



REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY  
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA  
DIRECCION GENERAL DE  
INVESTIGACION AGROPECUARIA

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

**fertilización  
de  
PASTURAS**

JULIO, 1981



ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA "LA ESTANZUELA"

MISCELANEA 37



REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA

CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS

"ALBERTO BOERGER"

ESTACION EXPERIMENTAL AGROPECUARIA "LA ESTANZUELA"

# **Fertilización de PASTURAS**

JULIO, 1981

## P R O L O G O

*La fertilización fosfatada de pasturas ha sufrido en los últimos tiempos cambios importantes en tres aspectos del marco de referencia agroeconómico en que se hacen las recomendaciones de fertilización.*

*En primer lugar los precios de las fosforitas sufren a partir de 1973 un marcado ascenso acompañando los precios del petróleo.*

*Por otra parte, el precio de la carne, principal producto final de la utilización de pasturas, disminuyó deteriorando aún más la relación insumo-producto.*

*Por último, la productividad y persistencia de las praderas y mejoramientos convencionales es limitada cobrando una importancia creciente la invasión de gramilla, especie que se ha expandido a zonas cuya presencia no tenía importancia hace algunos años.*

*Es así que resulta impostergable contar con información que permita asegurar la implantación de las pasturas sembradas y maximizar su retorno económico estableciendo políticas o estrategias de fertilización adecuadas al manejo y duración que tenga ese mejoramiento.*

*Hasta el presente la herramienta más importante que cuenta el técnico extensionista para enfrentar decisiones de fertilización es la Guía de Fertilización de Pasturas. Para su elaboración, en el año 1976, se empleó una voluminosa información obtenida en ensayos regionales de fertilización.*

*Aún con las naturales limitaciones que tuvieron esos primeros esfuerzos en experimentación regional, la sistematización de la información allí generada permitió establecer un rango de disponibilidad de fósforo, para los distintos suelos, entre un nivel mínimo por debajo del cual se corre el riesgo de perder las especies implantadas, y un nivel máximo por encima del cual no se consigue respuesta al agregado de este elemento. Los criterios que se manejarán para establecer el nivel de fósforo disponible a alcanzar son entre otros: relación de precios entre fertilizante y el producto obtenido con la pastura, ubicación de la pastura en la rotación, especies que componen la pradera, manejo, fuentes de fósforo, etc.*

*Si bien se considera necesario dotar de una mayor precisión a los niveles de fósforo disponible y demás coeficientes empleados en la Guía de Fertilización, los artículos presentados en esta publicación tienen como propósito contribuir a mejorar los criterios que un técnico debe emplear al efectuar una recomendación de fertilización.*

Estos artículos provienen de algunos trabajos de fertilización de pasturas que tuvieron atrasos en su publicación y otros que fueron culminados recientemente, por lo que se decidió compendiarlos conjuntamente con una reedición de la Guía de Fertilización de Pasturas, de modo de poder contar en una publicación con los últimos avances en este tópico.

La mayoría de los artículos son el resultado de varios años de actividad experimental en donde varios técnicos han tenido distinta participación en el planeamiento y conducción de los experimentos y en el análisis y redacción de los trabajos, por lo que resulta oportuno precisar esas responsabilidades.

– “Efecto Residual de la Fertilización Fosfatada en una Rotación Agrícola-Ganadera”, corresponde a un experimento planeado e instalado en 1974 y conducido hasta 1978 por el Ing.Agr. Jorge Perez Sanabria y luego conducido, analizado y redactado por el Ing.Agr. Walter E. Baethgen

– “Efecto Comparativo de la Fertilización Inicial y las Refertilizaciones en Alfalfa y Trébol Blanco”, corresponde a un experimento planeado e instalado en 1973 y conducido hasta 1977, por el Ing.Agr. José L. Castro, siendo analizado y redactado por el Ing.Agr. Walter E. Baethgen. En la ejecución y análisis se contó con la colaboración del Técnico Astur S. Bozzano.

– “Dinámica del Fósforo en la Productividad de una Pastura Convencional”, corresponde a un experimento diseñado e instalado en 1971 y conducido hasta 1978, por el Ing.Agr. Jorge Perez Sanabria y luego conducido, analizado y redactado por el Ing.Agr. Alejandro E. Morón. En la ejecución y análisis se contó con la colaboración del Técnico Santiago Barboza.

– “El Fósforo en Relación con la Persistencia y Productividad en Pasturas”, corresponde a un análisis parcial, por el Ing.Agr. Fernando H. Santiñaque, sobre información publicada en Fertilización de Pasturas en Litoral-Oste de Uruguay. (Investigaciones Agronómicas No.2) por José L. Castro et al.

– “Fertilización Inicial y Anual de Pasturas en la Zona Noreste del Uruguay”, corresponde a varios experimentos llevados a cabo, desde 1970 a 1975 por los autores con la participación del Ing.Agr. José L. Castro en el planeamiento y discusión de los resultados experimentales y de los Técnicos Pedro Marquez y Gerónimo Lima en determinaciones de campo. El trabajo fue realizado por la Estación Experimental del Norte con productores de su área de influencia.

ROBERTO M. DIAZ  
PROYECTO SUELOS

## C O N T E N I D O

I	Efecto Residual de la Fertilización Fosfatada en una Rotación Agrícola-Ganadera.	
		WALTER E. BAETHGEN 1. JORGE M. PEREZ 2.
II.	Efecto Comparativo de la Fertilización Inicial y las Refertilizaciones en Alfalfa y Trébol blanco.	
		WALTER E. BAETHGEN 1. ASTUR S. BOZZANO 3.
III.	Dinámica del Fósforo en la Productividad de una Pastura Convencional.	
		ALEJANDRO E. MORON 4. JORGE M. PEREZ 2.
IV.	El Fósforo en Relación con la Persistencia y Productividad en Pasturas Convencionales.	
		FERNANDO H. SANTIÑAQUE 5.
V.	Fertilización Inicial y Anual de Pasturas en la Zona Noreste del Uruguay.	
		MANUEL AROCENA 6. MARIO ALLEGRI 7. ENRIQUE CASTRO 8. FRANCISCO FORMOSO 9.
VI.	Algunas Consideraciones sobre Políticas de Fertilización de Pasturas.	
		ALEJANDRO E. MORON 4.
VII.	Guía para Fertilización de Pasturas.	
		JOSE L. CASTRO 10. ELSA M. de ZAMUZ 11. NELSON OUDRI 12.

- 
1. Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B.
  2. Jefe Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B., hasta 1978.
  3. Auxiliar Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B.
  4. Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B.
  5. Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B.
  6. Técnico del Proyecto Pasturas, E.E.N.; C.I.A.A.B., hasta 1980.
  7. Director de la E.E.L.E.; C.I.A.A.B.
  8. Técnico del Proyecto Ovinos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B.
  9. Técnico del Proyecto Forrajeras, E.E.L.E.; C.I.A.A.B.
  10. Jefe del Proyecto Investigación Integrada, E.E.L.E.; C.I.A.A.B., hasta 1979.
  11. Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B., hasta 1980.
  12. Técnico del Proyecto Suelos, E.E.L.E.; C.I.A.A.B., hasta 1980.

# **EFECTO RESIDUAL DE LA FERTILIZACION FOSFATADA EN UNA ROTACION AGRICOLA - GANADERA**

## **I ETAPA DE PASTURAS**

WALTER E. BAETHGEN

JORGE M. PEREZ

### **INTRODUCCION**

La importancia de un adecuado nivel de P disponible en el suelo para la producción de una pastura, es algo ya muy conocido y en la literatura es posible encontrar un gran volumen de trabajos que se refieren a este aspecto.

Muchos de esos trabajos se refieren a la respuesta que presentan las pasturas en producción de materia seca, al agregado de fósforo. Otros se refieren a las diferentes formas de aplicar ese fertilizante, ya sea en fertilizaciones masivas, o mediante refertilizaciones anuales de poco volumen.

Sin embargo, no son tan frecuentes los trabajos que se refieren a este aspecto, encarándolos como un estudio integral, a largo plazo, analizando el efecto del P agregado en la producción de pasturas y en la de cultivos sembrados a continuación de los mismos.

El objetivo de la primera etapa de este experimento fue estudiar, en primer lugar, el efecto residual de cuatro dosis de fertilizante fosforado agregado al inicio del ensayo, sobre el rendimiento estacional, anual y total, de una pastura de gramíneas y leguminosas y sobre su composición botánica.

En segundo lugar, se analizó la evolución del contenido de P disponible en el suelo con el tiempo, y la relación de dicho contenido con la producción de la pastura.

Finalmente se estudió la relación de P agregado y P disponible y se determinó la tasa de descenso anual y el equivalente fertilizante para este suelo y para las condiciones en que se llevó a cabo este experimento.

Una segunda etapa de este mismo ensayo, que no culminó aún, se va a dirigir al estudio del efecto residual de ese P agregado anualmente a la pastura, sobre una secuencia de cultivos agrícolas que se sembrarán en los cuatro años siguientes a la roturación de la pradera.

### **II. MATERIALES Y METODOS**

#### **A. Suelo.**

El ensayo se instaló en un Brunosol éutrico lúvico de la Unidad Kiyú (1), y constituye la etapa de pasturas de una rotación agrícola-ganadera que comenzó en el año 1974, en la que se evaluará el efecto residual del fósforo aplicado en el inicio de la rotación, sobre los rendimientos de los cultivos posteriores.

Las características químicas más importantes del suelo utilizado aparecen en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Descripción del suelo utilizado en el experimento.

PROFUNDIDAD	pH	M.O. %	N. %	FOSFORO ( ppm )	
				BRAY 1	RESINAS
0 - 20 cm	6.2	3.1	0.15	11.1	11.1

### B. Tratamientos y Diseño Estadístico

Los tratamientos en esta primera etapa del experimento consistieron en cinco dosis iniciales de fertilización fosfatada ( 0,50, 100, 200 y 400 kg/ha de  $P_2O_5$  ) que se aplicaron como superfosfato.

Se empleó un diseño estadístico de bloques al azar con tres repeticiones, siendo el tamaño de cada parcela de 420 m<sup>2</sup>.

La pastura se sembró por el sistema convencional, y se utilizó una mezcla de trébol blanco ( 2 kg/ha ), alfalfa ( 9 kg/ha ) y festuca ( 10 kg/ha ).

### C. Muestreos.

La pastura fue pastoreada diez veces, a partir del segundo año de producción y durante los cuatro años de duración del experimento. Antes de cada pastoreo se realizaron cortes de rendimiento en los que se determinó materia seca y composición botánica.

Por otro lado, se realizaron seis muestreos y se determinó en cada uno fósforo disponible por el método de Bray 1 por el de resinas catiónicas (11).

## III. RESULTADOS Y DISCUSION.

### A. Respuesta de la Pastura al Agregado de Fósforo

#### 1. ANALISIS DE CADA CORTE INDIVIDUAL.

Para cada uno de los diez cortes de pastura, se realizó el análisis de varianza correspondiente, existiendo efecto significativo de la fertilización sólo en cuatro de ellos.

Se descompusieron entonces los grados de libertad de tratamiento, para estudiar el ajuste que presentaban los datos con los modelos lineal, cuadrático, cúbico y cuártico.

Los datos se ajustaron mejor al modelo lineal, aunque en algunos casos el cúbico también presentó un ajuste aceptable. Los modelos cuadrático y cuártico presentaron siempre ajustes no significativos.

Se calcularon entonces los valores de los parámetros del modelo lineal de cada corte individual, de la forma :  $y = b_0 + b_1 x$ , donde :  $x = \text{kg de } P_2O_5 \text{ x ha}^{-1}$ ;  $y = \text{kg MS x ha}^{-1}$ , que se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2\*: Parámetros del modelo lineal para cada corte individual.

CORTE Nº	FECHA	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	r	$\bar{Y}$ kg MS ha <sup>-1</sup>	LLUVIA (mm) entre dos cortes CONSECUTIVOS
1 **	22 / 3 / 76	1311	3.7669	0.95	1641	408
2	28 / 6 / 76	1239	2.5343	0.99	1461	149
3	7 / 10 / 76	3236	2.6034	0.98	3464	388
4	23 / 3 / 77	3898	5.9183	0.96	4416	928
5	19 / 8 / 77	1254	1.8811	0.79	1419	293
6	20 / 10 / 77	1793	1.8640	0.82	1956	511
7	30 / 1 / 78	1380	3.6651	0.91	1701	367
8	5 / 4 / 78	1899	2.3274	0.84	2103	402
9	22 / 9 / 78	832	2.6646	0.99	1065	230
10	13 / 11 / 78	1587	4.0897	0.93	1945	

\* Las regresiones se calcularon excluyendo el punto correspondiente a 400 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea.

\*\* Hasta diciembre de 1975 se realizaron cortes de limpieza que no fueron evaluados.

Se realizó también un análisis para estudiar las diferencias entre los coeficientes b<sub>1</sub> (10), cuyos resultados aparecen en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Significación de las diferencias entre los coeficientes b<sub>1</sub>.

CORTE Nº	b <sub>1</sub>	E P O C A
6	1.8640 a *	1 mes Invierno y 1 mes Primavera
5	1.8811 ab	Otoño - Invierno
8	2.3274 ab	Verano
2	2.5343 ab	Otoño
3	2.6034 ab	Invierno
9	2.6646 ab	Otoño - Invierno
7	3.6651 ab	Primavera - Verano
1	3.7669 abc	Verano
10	4.0897 bc	Primavera
4	5.9183 c	Primavera - Verano

\* Los valores con una misma letra no difieren significativamente al 5 o/o.

Por otro lado, como muestra el Cuadro 2, se observó una gran variación en los valores de los coeficientes  $b_0$  de los diez cortes. Se intentó entonces una variable que explicara en alguna medida esa variación. Al estudiar la asociación del valor de los coeficientes  $b_0$  con la lluvia caída en el período correspondiente a cada muestreo, se observó que la correlación entre estas dos variables era de 0.70 (significativa al nivel de 5 o/o).

La influencia de la lluvia en la producción de pasturas ya había sido claramente demostrada por Holford y Gleeson (7) quienes, trabajando con trébol blanco, encontraron que al aumentar la lluvia en 300 mm, la respuesta de esta leguminosa al agregado de fósforo, aumentaba en 2000 a 2500 kg/ha.

## 2. PRODUCCION ESTACIONAL.

Se agruparon los datos de diferentes cortes de manera de formar grupos que abarcaran las mismas estaciones en los diferentes años. De esta forma se establecieron dos grupos de cortes: los de (otoño + invierno), y los de (primavera + verano) de cada año.

Como los cortes no se realizaban en la misma fecha, se obtuvieron dos datos de (primavera + verano) (1976/77 y 1977/78), y tres de (otoño + invierno) (1976, 1977 y 1978). El análisis de varianza de dichos grupos de cortes, reveló un efecto significativo de la fertilización ( $P < 0.05$ ) para el de (otoño + invierno) de 1977 y significativo ( $P < 0.10$ ) para el de (otoño + invierno) de 1976 y (primavera + verano) de 1976/77.

Se estudió el grado de ajuste que presentaban estos datos a los modelos lineal, cuadrático, cúbico y cuártico, y también en este caso los datos se ajustaron mejor al modelo lineal, y algo peor para el cúbico.

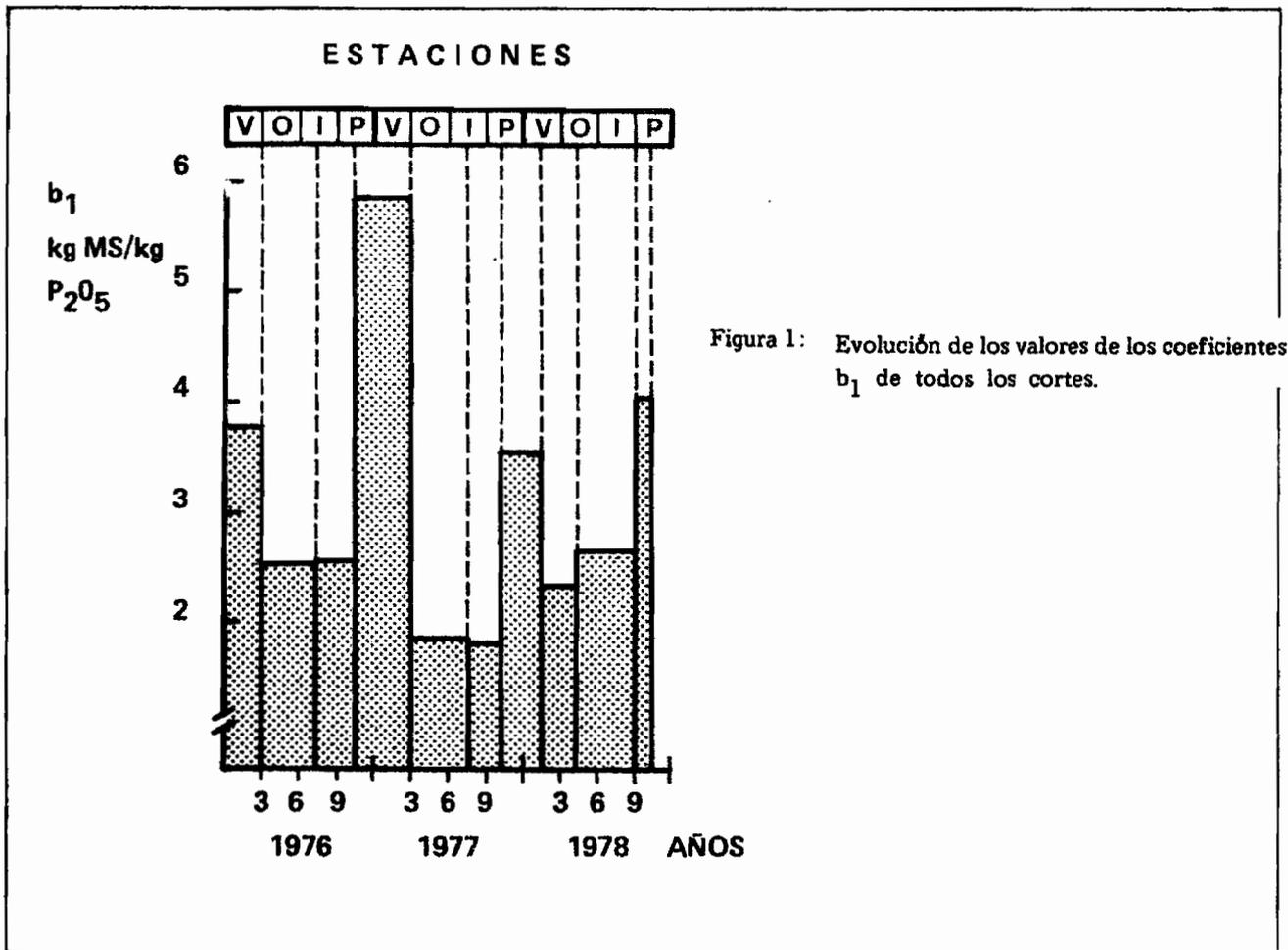
También se calcularon los parámetros de las regresiones lineales para cada uno de estos tres grupos de cortes, y se estudió la significancia de las diferencias entre los coeficientes  $b_1$ . Se encontró que los valores de los coeficientes  $b_1$  no diferían significativamente entre los cinco grupos de cortes (Ver Cuadro 4) (10).

Cuadro 4: Parámetros de los ajustes lineales donde:  $x = P_2O_5 / ha$ ;  $y = kg M.S./ha$ .

	$b_1$	$\bar{y}$ kg M.S./ha	$r^2$
Otoño + Invierno	5.0817	4.901	0.99
Primavera + Verano 1976/77	5.9183	4.416	0.96
Otoño + Invierno 1977	3.7006	3.356	0.83
Primavera + Verano 1977/78	5.9926	3.802	0.94
Otoño + Invierno 1978	2.6646	1.065	0.99

Sin embargo, aunque la respuesta al agregado de fósforo en producción de materia seca en estos dos momentos del año no fue estadísticamente diferente, es muy clara la tendencia que presentan los valores de los coeficientes  $b_1$  de aumentar en primavera y verano (Cuadro 4). La excepción a esta tendencia la constituye el valor del coeficiente  $b_1$  en el otoño-invierno de 1976 que es el segundo año de producción, donde se esperan los mayores rendimientos.

Esta misma tendencia se puede comprobar también al estudiar la evolución de los coeficientes  $b_1$  en cada corte individual, que como se muestra en la Figura 1, aumentan en los meses de primavera y verano.



### 3. PRODUCCION ANUAL.

Para estudiar la respuesta a la fertilización fosfatada en producción anual de la pastura, se formaron dos grupos de cortes: uno que abarcaba el período comprendido entre marzo de 1976 y marzo de 1977 ( 2do. año), y otro que abarcaba de marzo de 1977 a marzo de 1978 ( 3er. año).

Con los datos de estos grupos de cortes, se realizaron los mismos análisis que en los casos ya analizados en secciones de este trabajo. Para el caso de producción anual, se encontró en primer lugar, un efecto significativo en ambos casos de la fertilización, y en segundo término, que los datos se ajustaban tan bien al modelo lineal como al cúbico.

Por otro lado, tampoco en este caso se encontraron diferencias significativas entre los valores de los coeficientes  $b_1$  de los dos años (Cuadro 5).

Cuadro 5: Parámetros de ajuste lineal de la producción por año.

	$b_1$	Y (kg M.S./ha)	r
Marzo 1976 - marzo 1977	10.9954	9316	0.98
Marzo 1977 - marzo 1978	9.6931	7159	0.90

Sin embargo, como muestra el Cuadro 5, la producción de la pastura en el segundo año fue apreciablemente mayor que en el tercero, como era de esperar.

#### 4. PRODUCCION TOTAL.

Los análisis realizados con la suma de los diez cortes, indicaron en primer lugar un efecto significativo de la fertilización, y en segundo lugar que los datos se ajustaron muy bien al modelo cúbico (Ver Figura 2). También hubo un ajuste muy bueno al modelo lineal cuando se excluyó el punto correspondiente al agregado de 400 kg de  $P_2O_5$  por hectárea (Figura 2).

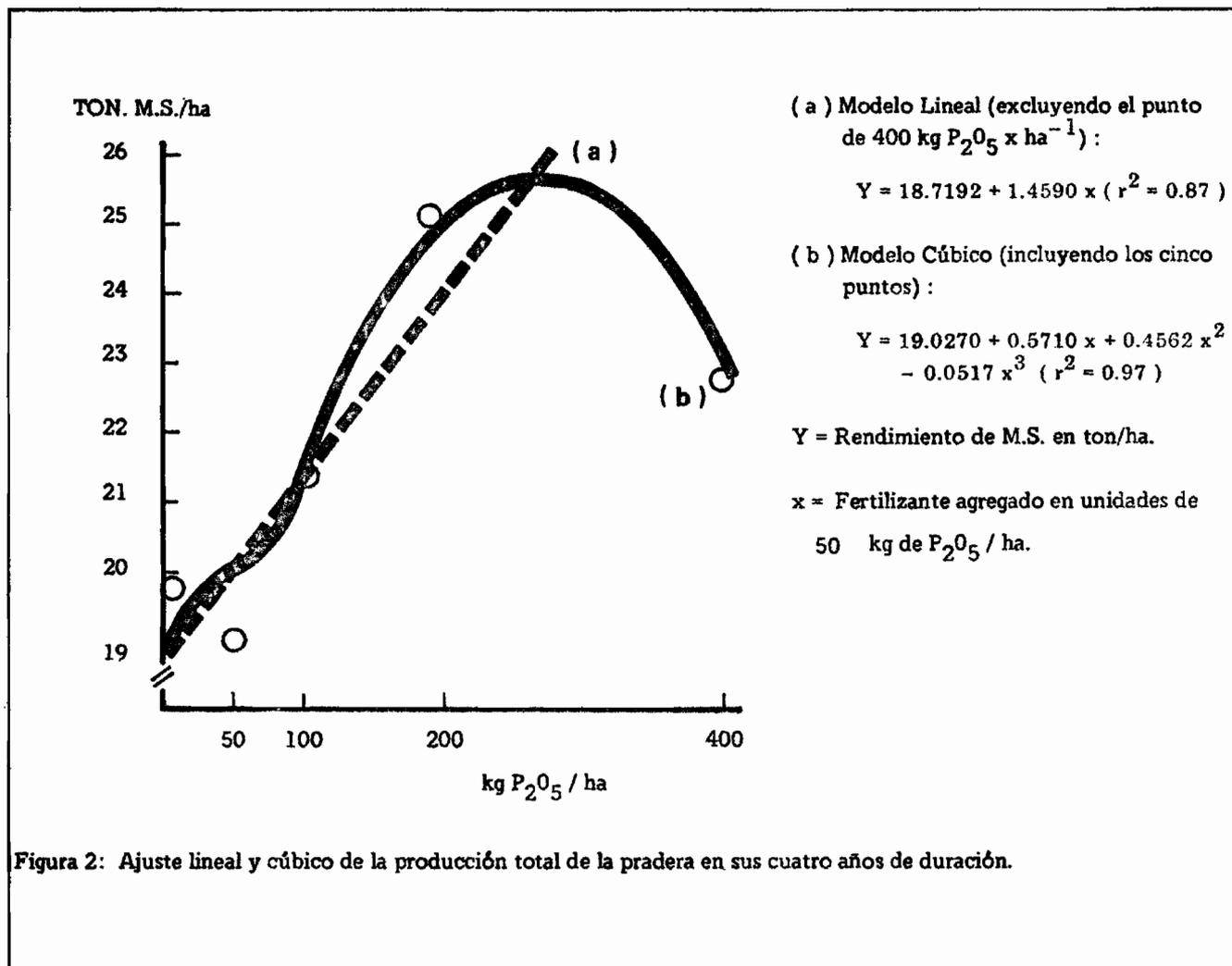
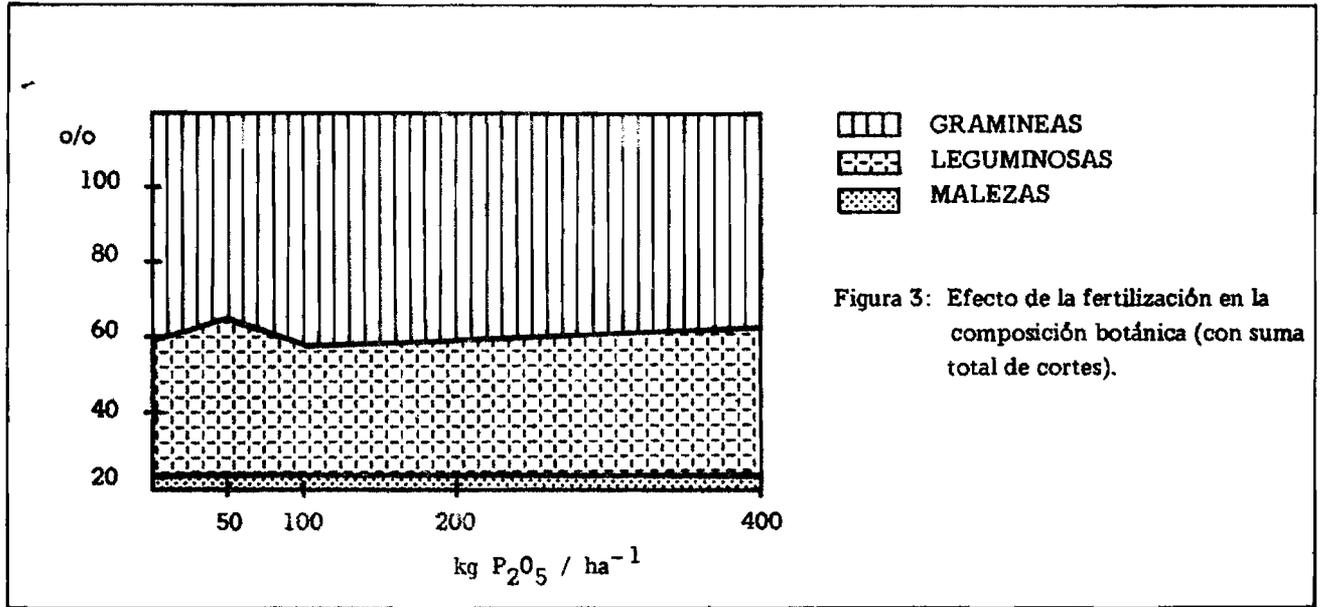


