regression curve *Biometrics* 12 (3): 323 - 329. 1956.
16. REYNAERT, E. E. y CASTRO, J. L. — Eficiencia relativa de tres fertilizantes fosfatados en la fertilización inicial de pasturas, La Estanzuela, Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". *Boletín Técnico* no. 7. 1968. 24p.
17. RUSSELL, J. S. — Evaluation of residual nutrient effects in soils. *Australian Journal of Agricultural Research* 28(3): 461 - 475. 1977.
18. ZAMUZ, E. M. de y CASTRO, J. L. — Evaluación de métodos de análisis de suelo para determinar fósforo asimilable. La Estanzuela, Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". *Boletín Técnico* no. 15. 1974. 15p.
19. ——— y CASTRO, J. L. — Comparación de métodos para estimar fósforo disponible en suelos con diferentes fertilizaciones. La Estanzuela, Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger".