



REPÚBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA
DIRECCIÓN GENERAL DE
INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

**CENTRO DE
INVESTIGACIONES
AGRICOLAS
"ALBERTO BOERGER"**

**Fuentes de
fósforo para
PASTURAS**

ABRIL, 1982



ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA "LA ESTANZUELA"



REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA

CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS

"ALBERTO BOERGER"

ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA "LA ESTANZUELA"

Fuentes de fósforo para PASTURAS

ABRIL, 1982

CONTENIDO

I. FUENTES DE FOSFORO PARA PASTURAS.

ALEJANDRO E. MORON *

II. COMPARACION DE FUENTES DE FOSFORO PARA PASTURAS EN UN SUELO DE BASALTO.

ALEJANDRO E. MORON *

MARIA L. BEMHAJA **

ENRIQUE CASTRO ***

* Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B.

** Técnico del Proyecto Pasturas, E.E.N.; C.I.A.A.B.

*** Técnico del Proyecto Pasturas, E.E.N., hasta marzo de 1980, actualmente en Proyecto Producción Animal, E.E.L.E.
C.I.A.A.B.

■ FUENTES DE FOSFORO PARA PASTURAS

- I. INTRODUCCION
- II. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS FERTILIZANTES
- III. EFICIENCIA DE FUENTES DE FOSFORO EN SUELOS DEL NORESTE Y DEL LITORAL OESTE DEL URUGUAY.
 1. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGIA USADA EN LA COMPARACION DE FUENTES
 2. RESULTADOS DEL NORESTE
 3. RESULTADOS DEL LITORAL OESTE
- IV. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA RELATIVA DEL HIPERFOSFATO
 1. FACTORES DEL SUELO
 1. A. Noreste
 1. B. Litoral Oeste
 1. C. Análisis Conjunto
 1. D. Relación entre propiedades del suelo que pueden afectar la eficiencia relativa
 2. ESPECIE CONSIDERADA
 3. GRANULACION
 4. REFERTILIZACION
- V. COMO DECIDIR LA FUENTE DE FOSFORO QUE SE DEBE USAR
- VI. BIBLIOGRAFIA

■ COMPARACION DE FUENTES DE FOSFORO PARA

PASTURAS EN UN SUELO DE BASALTO

- I. INTRODUCCION
- II. MATERIALES Y METODOS
- III. RESULTADOS Y DISCUSION
 1. PRODUCCION TOTAL Y POR ESPECIE
 2. COMPARACION DE FUENTES DE FOSFORO
- IV. CONCLUSIONES
- V. BIBLIOGRAFIA

- Fuentes de fósforo para PASTURAS -

ALEJANDRO E. MORON

INTRODUCCION

Los fertilizantes fosfatados simples en Uruguay se usan fundamentalmente para la fertilización de pasturas. Comercialmente hay dos fertilizantes que se destacan sobre el resto: el superfosfato y el hiperfosfato (Ver Cuadro 1).

Dentro de las decisiones a adoptar en los mejoramientos de pasturas la fuente de fósforo a utilizar es uno de los interrogantes a contestar. La información básica utilizada en esta publicación proviene de dos series de ensayos en los cuales se compara el hiperfosfato vs. el superfosfato. Una de las series fue ubicada en la zona Litoral Oeste, iniciándose los experimentos en 1967 por parte de la Estación Experimental La Estanzuela. La otra serie fue ubicada en la zona Noreste, comenzándose los ensayos en el año 1975 por la Estación Experimental del Norte.

Los objetivos del presente trabajo son:

- Cuantificar la eficiencia relativa de los dos principales fertilizantes fosfatados en distintos suelos.
- Buscar relaciones entre los distintos valores de eficiencia con propiedades químicas de los suelos. El contar con características del suelo (obtenidos en análisis de rutina) asociadas con eficiencia de fuentes de fósforo, permitiría orientar sobre el fertilizante a utilizar en suelos no incluidos en los experimentos.
- Fijar un criterio económico para decidir la elección del tipo de fertilizante fosfatado en cada caso.

Cuadro 1: Consumo porcentual de fertilizantes fosfatados simples según fuentes.

	HIPERFOSFATO o/o	SUPERFOSFATO o/o	HARINA de HUESO TRIFOS MEZCLAS o/o
1979	42	54	4
1980	27	61	12

FUENTE: Comisión Honoraria del Plan de Desarrollo Agropecuario.

II. CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS FERTILIZANTES

Hiperfosfato (Fosfato de Gafsa) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ proviene de fosforitas sedimentarias a las cuales se les aplica un tratamiento mecánico de molienda.

El valor fertilizante de los diferentes fosfatos está principalmente determinado por la energía de enlace entre el radical fosfato y los iones calcio (14).

Cuanto mayor sea esta energía menor será la solubilización del fósforo y su pasaje al fósforo "disponible" del suelo (14).

Como se puede observar en su fórmula química las fosforitas molidas no tienen acidez interna, o sea no tienen hidrógeno unido a su radical fosfato, por lo cual necesitan acidez para solubilizarse.

A los efectos de lograr su máxima eficiencia en general se recomienda aplicar en suelos ácidos, finamente molidos y mezclados con el suelo.

En nuestro país, en parte por los problemas que surgen en su aplicación, lamentablemente no se usan en la forma más eficiente (Ver Cuadro 2).

Cuadro 2: Consumo porcentual de fertilizantes fosfatados simples según estado físico. 1980.

	HIPERFOSFATO	SUPERFOSFATO
	o/o	o/o
POLVO	8,5	0,56
GRANULADO	91,5	99,44

FUENTE: Comisión Honoraria del Plan de Desarrollo Agropecuario.

Dada su baja solubilidad, las fosforitas molidas necesitan tiempo para reaccionar con el suelo y expresar su potencial. Por lo tanto, la comparación de las fosforitas con otras fuentes de fertilizantes fosfatados deberá tener en cuenta su efecto en el año de aplicación y en los años siguientes (efecto residual). Este comportamiento general se ejemplifica en las Figuras 1 y 2.

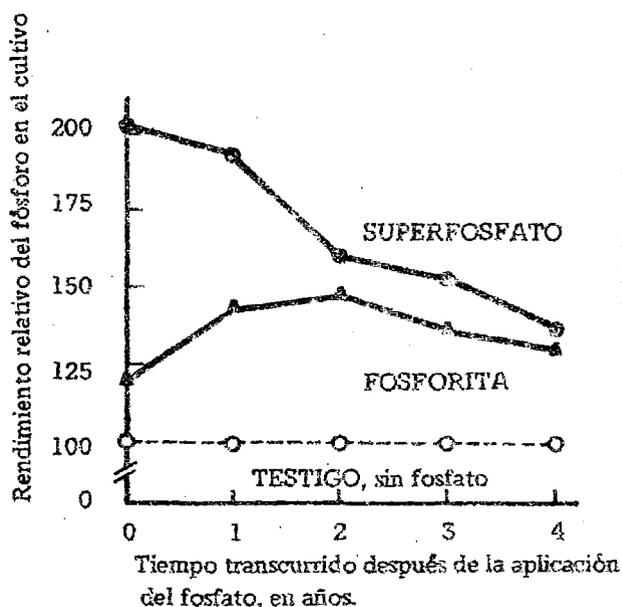


Figura 1: Rendimiento relativo de fósforo en plantas de cebada después de una sola aplicación de superfosfato y de fosforita equivalente a 147 kg. de fósforo por hectárea a un suelo ácido, en Gran Bretaña. (MATTINGLY y WIDDOWSON, 1963)
Tomado de BLACK, C.A. (2)

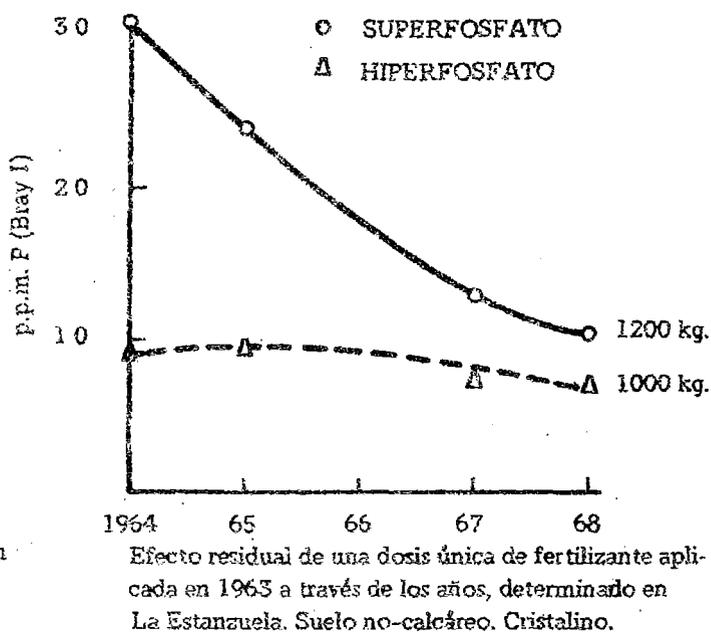


Figura 2: Fertilización de Pasturas. La Estanzuela (7).

Superfosfato : $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{SO}_4\text{Ca}$. Surge del proceso industrial de tratar las fosforitas con ácido sulfúrico.

Con esta acidificación, se logra una solubilidad en el momento de su aplicación que permite una gran disponibilidad inicial en el suelo para las plantas. Estas características lo hacen eficiente en un rango amplio de suelos y en cultivos anuales.

A medida que transcurre el tiempo esta disponibilidad va disminuyendo debido a los procesos de inmovilización que se dan al reaccionar el fertilizante con el suelo (4, 5, 6, 7, 13). Estos procesos varían según el tipo de suelo involucrado (8).

Su aplicación al estado de polvo disminuiría su eficiencia dado que aceleraría los procesos de inmovilización (reacción con el suelo) disminuyendo su disponibilidad más rápidamente a medida que transcurre el tiempo.

III. EFICIENCIA DE FUENTES DE FOSFORO EN SUELOS DEL NORESTE Y DEL LITORAL OESTE DEL URUGUAY.

III. 1. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA METODOLOGIA USADA EN LA COMPARACION DE FUENTES.

Existe una fundamentada metodología sobre comparación de fertilizantes (3, 9, 11, 15).

Los resultados presentados en este trabajo siguen en términos generales los criterios establecidos al respecto:

- A. Se ajustaron funciones de respuesta para cada uno de los fertilizantes probados. En la generalidad de los casos para el Noreste se ajustaron funciones cuadráticas. En los ensayos del Litoral, Castro *et al* (5) ajustaron funciones asintóticas.
- B. Para el Noreste se probó si las funciones ajustadas eran estadísticamente significativas. En el Litoral se probó estadísticamente la diferencia entre fertilizantes por medio del análisis de variancia (5).
- C. La comparación de eficiencia relativa se realizó por vía de calcular para las dos fuentes, a partir de las funciones ajustadas, las dosis necesarias para producir un mismo rendimiento.

Se calculó para la dosis de X kgs. de P_2O_5 como hiperfosfato el equivalente en superfosfato, o sea los kgs. de P_2O_5 como superfosfato que son necesarios para producir el mismo rendimiento que X kgs. de P_2O_5 como hiperfosfato.

La dosis de superfosfato se expresa como porcentaje de la dosis respectiva de hiperfosfato y a este índice se le llama "porcentaje de superfosfato equivalente" (PSE), o dicho en otras palabras es la eficiencia relativa del hiperfosfato.

Para una comprensión más cabal de la evaluación de eficiencia de distintas fuentes de fertilizantes fosfatados, es interesante analizar las limitaciones más importantes que manifiestan algunos procedimientos de evaluación aparentemente más sencillos y de menos esfuerzo experimental que el empleado.

- a. Comparaciones puntuales. La realización de comparaciones puntuales sin contar con las funciones de respuesta respectivas puede conducir a conclusiones equivocadas. Es necesario determinar funciones de respuesta de los fertilizantes a evaluar dado que la eficiencia cambia según la dosis a que se efectúa la comparación. Las comparaciones tienen validez en la medida que se realicen en la zona de respuesta. Como ejemplo se muestran en las Figuras 3 y 4; las funciones teóricas de respuesta de dos fertilizantes.

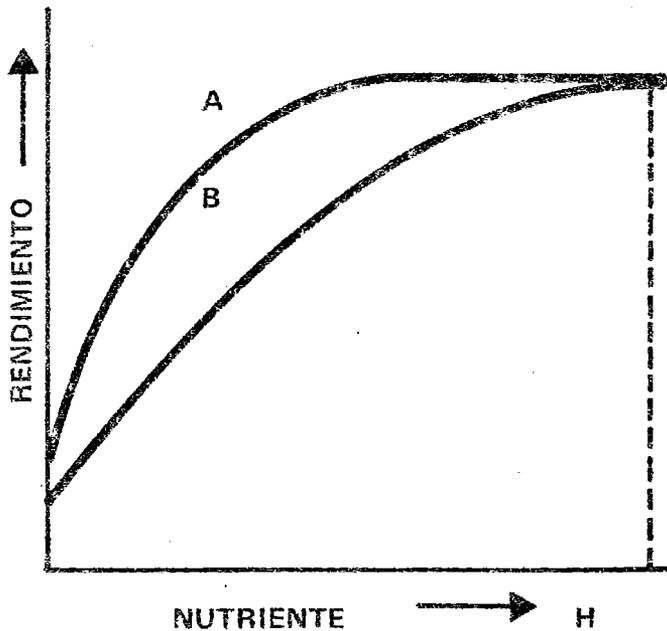


Figura 3: Funciones teóricas de respuesta de dos fertilizantes. Importancia de la dosis a la cual se realiza la comparación.

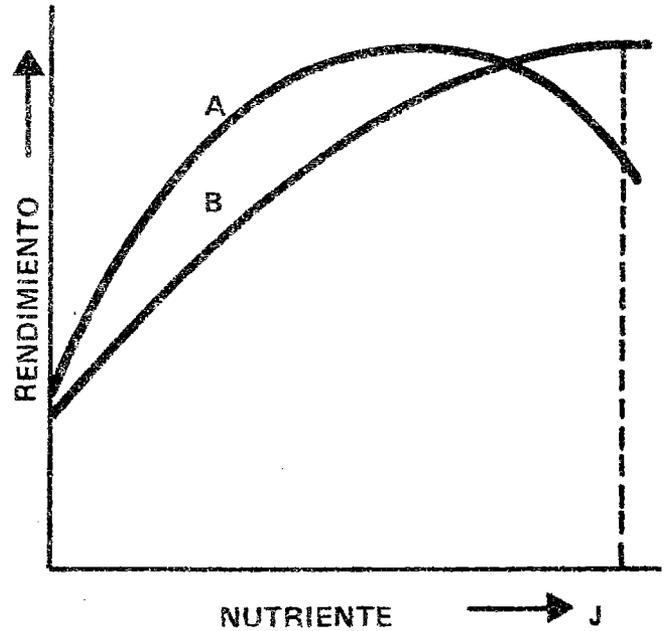


Figura 4: Funciones teóricas de respuesta de dos fertilizantes. Importancia de la dosis a la cual se realiza la comparación.

Si no se contara con las curvas de respuesta y se efectuaran comparaciones en dosis altas, se concluiría que no existe diferencia de eficiencias (H - Figura 3) o en un caso más extremo se podrían extraer conclusiones inversas a la realidad (J - Figura 4).

Aunque no se realizaron las comparaciones puntuales a dosis elevadas del nutriente, a las mismas conclusiones erróneas podrían arribarse si se parte de un suelo con un elevado nivel de disponibilidad del nutriente en cuestión.

Por otra parte, debemos decir que los rendimientos obtenidos con X dosis de fertilizante están determinados por el efecto del tratamiento y por el error experimental (causas y efectos no controlados). La estimación más cercana del efecto real del tratamiento X de fertilizante y por lo tanto del mínimo error experimental quedan expresadas por el valor calculado a partir de la función de respuesta.

b. Cálculos a partir de las funciones de respuesta. Aún con las curvas de respuesta se podrían cometer errores al realizar comparaciones.

En la Figura 5, se muestran dos funciones teóricas de respuesta, y en el Cuadro 3, se plantean los resultados obtenidos con dos formas de cálculo para comparar los fertilizantes A y B.

Una de las formas de evaluar los fertilizantes consiste en comparar los rendimientos absolutos obtenidos con los mismos kgs. de nutriente de A y B. Así las diferencias debidas a eficiencias entre A y B no la estamos refiriendo a los incrementos debidos a la fertilización.

Se comparan rendimientos absolutos que incluyen la producción del testigo y por lo tanto se diluyen las diferencias.

Cuanto mayor sea la importancia relativa del rendimiento del testigo mayor será el error.

La eficiencia relativa calculada como kgs. de nutriente de A y B para alcanzar los mismos rendimientos muestra valores de eficiencia muy diferentes de los obtenidos mediante la comparación en rendimientos absolutos.

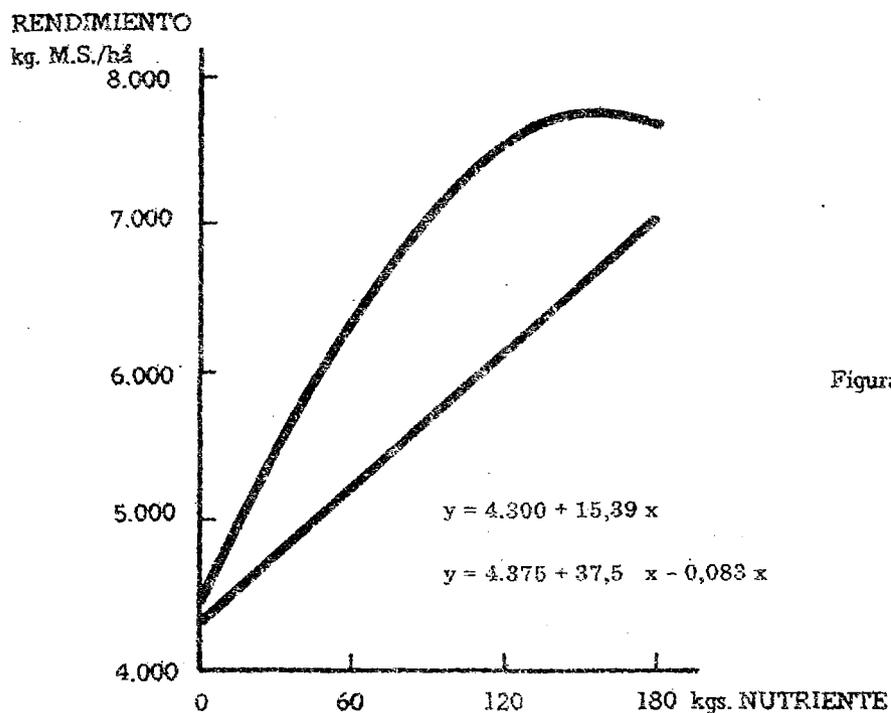


Figura 5: Funciones teóricas de respuesta de dos fertilizantes.

Cuadro 3: Dos formas de cálculo para comparar eficiencia entre fertilizantes.

COMPARACION en RENDIMIENTOS ABSOLUTOS		EFICIENCIA RELATIVA de B.
60	5 223	24
	———— = 83 o/o	———— = 40 o/o
120	6 325	60
	———— = 80 o/o	———— = 45 o/o
180	7 675	120
	———— = 84 o/o	———— = 50 o/o
	8 425	180

III. 2. RESULTADOS DEL NORESTE.

En el año 1975 se comenzaron cinco ensayos en distintos suelos vírgenes del Noreste con el propósito de probar niveles y fuentes de fósforo (superfosfato granulado vs. hiperfosfato en polvo) para pasturas convencionales. Estos experimentos fueron planeados y conducidos por los Ings. Agrs. Francisco Formoso y Mario Allegri.

En el Cuadro 4, se muestran las características de los suelos en los cuales se desarrollaron.

Cuadro 4: Principales características de los suelos usados en los experimentos del Noreste.

SUELO	MATERIAL MADRE	pH	M.O o/o	FOSFORO	
				Bray I	Resinas
Pradera arenosa Gris amarillenta	Areniscas de Tacuarembó	4,66	1,5	4,5	5,4
Planosol	Aluviones modernos	4,96	2,13	2	1,75
Gley Húmico	Aluviones modernos	6,0	5,16	3,53	3,96
Pradera Parda Máxima	Yaquari	5,73	3,66	2,8	2
Grumosol Negro	Frayle Muerto	5,56	6,0	3,93	3,97

Las especies sembradas fueron: Festuca, Trébol subterráneo, Trébol blanco y Lotus, excepto en el suelo arenoso que no se sembró Trébol blanco.

Se estudió la respuesta a cuatro dosis iniciales: 0, 60, 120 y 180 kgs. de P_2O_5 /há en las dos fuentes de fósforo.

Su evaluación se hizo mediante cortes y determinación de materia seca durante dos años, no existiendo fertilizaciones.

En el Cuadro 5, se muestran las eficiencias relativas del hiperfosfato en polvo respecto del superfosfato granulado para cinco suelos y dos edades de la pastura (promedio de 60 y 120 kgs. de P_2O_5 /há).

Cuadro 5: Eficiencia del hiperfosfato en polvo (Noreste).

SUELO	EDAD I.	EDAD II.	\bar{x} de EDADES
Planosol	90	78	84
Pradera arenosa Gris amarillenta	89	96	92,5
Pradera Parda	59	101	80
Gley Húmico	74	59	66,5
Vertisol	41	76	58,5
\bar{x}	70,6	82	76,3

En primer término se observa que dada una edad existen diferencias importantes debidas al tipo de suelo, variando en la Edad I, desde 41 o/o a 90 o/o. A su vez vemos que la eficiencia cambia con la Edad, en 3 de los 5 suelos estudiados ésta aumenta al pasar de la Edad I a la Edad II.

Sin dejar de tener en cuenta que existen diferencias importantes entre suelos, a los efectos de globalizar tendencias se promedió la eficiencia de los distintos suelos en cada edad y se realizó el histograma en la Figura 6.

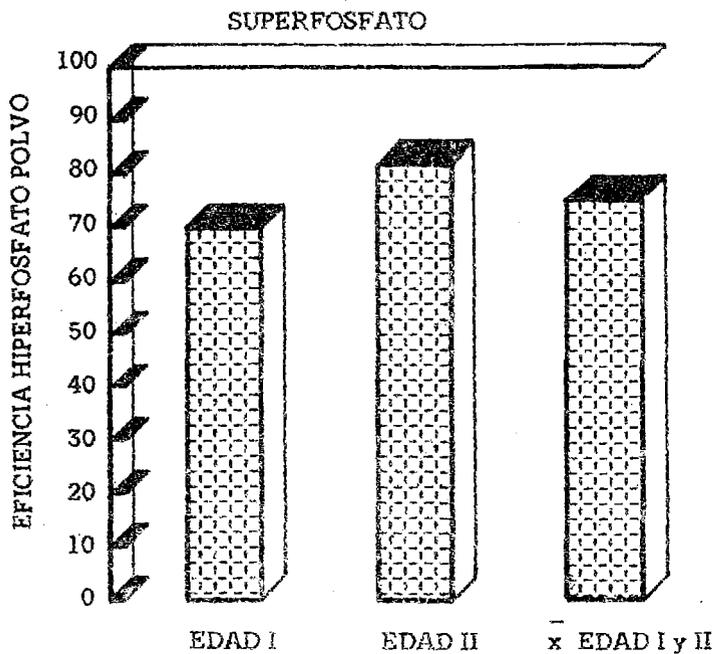


Figura 6: Eficiencia promedio del hiperfosfato en polvo de dos dosis de P_2O_5 (60 y 120 kg/há) en cinco suelos del Noreste.

III. 3. RESULTADOS DEL LITORAL OESTE.

En el año 1967, La Estanzuela inicia una serie de ensayos sobre fertilización en pasturas convencionales en cinco suelos del Litoral Oeste, siendo publicados sus resultados en el trabajo titulado "Fertilización de Pasturas en el Litoral Oeste" (Investigaciones Agronómicas Año 2. No. 1. CIAAB - MAP) por parte de Castro, J.L. et al (5).

Uno de los objetivos de este trabajo fue comprobar las eficiencias del hiperfosfato en polvo vs. el superfosfato granulado en diferentes suelos.

Las características de los suelos usados se muestran en el Cuadro 6. Las especies sembradas fueron: Trébol blanco, Trébol subterráneo y Festuca.

Cuadro 6: Características de los suelos usados en los experimentos del Litoral Oeste.

SUELOS	pH	M.O. o/o	Bray I.
1. Pradera Parda. Cristalino Chacra nueva.	5,8	5,4	9,2.
2. Pradera Parda. Libertad Chacra vieja.	6,2	4,0	7,6
3. Pradera Parda. Fray Bentos Chacra vieja.	5,6	3,9	11,2.
4. Pradera Negra. Fray Bentos Chacra nueva.	6,0	5,7	11,8
5. Pradera arenosa. Cretáceo Chacra nueva.	5,4	2,2	5,8

FUENTE: CASTRO, J.L. et al. 1976.

La metodología usada en la composición de fuentes de fósforo es básicamente la misma que se describió en el análisis de los resultados del Noreste, con la diferencia que las eficiencias para el hiperfosfato fueron calculadas para las dosis de 160 y 240 kgs. de P_2O_5 /há.

En el Cuadro 7, se muestran eficiencias promedio de las dos dosis para cada suelo y edad.

Cuadro 7: Eficiencia del hiperfosfato en polvo (Litoral).

SUELOS	EDAD II.	EDAD III.	EDAD IV.	\bar{x} de EDADES
Pradera Parda.Cristalino.	44	89	77	70
Pradera Parda.Libertad	43	72	97	71
P.Parda. Fray Bentos	21	23	28	24
P.Negra. Fray Bentos	19	44	34	32
P.Arenosa. Cretáceo	76	192	64	111
\bar{x}	41	84	60	62

FUENTE: CASTRO, ZAMUZ, BARBOZA.CIAAB.1976.

Dentro de cada edad existen diferencias importantes entre suelos, existiendo una tendencia de la eficiencia del hiperfosfato dentro de cada suelo a aumentar después del primer año posiblemente debido a la menor tasa de inmovilización de este fertilizante (5).

A los efectos de globalizar las tendencias, pero sin perder de vista que existen diferencias entre suelos, se grafica las eficiencias promedio de los cinco suelos en cada edad (Ver Figura 7).

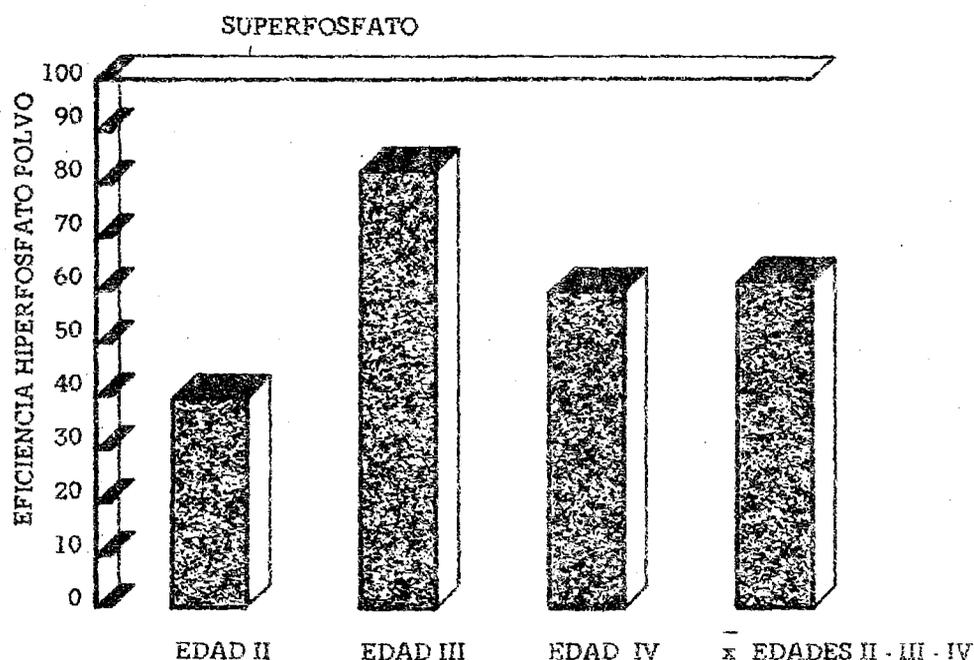


Figura 7: Eficiencia promedio del Hiperfosfato en polvo en dos dosis de P_2O_5 (160 y 240 kgs.) en cinco Suelos del Litoral. ADAPTADO de CASTRO, J.L. et al.

IV. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA RELATIVA DEL HIPERFOSFATO.

IV. 1. FACTORES DEL SUELO.

Numerosos trabajos de otros países demuestran que la eficiencia relativa de las fosforitas en relación a los fosfatos solubles aumenta al bajar el pH del suelo. No obstante ésto se ha encontrado en suelos de similar pH eficiencias relativas diferentes (Bennet y colaboradores; Jcos, L.L. y Black, C.A.; citados por Labello (9)).

En ensayos de fertilización de pasturas realizados en la década del 60, por La Estanzuela, se encontró que existían suelos de pH similar en los cuales la eficiencia de las fosforitas variaban en forma importante, atribuyendo la menor eficiencia a la presencia de calcio en abundancia que disminuiría la disponibilidad de las fosforitas (7). Así fue que se dividió los suelos en calcáreos y no calcáreos. Cabe destacar que el papel del calcio no fue cuantificado.

Más recientemente J.L. Castro y colaboradores (5) cuando interpretan el comportamiento relativo del hiperfosfato expresan que el comportamiento diferente de los dos fertilizantes en estos suelos no se explica totalmente por el pH de los mismos. Sostienen que esta falta de relación entre pH y el rendimiento de la fosforita es más marcado cuando se tiene en cuenta mayor rango de suelos. Concluyen que probablemente otros factores como contenido de materia orgánica, saturación de bases y capacidad de intercambio podrían explicar estas diferencias.

De acuerdo con la eficiencia relativa del hiperfosfato en polvo calculado en los ensayos del Noroeste así como en base a los datos presentados por J.L. Castro y colaboradores (5) se procedió a estudiar la relación entre eficiencia (variable dependiente) vs. pH y Materia orgánica (variables independientes).

IV. 1 A. Noroeste. Del análisis de los coeficientes de regresión (Ver Cuadro 8) surge tal cual se esperaba que al aumentar los valores de pH de los suelos disminuye la eficiencia relativa del hiperfosfato en polvo frente al superfosfato granulado.

Los coeficientes de regresión para la materia orgánica mostraron que al igual que el pH, los aumentos en el contenido de materia orgánica en los suelos afectaban en forma negativa la eficiencia del hiperfosfato.

Cuadro 8: Ecuaciones de regresión y correlación lineal Noroeste.

EQUACION	r	SIGNIFICACION	
		$H_0: r=0$	$H_0: r < 0$
E1- 60* = 110,24-11,61 M.O.	-090	2 o/o	
E1-120 = 98,09- 6,61 M.O.	-069	9,7 o/o	
E1̄ = 104,97- 9,07 M.O.	-084	3,9 o/o	
E2- 60 = 100,56- 6,44 M.O.	-067	10,8 o/o	
E2-120 = 106,17- 6,12 M.O.	-055	17,0 o/o	
E2̄ = 100,2 - 4,93 M.O.	-056	16,2 o/o	
EPDE = 102,14- 7,0 M.O.	-098	0,2 o/o	
E1- 60 = 221,19-28,76 pH	-064	12,2 o/o	
E1-120 = 169,41-17,78 pH	-053	17,5 o/o	
E1̄ = 195,66-23,24 pH	-062	13,4 o/o	
E2- 60 = 125,19- 8,99 pH	-027	33,4 o/o	
E2-120 = 138,55-19,5 pH	-051	19,1 o/o	
E2̄ = 156,5 -13,84 pH	-046	22 o/o	
EPDE = 176 -18,5 pH	-075	7,3 o/o	

* Referencias

E x - z E = eficiencia relativa del hiperfosfato en polvo

X = edad de la pastura

Z = dosis de P_2O_5 /há como hiperfosfato en polvo a lo cual se realizó la comparación

- = promedio de las dos dosis

EPDE = eficiencia promedio de dosis y edades

En el Cuadro 9, se muestran los coeficientes de determinación (r^2) indicando el porcentaje de la variación de la variable dependiente (eficiencia del hiperfosfato) es explicado por la variación de la variable dependiente (pH y/o materia orgánica).

Cuadro 9: Coeficientes de determinación (r^2).

	E1-60*	E1-120	E1	E2-60	E2-120	E2	EPDE
o/o M.O.	080	048	070	045	030	032	096
pH	041	029	038	007	026	021	056
o/o M.O. - pH	084	048	072	071	031	032	098

* Referencias

E_{x-z} = E = eficiencia relativa del hiperfosfato en polvo
 X = edad de la pastura
 Z = dosis de P_2O_5 /há como hiperfosfato en polvo a lo cual se redujo la comparación
 - = promedio de las dos dosis
 EPDE = eficiencia promedio de dosis y edades

Del Cuadro 9, se pueden realizar las siguientes consideraciones:

- La materia orgánica en todos los casos parece explicar mejor que el pH la variación en eficiencia. En particular se muestra como un buen indicador en relación con la eficiencia promedio de edades y dosis, llegando a explicar el 96 o/o.
- Cuando se procede a ajustar correlaciones múltiples con las dos variables materia orgánica y pH (Cuadro 10) se nota que los coeficientes de determinación múltiples (Cuadro 9) no explican prácticamente más de lo que la materia orgánica sola llega a explicar. Parecería que la materia orgánica explicaría lo mismo que el pH más otras características del suelo que el pH no las reflejaría.

Cuadro 10: Ecuaciones de regresión y correlación múltiple.

	r^2
E1-60* = 42,55 + 15,06 pH - 15,24 M.O.	084
E1-120 = 80,23 + 3,97 pH - 7,57 M.O.	048
E1 = 62,42 + 9,27 pH - 11,30 M.O.	072
E2-60 = -38,75 + 31 pH - 13,91 M.O.	071
E2-120 = 134,13 - 6,22 pH - 4,62 M.O.	051
E2 = 92,25 + 1,10 pH - 5,199 M.O.	032
EPDE = 78,84 + 5,19 pH - 8,25 M.O.	098

* Referencias

E_{x-z} = E = eficiencia relativa del hiperfosfato en polvo
 X = edad de la pastura
 Z = dosis de P_2O_5 /há como hiperfosfato en polvo a lo cual se realizó la comparación
 - = promedio de las dos dosis
 EPDE = eficiencia promedio de dosis y edades.

En la Figura 8, se muestra la relación entre la eficiencia de 60 unidades de P_2O_5 iniciales como hiperfosfato en las edades 1 y 2 vs. contenido de materia orgánica de los suelos del Noreste.

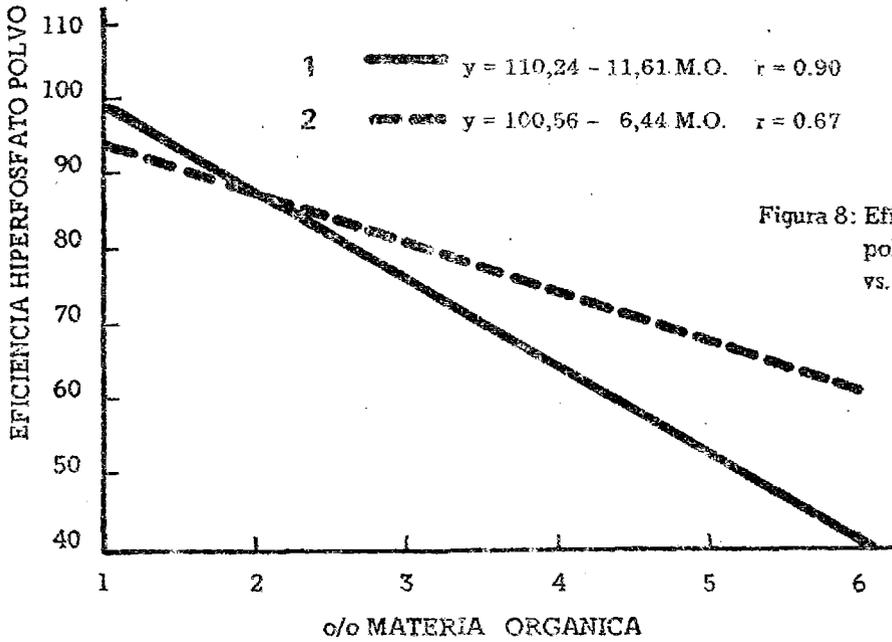


Figura 8: Eficiencia relativa del hiperfosfato en polvo (60 kgs. P_2O_5) en Edades 1 y 2 vs. materia orgánica del suelo (Noreste)

Por último en la Figura 9, se relaciona la materia orgánica vs. la eficiencia promedio de dosis y edades.

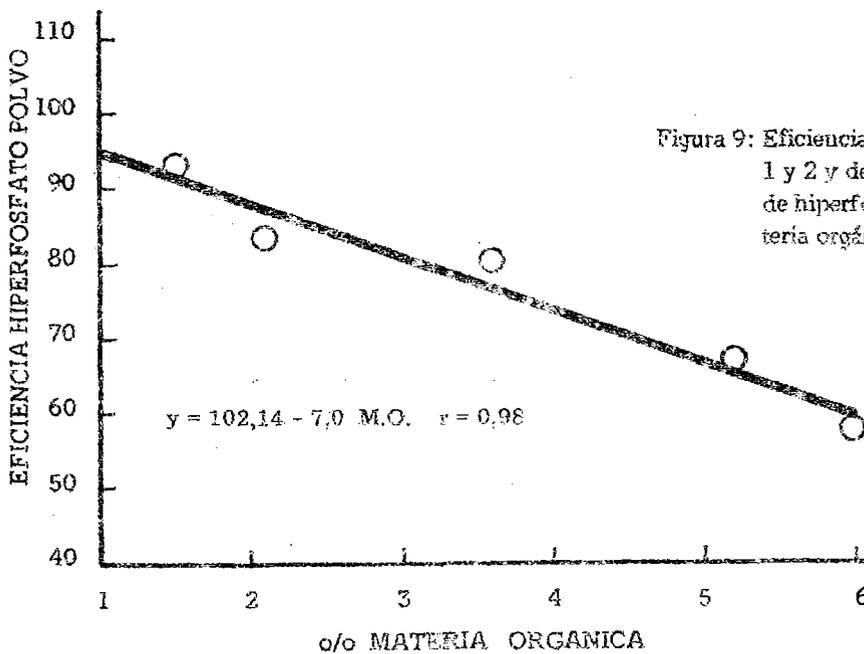


Figura 9: Eficiencia relativa promedio de las edades 1 y 2 y de las dosis de 60 y 120 kgs. P_2O_5 /há de hiperfosfato en polvo vs. contenido de materia orgánica de los suelos (Noreste).

IV. 1. B. Litoral Oeste. En base a los datos presentados por J.L. Castro et al (5) se procedió a estudiar mediante análisis de correlación y regresión lineal la relación entre eficiencia del hiperfosfato vs. pH y materia orgánica como variables independientes. (Cuadro 11).

Cuadro 11: Ecuaciones de regresión y correlación lineal Litoral.

	EcuACION	r	SIGNIFICACION	
			$H_{0e} = 0$	$H_{ae} < 0$
$E\bar{2}^*$	= 240,5 - 34,5 pH	-047	21,3	o/o
$E\bar{3}$	= 721 - 109,9 pH	-053	18	o/o
$E\bar{4}$	= -149 + 36,1 pH	+039	74	o/o
EPDE	= 270,4 - 36 pH	-033	29,2	o/o
$E\bar{2}$	= 91,5 - 12,08 M.O.	-073	8,07	o/o
$E\bar{3}$	= 219 - 31,95 M.O.	-068	10,28	o/o
$E\bar{4}$	= 72,93 - 3,4 M.O.	-015	40,58	o/o
EPDE	= 127,8 - 15,7 M.O.	-063	12,67	o/o

Ecuaciones de regresión y correlación múltiple.

				r^2
$E\bar{2}$	= 107 - 3 pH	- 11,66 M.Org.		054
$E\bar{3}$	= 415,8 - 37,7 pH	- 26,7 M.Org.		048
$E\bar{4}$	= - 296 + 70,7 pH	- 12,8 M.Org.		040
EPDE	= 76,3 + 9,89 pH	- 17,05 M.Org.		040

*Referencias $E \bar{x}$ E = eficiencia relativa del hiperfosfato polvo
 X = edad de la pastura
 -- = promedio de las dos dosis (160 y 240 kgs. P_2O_5 /há hiperfosfato polvo)

Al igual que en el Noreste, los aumentos en el contenido de materia orgánica afectaron en forma negativa la eficiencia del hiperfosfato.

Del estudio de los coeficientes de determinación (Cuadro 12) surgen tendencias similares que para el Noreste: la materia orgánica parecería explicar mejor la variación en eficiencia que el pH. Sin embargo, la asociación entre estas variables para estos suelos es menos estrecha.

Cuadro 12: Coeficientes de determinación (r^2) Litoral Oeste.

	$E\bar{2}^*$	$E\bar{3}$	$E\bar{4}$	EPDE
M.O o/o	0,54	0,46	0,02	0,40
pH	0,22	0,28	0,16	0,11
M.O. - pH	0,54	0,48	0,40	0,40

* Referencias $E \bar{x}$ E = eficiencia relativa del hiperfosfato polvo
 X = edad de la pastura
 -- = promedio de las dos dosis (160 y 240 kgs. P_2O_5 /há hiperfosfato polvo)

IV. 1. C. Análisis Conjunto. Las dos series de ensayos (Noreste y Litoral) fueron instalados en años distintos y con manejos y especies diferentes. A su vez cabe destacar que los suelos diferían en su manejo anterior, variando en el Litoral desde chacra vieja a chacra nueva, no así en el Noreste donde se partió de suelos vírgenes. Todas estas consideraciones aumentarían el error experimental en un análisis conjunto. No obstante lo cual, se los analizó conjuntamente para comprobar si las tendencias se mantenían.

Para realizar el análisis conjunto se calculó la eficiencia relativa del hiperfosfato para las dosis inicial de 120 kgs. P_2O_5 /há para las dos series de ensayos en el segundo año de la pastura.

En las Figuras 10 y 11, se comprueba que el aumento de la materia orgánica y el pH siguen mostrando un efecto negativo sobre la eficiencia del hiperfosfato

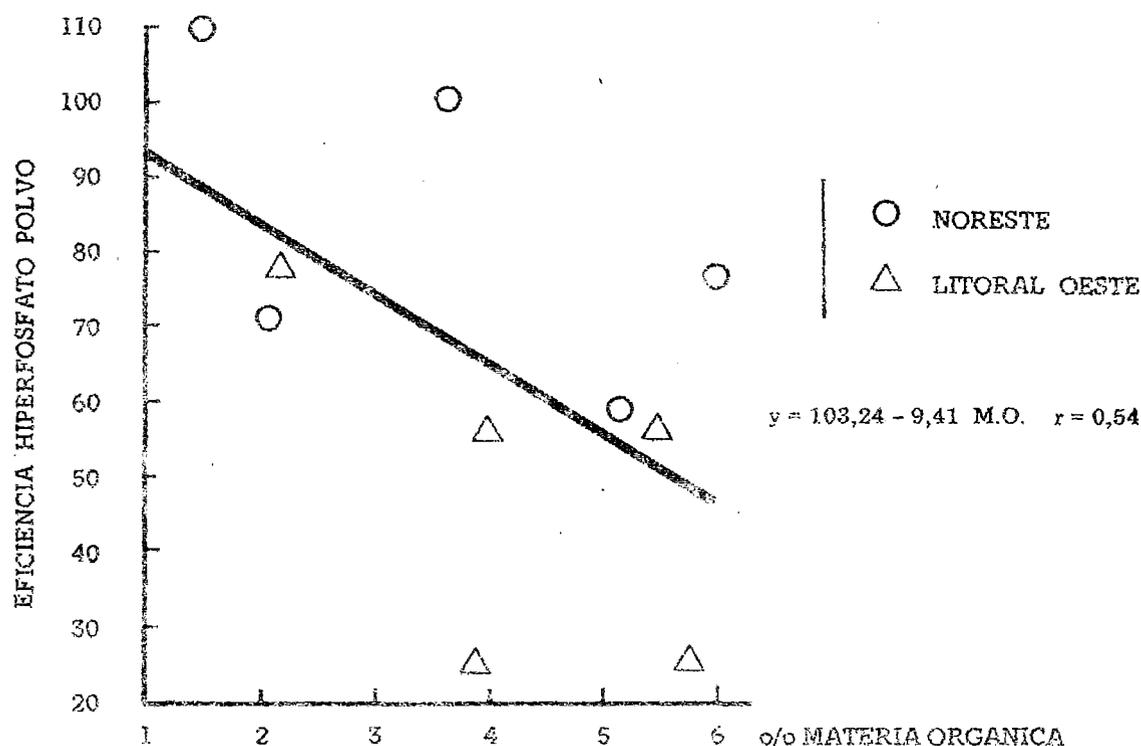


Figura 10: Eficiencia relativa del hiperfosfato en polvo (120 kgs. P_2O_5 /há) en Edad 2. vs. materia orgánica en diez suelos (Noreste y Litoral)

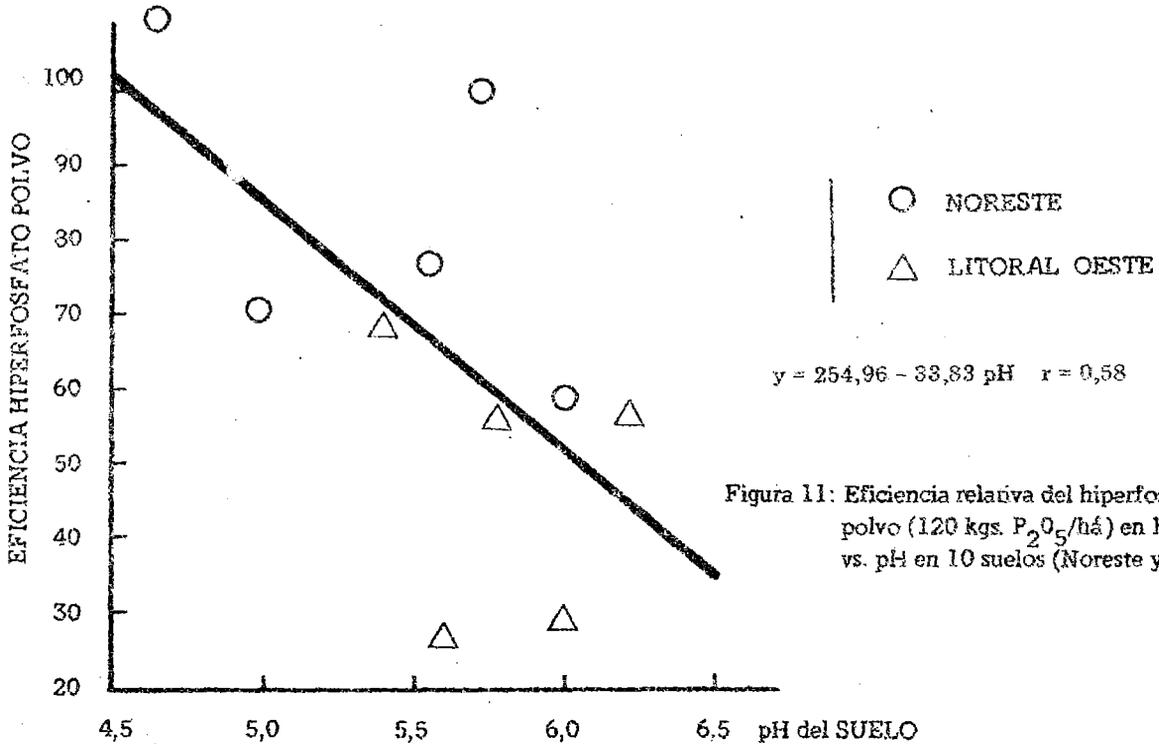


Figura 11: Eficiencia relativa del hiperfosfato en polvo (120 kgs. P_2O_5 /há) en Edad 2. vs. pH en 10 suelos (Noreste y Litoral).

IV. 1. D. Relación entre propiedades del suelo que pueden afectar la eficiencia relativa.

Cationes intercambiables del suelo son aquellos que estando retenidos por la fase sólida pueden intercambiarse con los cationes que existen en la solución del suelo sin alterar a los sólidos del suelo.

Existe un equilibrio entre cationes retenidos en fase sólida en forma intercambiable y los cationes en solución. A medida que las plantas toman cationes de la solución del suelo la fase sólida los repone.

Existen una serie de medidas de las propiedades de intercambio catiónico:

CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico): es la cantidad total de cationes intercambiables medida en miliequivalentes cada 100 gramos de suelo. El origen de las propiedades de intercambio se encuentra en la materia orgánica y en la arcilla.

BT (Bases Totales): es la suma de Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio (Intercambiables) medida en miliequivalentes cada 100 gramos de suelo.

o/o de Saturación: Es el porcentaje del total de posiciones de intercambio (CIC) que se encuentran ocupadas por las Bases Totales Intercambiables (BT). El resto de las posiciones de intercambio está ocupado por Hidrógeno y en algunos suelos ácidos por Aluminio.

Estas tres medidas se pueden visualizar en el esquema mostrado en la Figura 12.

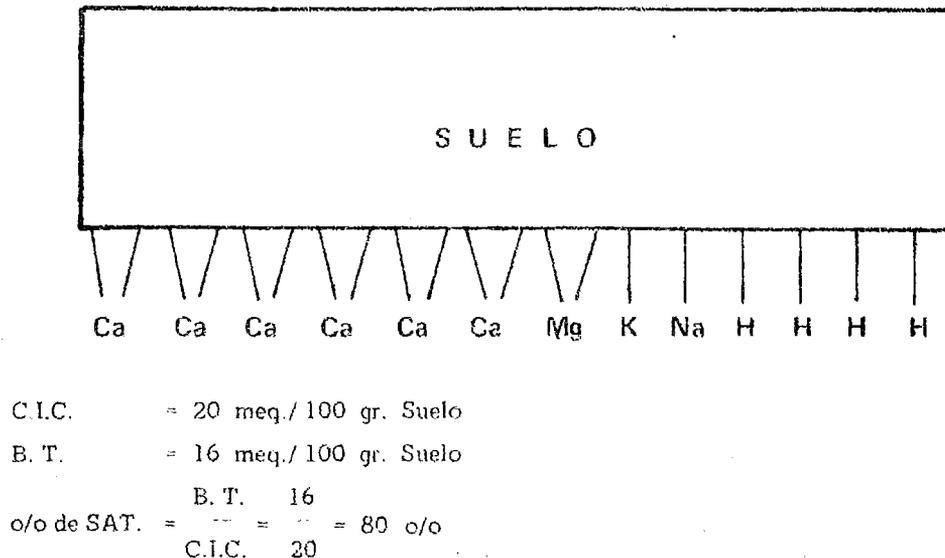


Figura 12: Esquema de las propiedades de intercambio catiónico.

En la Figura 13, se esquematizan dos tipos de suelo y sus propiedades en los cuales el hiperfosfato presenta alta y baja eficiencia relativa.

En la primera situación tenemos un suelo con bajo contenido de materia orgánica y arcilla, baja CIC y desaturado en bases. Esta situación permite una acidificación del hiperfosfato y por lo tanto una solubilización y utilización por las plantas.

En el otro extremo tenemos un suelo con alto contenido de arcilla y materia orgánica, alta CIC y una saturación en bases del 100 o/o. En esta situación el fósforo aportado por el hiperfosfato no puede solubilizarse y por lo tanto su utilización por las plantas será muy baja.

Al pasar de una situación de alta eficiencia a una de baja eficiencia aumentan su tenor una serie de propiedades: porcentaje de arcilla, porcentaje de materia orgánica, CIC, BT, porcentaje de saturación y pH.

En los ensayos del Noreste así como los del Litoral Oeste se buscó una relación entre eficiencia y el pH y/o materia orgánica solamente dado que no se realizaron los análisis correspondientes a las otras propiedades citadas.

Con el propósito de aclarar cual podría ser el efecto del pH y especialmente el de la materia orgánica en la eficiencia se procedió a analizar su relación con otras propiedades. Para este propósito se tomaron los datos de 39 suelos representativos del Uruguay, utilizados en tesis de Escudero y Morón (8).

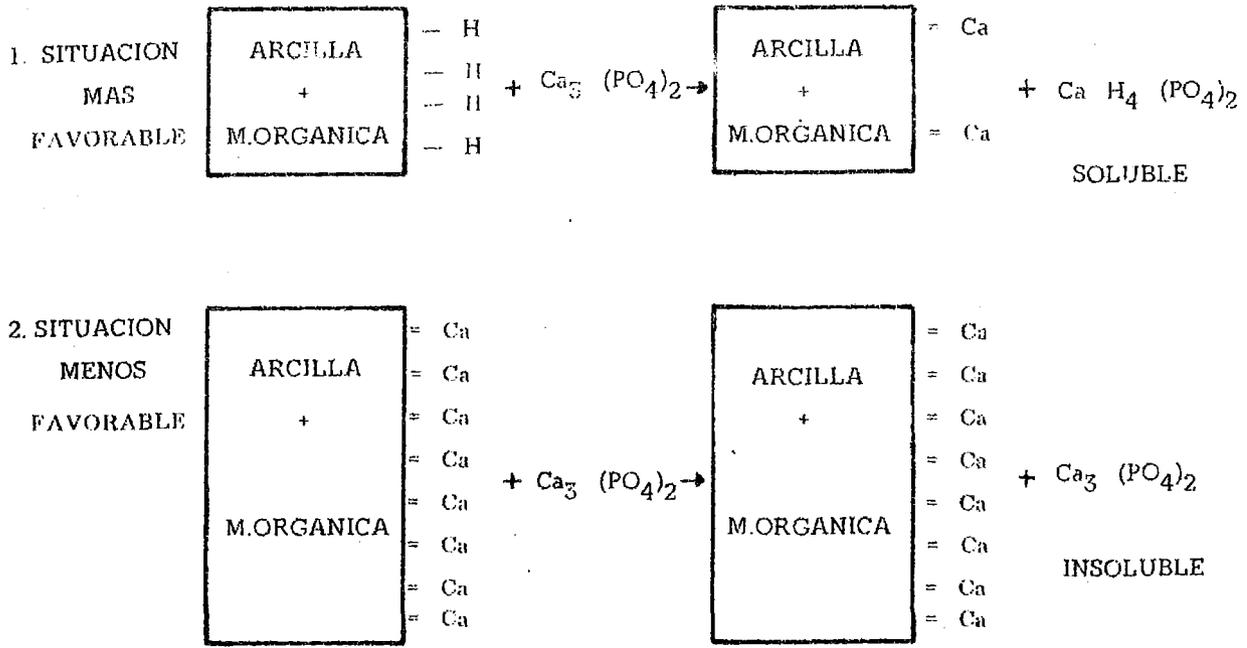


Figura 13: Esquema del comportamiento del hiperfosfato en dos suelos extremos

En el Cuadro 13, se presentan las principales características químicas de los 39 suelos

Cuadro 13: Principales características químicas de 39 suelos representativos de Uruguay.

	\bar{X}	σ	R A N G O		Coef. Var.
pH	5,94	0,62	4,5	- 7,5	10,43
o/o Materia Orgánica	4,42	2,15	0,88	- 9,31	48,64
o/o Arcilla	27,5	10,86	7,4	- 50,1	39,49
Capacidad de Intercambio Catiónico	21,01	12,50	6,1	- 51,4	59,5
Bases Totales	17,8	12,38	1,5	- 48	69,6
o/o de Saturación en Bases	78,1	16,55	26,8	- 100	21,19
Bray I ppm (37 suelos)	3,89	2,69	0,28	- 13	69

\bar{X} = promedio

σ = desviación standard

Coef. Var. = $\frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100$

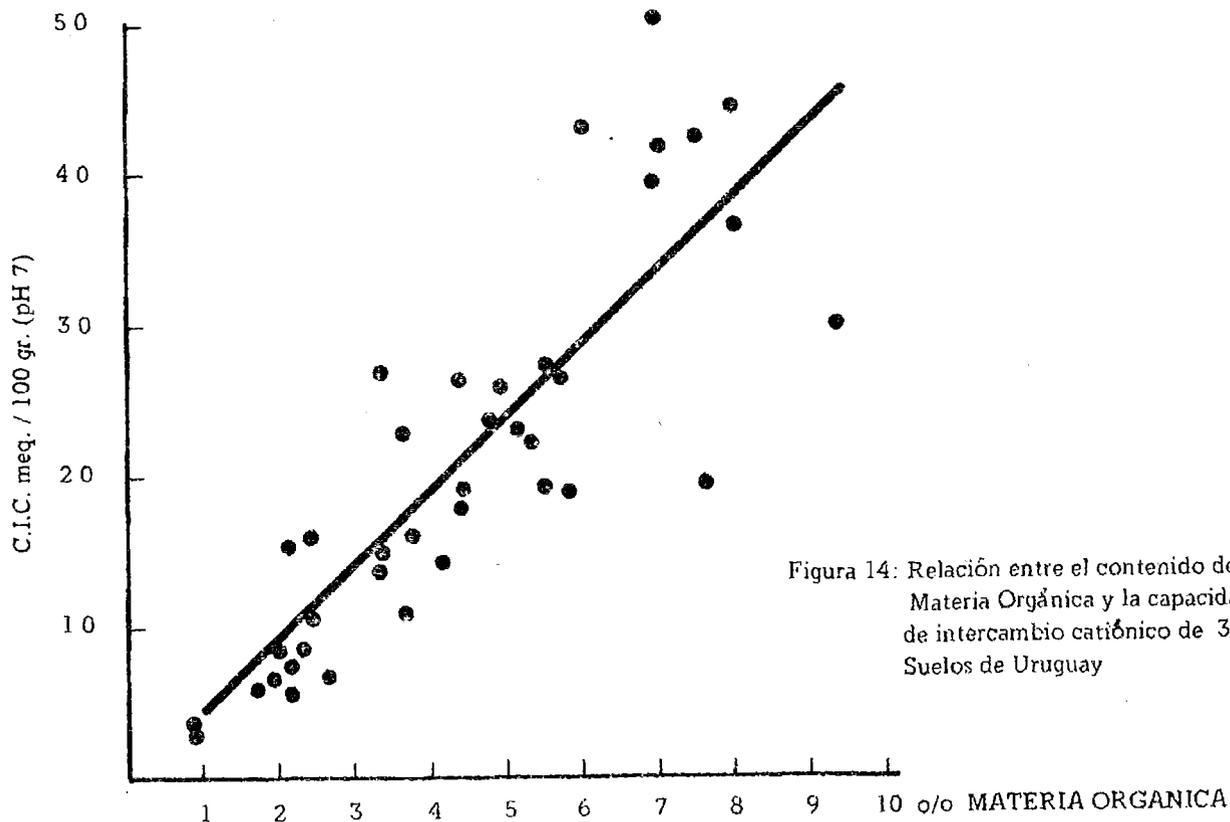
En el Cuadro 14, se presentan las ecuaciones de regresión lineal y sus correspondientes coeficientes de determinación. Así vemos una alta asociación entre materia orgánica y la CIC, BT y porcentaje de arcilla.

Cuadro 14: Ecuaciones de regresión y coeficientes de determinación. (r^2).

o/o Arcilla	=	9,4 + 4,09	M.O.o/o
o/o Arcilla	=	24,87 + 8,82	pH
BT	=	- 2,64 + 4,62	M.O.o/o
BT	=	- 54,99 + 12,26	pH
CIC	=	- 0,31 + 4,8	M.O.o/o
CIC	=	- 38,71 + 10,06	pH
o/o Sat.	=	- 153,77 + 30,59 log. pH	
o/o Sat.	=	63,27 + 11 log. M.O.o/o	
o/o M.O.	=	5,45 + 0,1098 pH	

	ARCILLA	BT	CIC	o/o SAT.	pH
M.O.	0,66***	0,64***	0,70***	0,14**	0,15**
pH	0,25***	0,37***	0,25***	0,67***

Es lógica la alta asociación entre materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico (Figura 14) ya que existe una relación directa de causa - efecto.



La Figura 15, nos muestra la alta asociación entre materia orgánica y bases intercambiables totales. Es conocida la selectividad de la materia orgánica por el Calcio, que dentro de las bases totales muestra con neto predominio cuantitativo sobre el resto.

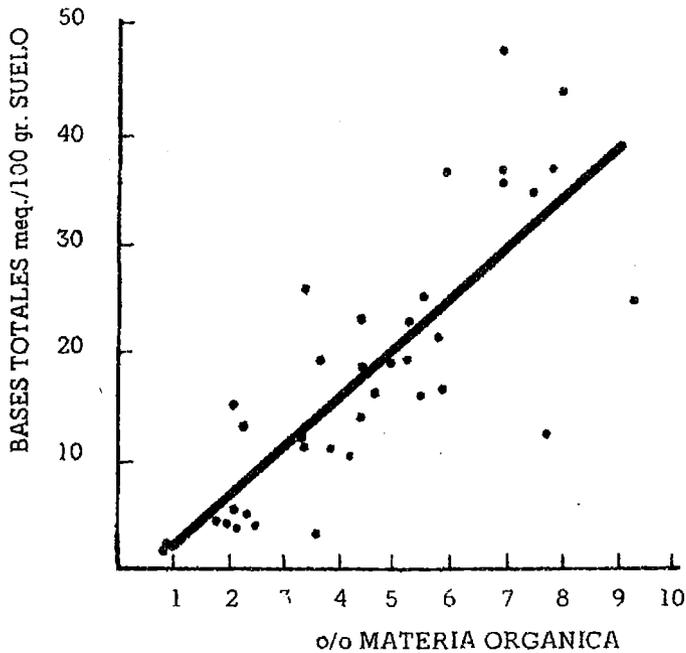


Figura 15: Relación entre el contenido de materia orgánica y el contenido de Bases Totales (Ca +Mg.+K.+Na) en 39 suelos de Uruguay.

En la Figura 16, se constata que a medida que aumenta el contenido de arcilla en los suelos en general aumenta el contenido de materia orgánica. Thompson (16) discute las posibles causas de esta relación.

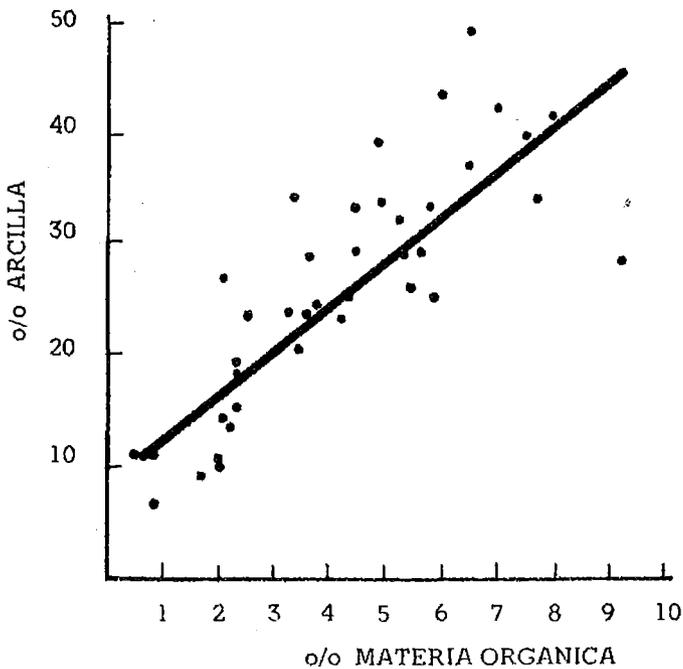
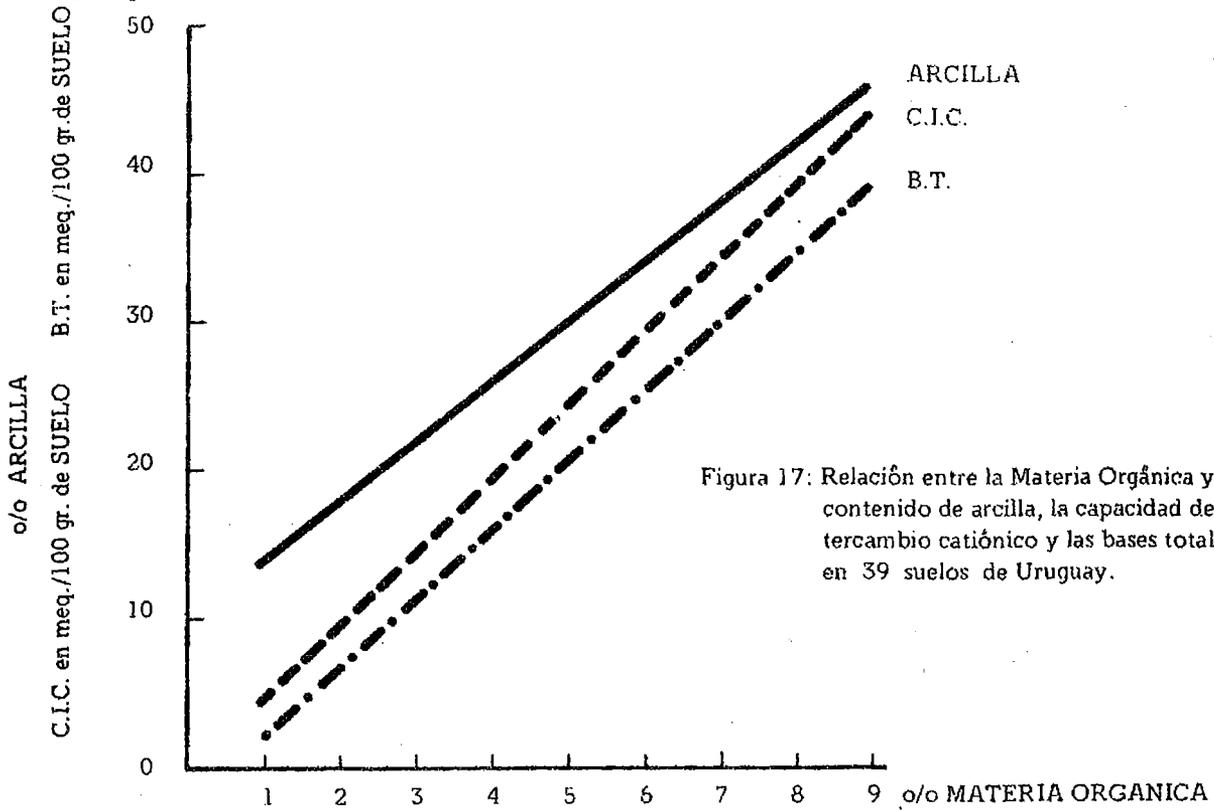
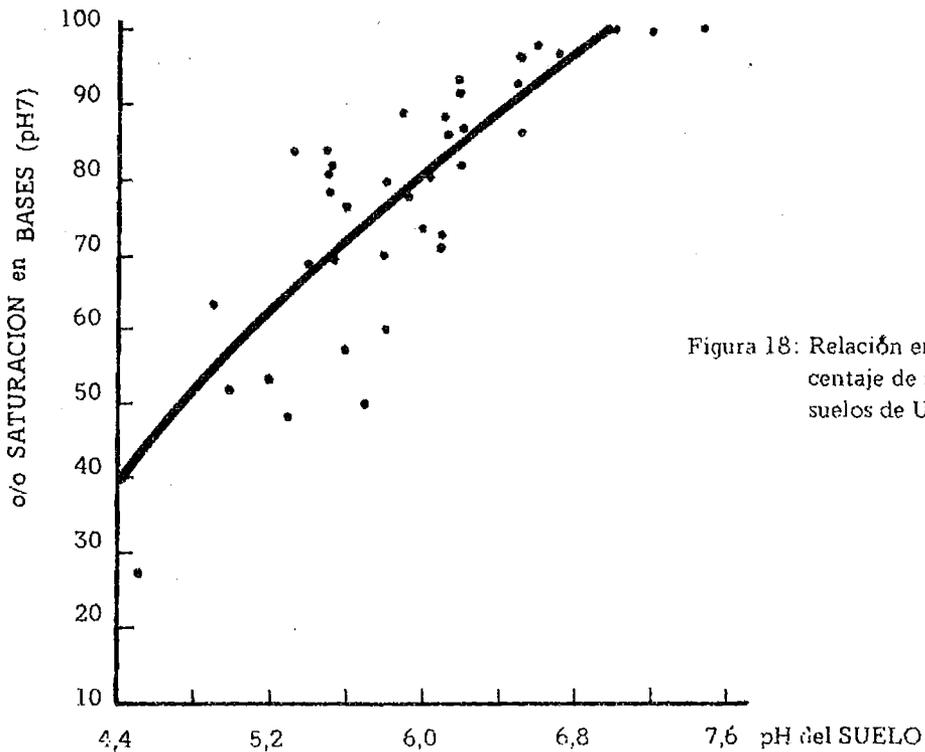


Figura 16: Relación entre el contenido de Materia orgánica y el porcentaje de arcilla de 39 suelos de Uruguay.

La Figura 17, sintetiza las relaciones anteriormente vistas.



La Figura 18, nos muestra la relación entre pH y porcentaje de saturación en bases.



Vistas las relaciones anteriores, se puede intentar analizar el efecto de la materia orgánica sobre la eficiencia del hiperfosfato.

No está claro si existe efecto directo de la materia orgánica sobre la eficiencia. Quizas más que un efecto directo de la materia orgánica, ésta sería un indicador del tipo de suelo. La relación de la materia orgánica con tipo de suelo fue descrita al analizar su asociación con otras importantes propiedades: textura, CIC y BT.

Una de las ventajas de la materia orgánica como posible indicador de la eficiencia proviene del hecho de integrar los análisis de rutina de los laboratorios de suelos.

IV. 2. ESPECIE CONSIDERADA.

Existen diferencias entre especies en la habilidad para tomar fósforo proveniente de las fosforitas.

Las raíces con alta capacidad de intercambio catiónico y alta disociación ácida podrán utilizar mejor el fósforo proveniente de las fosforitas (10). A su vez especies perennes son más eficientes que las anuales.

A vía de ejemplo se presentan los resultados de una serie de ensayos llevados a cabo en Inglaterra por Cooke, G. W. (citado por Russell y Russell (14)). (Ver Cuadro 15).

Cuadro 15: Experimentos de campo en el Reino Unido, 1951 - 53.

Número de kilos de superfosfato necesarios para dar la misma respuesta que 100 kgs. de fertilizante.

SUELOS	BRASSICA			*	PAPA		
	MUY ACIDO	ACIDO	NEUTRO	*	MUY ACIDO	ACIDO	NEUTRO
	<pH 5,5	pH 5,5 - 6,5 >	pH 6,5	*	<pH 5,5	pH 5,5 - 6,5 >	pH 6,5
Número de experimentos	10	22	3	*	10	15	9
Fosfato de roca de Gafsa	91	86	12	*	34	37	4

FUENTE: COOKE, G.W., 1956.

Es clara la mayor eficiencia de Brassica para utilizar el fósforo proveniente de las fosforitas.

Russell y Russell (14) reportan que algunas especies como la Brassica tienen capacidad considerable para utilizar fosfatos insolubles; leguminosas como Trébol blanco, Trébol rojo y Alfalfa tienen capacidad intermedia; y por último cereales, gramíneas y papa tienen capacidad menor.

IV. 3. GRANULACION DE LAS FOSFORITAS.

Es conocido que la granulación de las fosforitas perjudica su contacto con el suelo y por lo tanto su disolución y toma por las raíces.

Lamentablemente no existen resultados nacionales que cuantifiquen el efecto de la granulación en pasturas.

Citaremos simplemente como ilustración resultados nacionales de fertilización de Maíz sobre praderas arenosas llevados a cabo por Labella y Améndola (9) (Ver Cuadro 16).

Tal cual lo expresan sus autores la granulación del hiperfosfato redujo notoriamente su eficiencia.

Cuadro 16: Porcentaje de Superfosfato equivalente para cada una de las fuentes probadas a tres niveles de fertilización. (60, 120 y 180 kg/há P_2O_5 total). Maíz sobre pradera arenosa.

FUENTE	DOSIS DE APLICACION		
	60	120	180
SUPERFOSFATO	100	100	100
HIPERFOSFATO POLVO	59	58	59
HIPERFOSFATO GRANULADO	21	28	42

FUENTE: LABELLA, AMENDOLA, CIAAB-EEN. 1977.

IV. 4. REFERTILIZACIONES.

Los resultados experimentales de los ensayos del Noreste y del Litoral Oeste provienen de comparaciones del efecto de fertilizaciones iniciales, o sea incorporado al suelo, sin refertilizaciones para así poder evaluar el efecto residual.

El enterrado y mezclado del fertilizante es una práctica que por las características del fertilizante, relativamente favorece más al hiperfosfato.

Por lo tanto, la eficiencia del hiperfosfato en las refertilizaciones (cobertura) puede disminuir. Esta disminución podría ser mayor si se aplica granulado.

Al respecto Black, C.A. dice que los fertilizantes fosfatados de baja solubilidad son relativamente ineficaces si su aplicación es sólo superficial, pues una mínima parte del fósforo que contienen puede pasar al perfil del suelo por acción de las lluvias (2).

El efecto negativo de concentrar el fósforo en la superficie sería minimizado cuanto más superficial sea el sistema radicular involucrado (Trébol blanco) (1).

V. COMO DECIDIR LA FUENTE DE FOSFORO QUE SE DEBE USAR.

La decisión de la fuente de fósforo a usar en la fertilización de pasturas está dada por la relación entre dos variables:

- eficiencia relativa de las fuentes
- relación de precios entre la unidad de fósforo en ambas formas.

Se ejemplificará esta situación mediante un caso sencillo.

Se parte del objetivo de obtener un X nivel productivo, para lo cual se puede usar dos insumos sustitutivos A ó B.

La unidad del insumo A, cuesta \$ 100 y la unidad del insumo B, cuesta \$ 50. (Ver Cuadro 17).

Cuadro 17: Elección de insumos sustitutivos.

INSUMO	\$ UNIDAD INSUMO	UNIDADES de INSUMO USADAS	COSTO	NIVEL PRODUCTIVO	EFICIENCIA de B	Relación de PRECIOS
					UNIDADES de A	\$ UNIDADES B
					x 100	x 100
					UNIDADES de B	\$ UNIDADES A
A	100	1	100	X	-----	-----
B	50	2	100	X	50 o/o	50 o/o
B	50	3	150	X	33 o/o	50 o/o
B	50	1,5	75	X	66 o/o	50 o/o

Se sabe que para lograr ese nivel productivo se debe consumir una unidad del insumo A, lo cual quiere decir que tiene un costo total de \$ 100.

Para que el uso del insumo B, sea indiferente su consumo para lograr el nivel productivo X debe ser de 2 unidades, ya que esto tiene un costo total de \$ 100.

Suponiendo que el consumo del insumo B, necesario para lograr el mismo nivel productivo (X) es mayor a 2 unidades, por ejemplo 3, entonces el uso del insumo A, es más económico ya que el costo total de B, es de \$ 150.

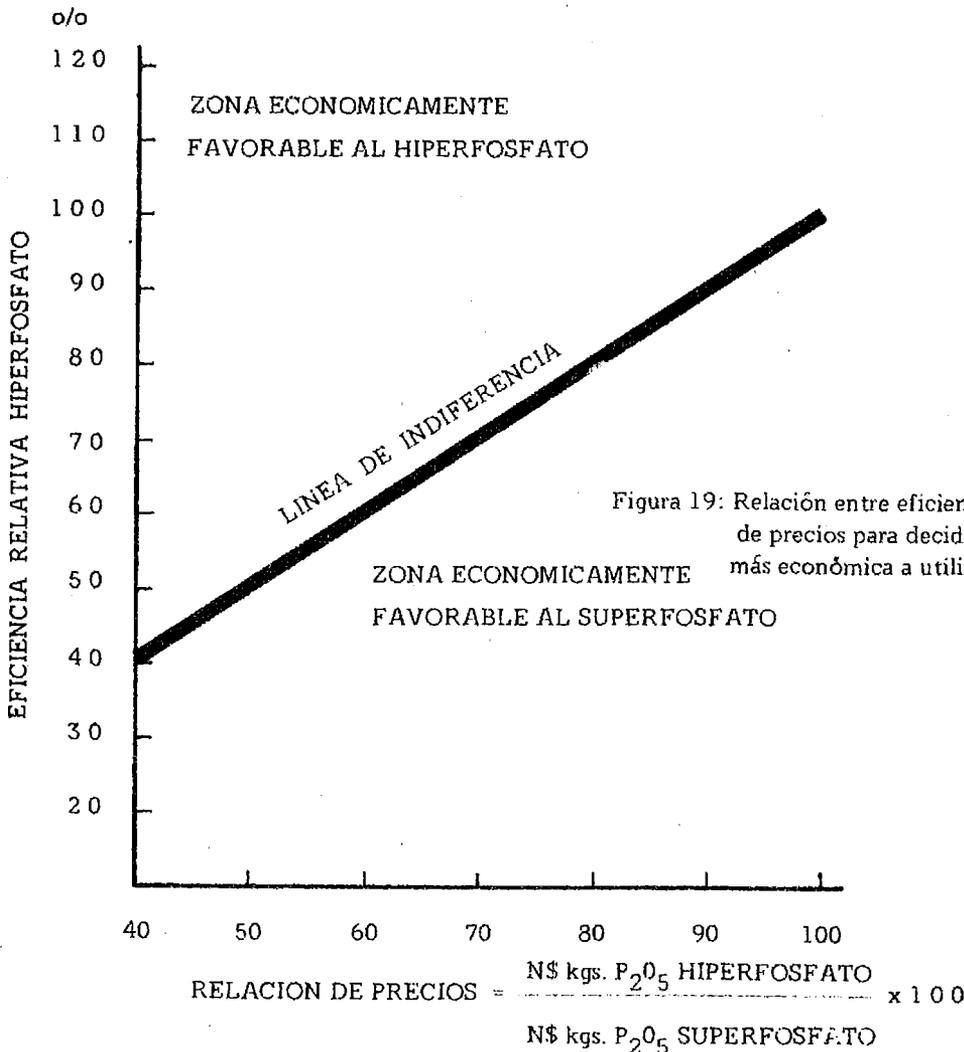
Por otra parte, si el uso necesario del insumo B, es menor a 2, por ejemplo 1,5, entonces B, es más conveniente ya que el costo total es de \$ 75.

En otras palabras cuando la eficiencia de B, se iguala a la relación de precios es indiferente el uso de uno u otro insumo.

Cuando la eficiencia de B, es menor a la relación de precios de B/A, conviene A, y si es mayor, conviene B.

Generalizando estos conceptos se construyó para el caso que nos ocupa la Figura 19. Para hacer uso de ésta figura es necesario contar con 2 valores: eficiencia del hiperfosfato y el valor de la relación de precios. Si la intercepción de los dos valores cae por encima de la línea de indiferencia el caso es favorable al hiperfosfato, en la inversa si cae por debajo es favorable al superfosfato.

En cualquiera de las dos zonas en que caiga la intercepción, cuanto más alejado estemos de la línea de indiferencia más definitivamente favorable desde el punto de vista económico será el caso en cuestión.



Mirando la Figura 19, se ve que a medida que aumenta la relación de precios, o sea que la unidad de fósforo como hiperfosfato se aproxima al valor de la unidad como superfosfato, más exigentes habrá que ser en la eficiencia relativa del hiperfosfato para caer en su zona.

Por el contrario, cuando más económica sea la unidad de hiperfosfato frente a la de superfosfato menor eficiencia se requerirá para usar el hiperfosfato.

Para el empleo de los parámetros de la Figura 19, es conveniente contemplar las siguientes consideraciones:

1. **Relación de precios:** su determinación es muy fácil, pudiendo tener variantes por concepto de créditos, fletes, etc..
En los últimos cinco años las relaciones de precios variaron poco siendo en promedio aproximadamente para el hiperfosfato granulado 81 o/o y para el hiperfosfato en polvo 75 o/o.
2. **Eficiencia Relativa :** si el suelo problema coincide o es muy similar con alguno de los estudiados se podrían usar los valores de eficiencia vistos anteriormente.
En caso de no coincidir, el conocimiento del tipo de suelo junto con el contenido en materia orgánica y el valor de pH, pueden servir para estimar en forma aproximada el valor de eficiencia relativa.

Los valores vistos en la serie de ensayos del Noreste y del Litoral fueron determinados con hiperfosfato en polvo y para fertilizaciones iniciales (mezclado con el suelo). Por lo tanto los valores de eficiencia del hiperfosfato pueden ser en la práctica menores por las siguientes causas:

- uso en forma granulada
- uso en cobertura.

V I. BIBLIOGRAFIA.

1. BAETHGEN, W.E. y BOZZANO, A.S. Efecto comparativo de la fertilización inicial y las refertilizaciones en alfalfa y trébol blanco. Estación Experimental La Estanzuela. Miscelánea No. 37. 1981.
2. BLACK, C.A. Relaciones suelo-planta. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1975. 2v.
3. and SCOTT, C.O. Fertilizer evaluation: I Fundamental principles. In Soil Science American Proceedings 20. 1956. pp 176 - 179.
4. CASTRO, J.L. Fertilización de Pasturas. Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". Pasturas IV. 2da. edición. 1978.
5. ; ZAMUZ, E.M. de y BARBOZA, S. Fertilización de pasturas en el Litoral Oeste del Uruguay. Investigaciones Agronómicas (Uruguay) 2 (1): 56 - 67. 1981.
6. ; y OUDRI, N. Guía para fertilización de pasturas. La Estanzuela. Estación Experimental La Estanzuela. Miscelánea No. 37. 1981.
7. CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS "ALBERTO BOERGER". Fertilización de Pasturas. La Estanzuela. Boletín de Divulgación No. 5. 1971. 40p.
8. ESCUDERO, J.L. y MORON, A.E. Caracterización de la capacidad de fijación de fósforo en distintos suelos del Uruguay. Tesis Ing.Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la república, Facultad de Agronomía. 1978. 100p.
9. LABELLA, S.J. y AMENDOLA, L.A. Eficiencia relativa de algunas fuentes de fósforo para la fertilización directa de cultivos de verano. Tacuarembó. Estación Experimental del Norte. Boletín Técnico No. 24. 1977. 16p.
10. Fuentes de Fósforo para Cultivos Anuales. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay. 13: 17 - 23. 1979.
11. MALLARINO, A.P.; CASANOVA, O.N. y ZAMALVIDE, J.P. Curso de Suelos II: Fertilizantes. Montevideo, Universidad de la República, Facultad de Agronomía, 1977. 135p.
12. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. COMISION HONORARIA DEL PLAN DE DESARROLLO AGROPECUARIO. Información Estadística: Importación. Consumo y Exportaciones de Fertilizantes y Nutrientes. Montevideo. 1981. s p.
13. MORON, A.E. y PEREZ, J. Dinámica del fósforo en la productividad de una pastura convencional. Estación Experi-

mental La Estanzuela. Miscelánea No. 37. 1981.

14. RUSSELL, E.J. y RUSSELL, E.W. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 4 ed. Madrid, Aguilar, 1968. 801p.
15. 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.
16. THOMPSON, L.M. El suelo y su fertilidad. 3 ed. Barcelona. Reverté, 1974. 407p.

Comparación de fuentes de fósforo para pasturas en un suelo de Basalto.

ALEJANDRO E. MORON

MARIA L. BEMHAJA

ENRIQUE CASTRO

INTRODUCCION

En el año 1979 la Estación Experimental del Norte instaló en la Unidad Experimental de Molles del Queguay un experimento de pasturas convencionales con el objetivo de obtener información sobre niveles y fuentes de fósforo en suelos de basalto.

El presente trabajo constituye un análisis preliminar de un ensayo que aún no ha finalizado.

II. MATERIALES Y METODOS.

En el otoño de 1979 se sembró una pastura convencional compuesta por las especies: Trébol blanco, Lotus y Festuca.

El suelo utilizado constituye un suelo negro, virgen, profundo, sobre basalto, con las siguientes características químicas (tomadas a 5 cm.): pH = 5,6; M.O. o/o = 6,93; Bray I = 2,47; Resinas = 2,47.

Los fertilizantes fosfatados probados fueron: superfosfato común granulado (0 - 21 - 23 - 0), hiperfosfato granulado (0 - 12 - 30 - 0) y superfos (0 - 18 - 30 - 0).

El diseño utilizado fue parcelas divididas en bloques al azar con tres repeticiones.

Los tratamientos consistieron en cuatro niveles de P_2O_5 total/há : 0, 60, 120 y 180. Estos niveles fueron aplicados en sus tres formas: Superfosfato, Hiperfosfato y Superfos.

A los efectos de poder analizar el efecto residual de los distintos fertilizantes se seleccionaron para este trabajo solamente los tratamientos de fertilización inicial, o sea que no incluyen refertilizaciones.

En la fertilización inicial no existió un mezclado del fertilizante con el suelo. Prácticamente se podría asimilar a una fertilización en cobertura.

La evaluación de la producción de las pasturas fue realizada mediante cortes y determinación de Materia Seca. Los análisis botánicos fueron realizados por el método gravimétrico.

III. RESULTADOS Y DISCUSION.

1. PRODUCCION TOTAL Y POR ESPECIE.

En el Cuadro 1, se pueden apreciar la producción anual y la producción acumulada de prácticamente tres años.

Cuadro 1: Producción de forraje total, anual y acumulado en kgs. M.S./há.

	er. 1 ^o AÑO	do. 2 ^o AÑO	er. 3 ^o AÑO *	$\sum_{i=1}^3$
Testigo	4508	7305	3670	15,483
S 60	6163	7689	4092	17,944
S 120	6014	7327	4216	17,557
S 180	6197	8011	4235	18,443
H 60	5063	8011	3809	16,883
H 120	4439	8189	4523	17,151
H 180	4681	8939	4338	17,958
Sf 60	5421	7261	4020	16,702
Sf 120	5629	7092	3219	15,940
Sf 180	5683	7804	4403	17,890

* = incompleto, evaluado hasta noviembre de 1981.

S = superfosfato

H = hiperfosfato

Sf = superfos.

En términos generales se puede afirmar que la respuesta es baja o nula tanto en la producción anual como en la producción acumulada. El máximo incremento logrado sobre el testigo en la producción acumulada de tres años alcanza solamente el 19 o/o.

A los efectos de poder explicar esta escasa respuesta a la fertilización fosfatada se procedió a analizar la composición botánica del segundo y tercer año (Ver Cuadro 2). No se reporta la composición botánica del primer año dado que no fue realizada. En el tercer año (evaluado hasta noviembre de 1981) de los tres cortes realizados no se cuenta con la composición botánica del corte invernal.

La producción de la Festuca y de las malezas no se incluyen ya que cuantitativamente mostraron poca importancia.

A medida que aumentan las dosis de fósforo en las tres fuentes y en los dos años se nota una clara respuesta positiva del trébol blanco teniendo como contrapartida una respuesta negativa del lotus al fósforo. Esta relación entre el trébol blanco y el lotus frente a la variable fósforo ya fue reportada (1, 4, 5).

Existen experimentos (en evaluación) de respuesta al fósforo en siembras de lotus p.u.o en la Estación Experimental La Estanzuela que pautan respuestas positivas de escasa entidad en la producción de forraje.

Cuadro 2: Producción por especie en kgs. M.S./há.

	2 ^{do} AÑO		3 ^{er} AÑO	
	T. Blanco	Lotus	T. Blanco	Lotus
0	1033	5577	262	1700
S 60	3368	3810	624	2246
S 120	4146	2457	1991	1252
S 180	5474	1966	2200	825
H 60	2468	4599	436	2088
H 120	3885	3663	1196	2241
H 180	4568	3520	1600	1640
Sf 60	2176	3987	415	2550
Sf 120	3070	3564	610	1792
Sf 180	4242	3065	1901	1577

S : Superfosfato

H : Hiperfosfato

Sf: Superfos

La respuesta negativa del Lotus sería de carácter indirecto. Al aumentar el fósforo el trébol blanco haría un mejor uso de éste logrando mayor desarrollo y deprimiendo el lotus al competir por otros factores (4).

La escasa respuesta de la producción total a la fertilización fosfatada se debería a la sustitución de la producción del lotus por trébol blanco a medida que aumentan los niveles de fósforo. Para visualizar estas tendencias se seleccionaron las respuestas al agregado de superfosfato en las edades dos y tres de la pastura (Ver Figuras: 1 y 2).

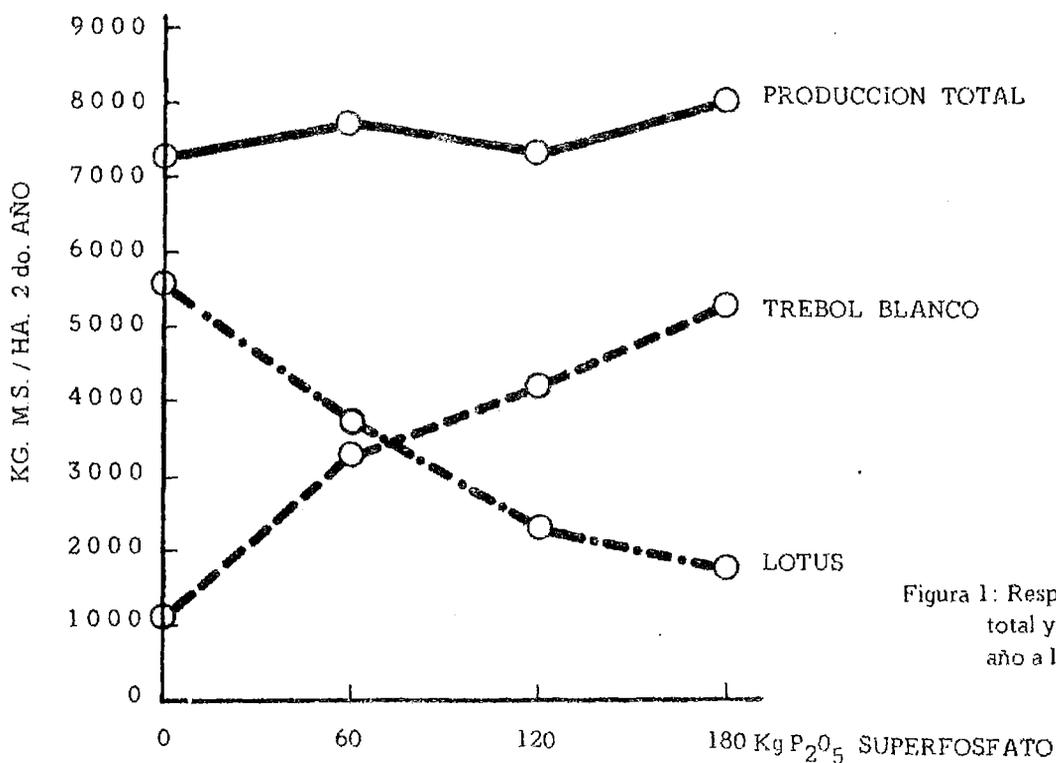


Figura 1: Respuesta en producción total y por especie en el 2do. año a la fertilización inicial.

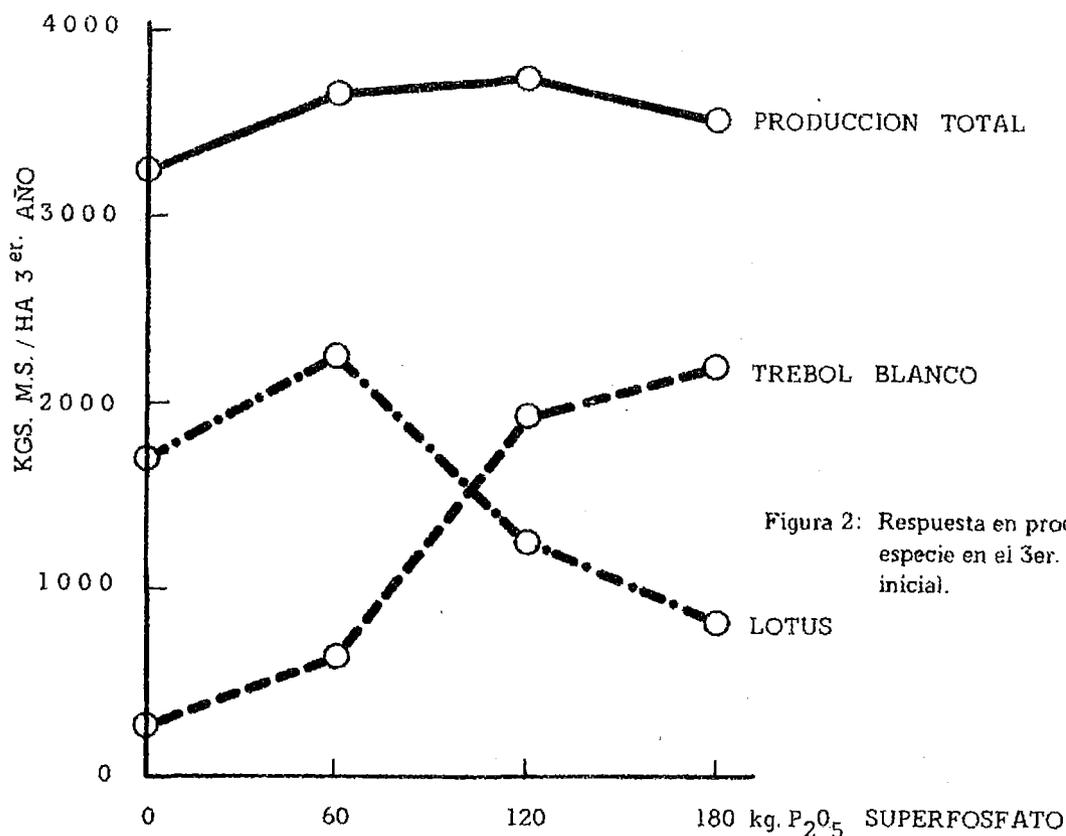


Figura 2: Respuesta en producción total y por especie en el 3er. año a la fertilización inicial.

Cabe señalar que la sustitución del lotus por el trébol blanco implica cambios en la distribución estacional, llevando a la pastura a destacar su producción invierno - primavera.

2. COMPARACION DE FUENTES DE FOSFORO.

Dado el comportamiento mostrado por la producción total y por especie, se seleccionó como el mejor indicador vegetal de la disponibilidad real de fósforo a la producción de trébol blanco.

La metodología seguida consistió en:

- Ajustar funciones de respuesta de la producción del trébol blanco para cada uno de los fertilizantes. (Ver Figuras: 3 y 4)
- Se probó si las funciones ajustadas eran estadísticamente significativas. (Ver Cuadro 3).
- Se calculó a partir de las funciones ajustadas para cada una de las fuentes el porcentaje de superfosfato equivalente para distintas dosis, o dicho en otras palabras la eficiencia relativa del fertilizante en cuestión.

Se calcula los kilogramos de P₂O₅ totales/há como Superfosfato que son necesarios para producir el mismo rendimiento que X kilogramos de P₂O₅/há como Hiperfosfato o Superfos.

La dosis de Superfosfato se expresa como porcentaje de la dosis respectiva del fertilizante en cuestión y a este índice se le llama porcentaje de superfosfato equivalente o eficiencia relativa.

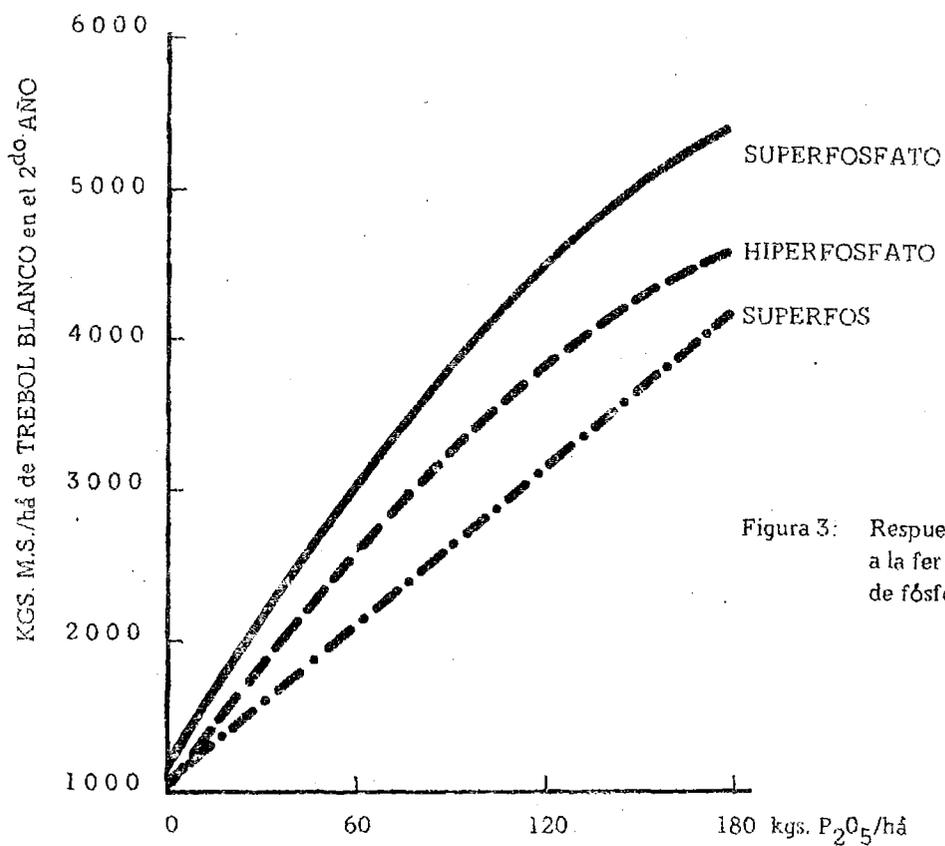


Figura 3: Respuesta del trébol blanco en el 2do.año a la fertilización inicial con tres fuentes de fósforo.

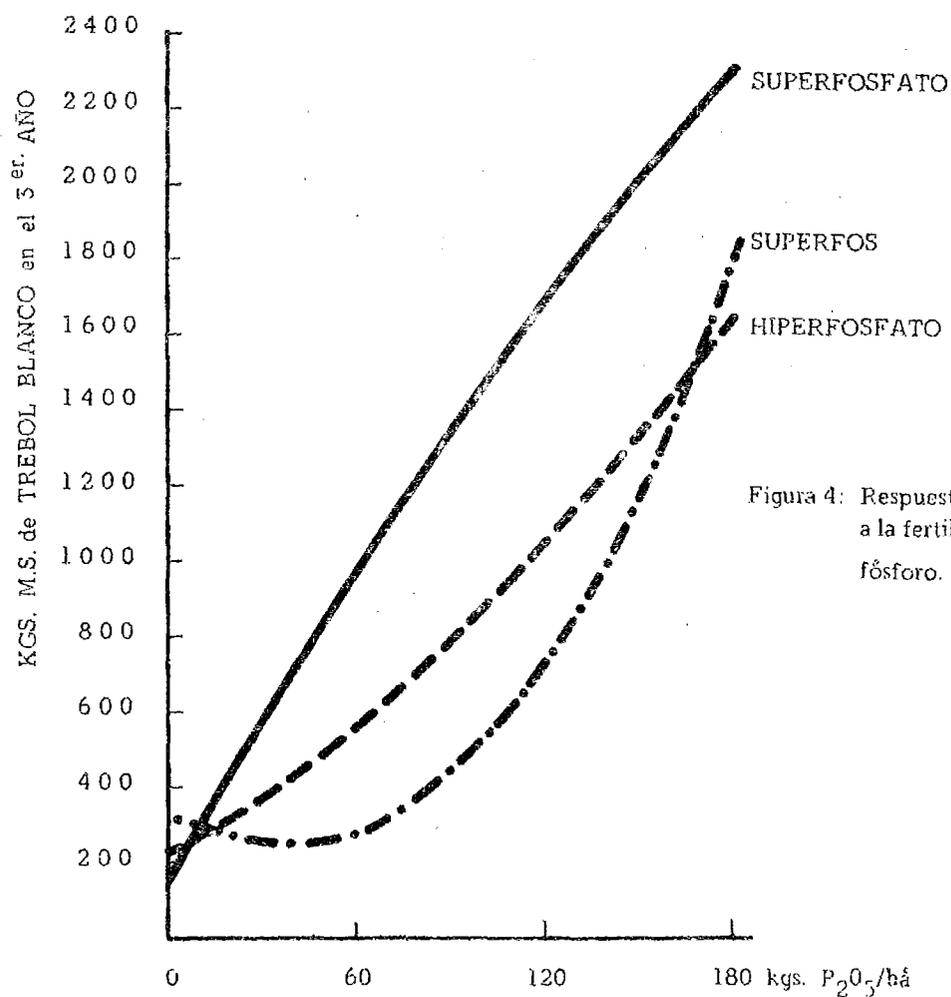


Figura 4: Respuesta del trébol blanco en el 3er.año a la fertilización inicial con tres fuentes de fósforo.

Cuadro 3: Funciones de respuesta del Trébol blanco.

AÑO 2				SIGNIFICACION
Superfosfato	$y = 1138 + 36,08 x - 0,0699 x^2$	$r^2 = 0,979$		***
Hiperfosfato	$y = 997,2 + 29,44 x - 0,052 x^2$	$r^2 = 0,996$		***
Superfos	$y = 1052,1 + 17,54 x$	$r^2 = 0,997$		***
AÑO 3				
Superfosfato	$y = 154 + 13,88 x - 0,0106 x^2$	$r^2 = 0,92$		***
Hiperfosfato	$y = 215 + 5,08 x + 0,0159 x^2$	$r^2 = 0,96$		***
Superfos	$y = 315 - 5,705 x + 0,079 x^2$	$r^2 = 0,97$		***
	$y = \text{kg M.S./há}$		$x = \text{kg P}_2\text{O}_5/\text{há}$	*** = significativo al 1 o/o

En los Cuadros 4 y 5, se presentan los valores de eficiencia relativa para el segundo y tercer año respectivamente.

Cuadro 4: Eficiencia relativa para cada una de las fuentes probadas a tres niveles de fertilización (60, 120 y 180 kg./há de P_2O_5 total) en el segundo año de la pastura.

FUENTE	DOSIS DE APLICACION			\bar{X}
	60	120	180	
SUPERFOSFATO	100	100	100	100
HIPERFOSFATO	72	74	71	72
SUPERFOS	47	53	60	53

Cuadro 5: Eficiencia relativa para cada una de las fuentes probadas a tres niveles de fertilización (60, 120 y 180 kg./há de P_2O_5 total) en el tercer año de la pastura.

FUENTE	DOSIS DE APLICACION			\bar{X}
	60	120	180	
SUPERFOSFATO	100	100	100	100
HIPERFOSFATO	52	57	66	58
SUPERFOS	12	38	76	42

La eficiencia del Hiperfosfato se encuentra en torno al 65 o/o en promedio para los dos años.

Los fertilizantes fueron aplicados sin mezclar con el suelo y en forma granulada. Dada las características del Hiperfosfato (baja solubilidad) las condiciones en las cuales se le aplicó no fueron las más favorables, no obstante lo cual tienen la ventaja de asimilarse bien a las condiciones en las cuales se le utiliza a nivel productivo.

El Superfos en términos generales presenta una eficiencia inferior al Hiperfosfato. Llama la atención este comportamiento ya que el porcentaje de fósforo asimilable (soluble en agua más soluble en citrato de amonio) del Superfos es superior al Hiperfosfato.

El Superfos está constituido por una mezcla de fertilizantes fosfatados solubles e insolubles. Una posible explicación a este comportamiento podría ser el hecho de tener en su composición fosforitas de inferior calidad que el Hiperfosfato.

La eficiencia del Superfos parece estar más condicionada que el Hiperfosfato a la dosis a la cual se realice la comparación (Ver Figura 5).

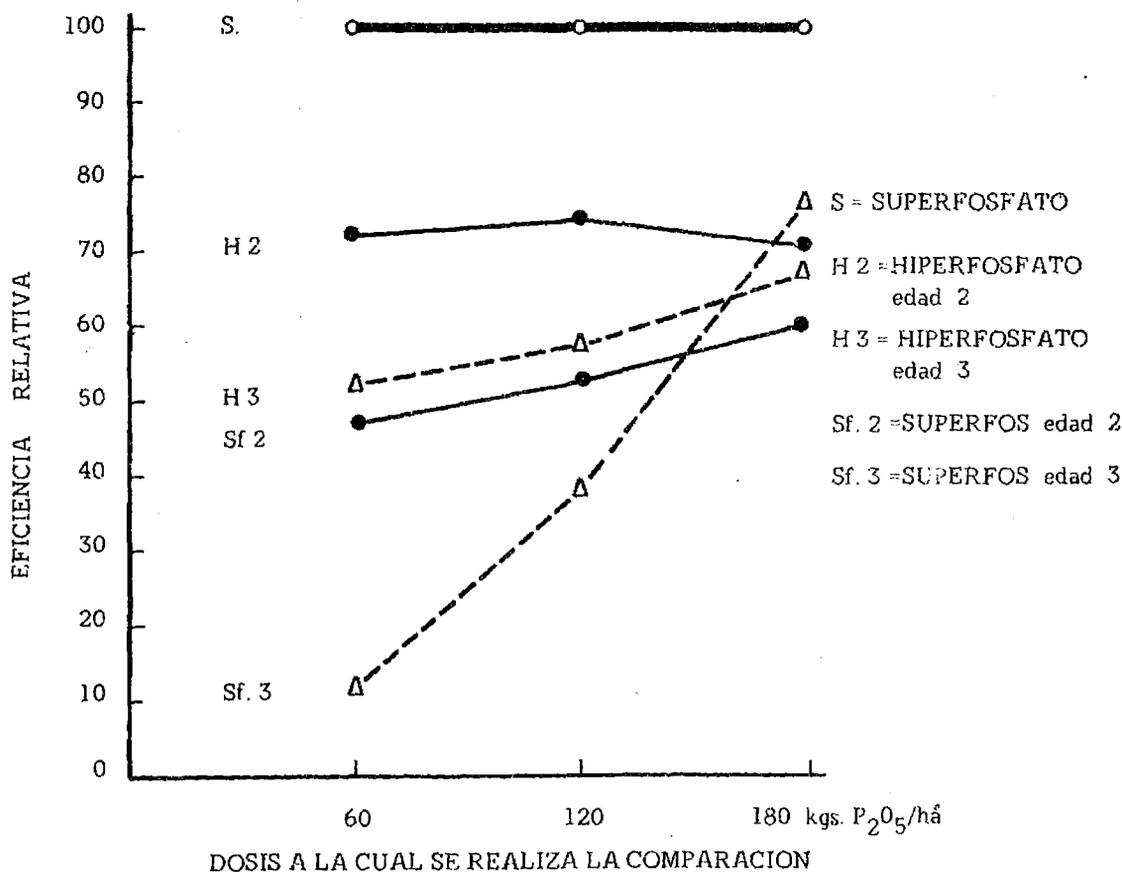


Figura 5: Efecto de la dosis a la cual se realiza la comparación sobre la eficiencia relativa.

Tendencias similares para las variaciones en eficiencia con las dosis fueron reportadas por Labella y Améndola (2) en ensayos de Maíz.

A los efectos de sintetizar el comportamiento relativo de los fertilizantes fosfatados estudiados se presentan las eficiencias relativas promedio de las distintas dosis (Ver Figura 6).

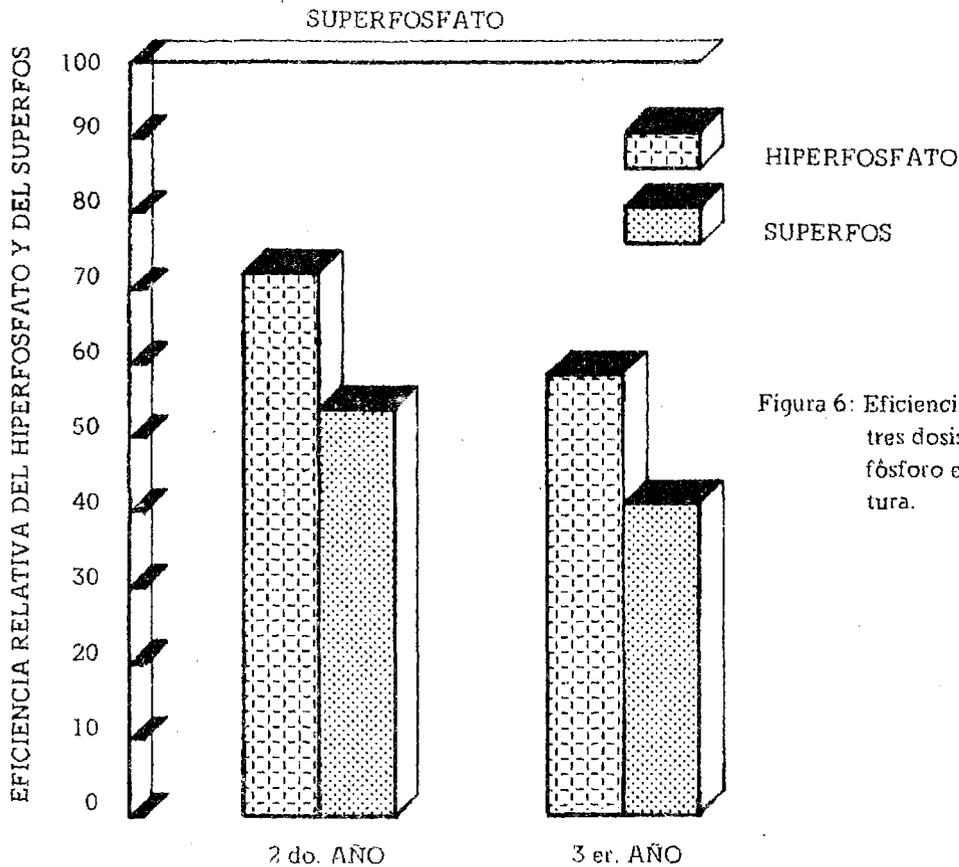


Figura 6: Eficiencia relativa promedio de tres dosis para tres fuentes de fósforo en dos edades de la pastura.

Los criterios a seguir para tomar decisiones en torno a la fuente de fósforo más económica a utilizar, están planteados en el trabajo de Morón, A. (3).

IV. CONCLUSIONES.

1. La producción total anual y acumulada de la mezcla trébol blanco, lotus y festuca fue poco afectada por la fertilización fosfatada.
2. La fertilización fosfatada provoca importantes cambios en la composición botánica de la mezcla. A medida que aumentan los niveles de fósforo se produce una sustitución del lotus por el trébol blanco.
3. La eficiencia relativa de las fuentes de fósforo probada sigue el siguiente orden:
Superfosfato > Hiperfosfato > Superfos.

V. BIBLIOGRAFIA.

1. CASTRO, E.; GONZALEZ, I.; GUTIERREZ, A.; MENDOZA, N. y MORALES, R. Proyecto Regional de la Zona de Basalto. La Estanzuela. Pasturas II. 1973.
2. LABELLA, S.J. y AMENDOLA, L.A. Eficiencia relativa de algunas fuentes de fósforo para la fertilización directa de cultivos de verano. Tacuarembó. Estación Experimental del Norte. Boletín Técnico No. 24. 1977. 16p.
3. MORON, A.E. Fuentes de fósforo para pasturas. Estación Experimental La Estanzuela. Miscelánea No. 42. 1982.
4. y PEREZ, J. Dinámica del fósforo en la productividad de una pastura convencional. Estación Experimental La Estanzuela. Miscelánea No. 37. 1981.
5. TERMEZANA, A. Región Basáltica. Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". Pasturas IV. 2da. edición. 1978.

SERVICIO DE INFORMACION