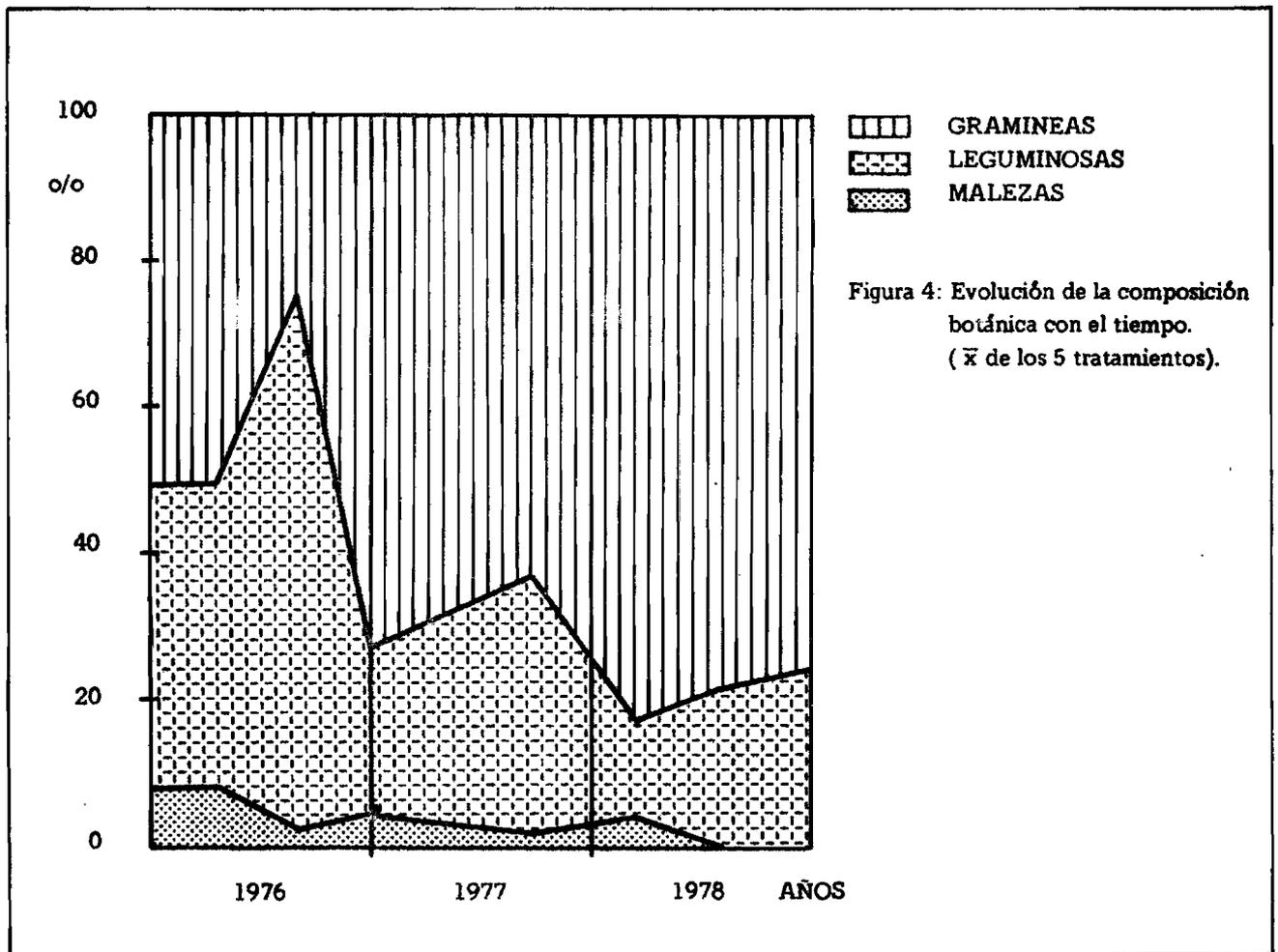
Figura 2: Ajuste lineal y cúbico de la producción total de la pradera en sus cuatro años de duración.

#### 5. COMPOSICION BOTANICA

La fertilización fosfatada tampoco influyó en forma apreciable sobre la composición botánica de la pastura como lo muestra la Figura 3.



En cambio, existieron importantes variaciones en la producción relativa de los diferentes componentes de la pastura, a lo largo de la duración de la pradera (Figura 4).



En el segundo año de producción, existió dominancia de las leguminosas, que fue aún más clara en la primavera. Posiblemente, esto haya traído como consecuencia un aumento en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, que permitió un muy intenso desarrollo de la festuca, que pasó a ser el componente dominante en el tercer y cuarto año de producción.

Por otro lado, como lo señalan Castro *et al* (4) es probable que ese cambio en la composición botánica de la pastura, también haya sido determinado por la existencia de períodos secos después de algunos pastoreos, pudiendo reducir el stand de plantas de trébol blanco que, junto con el aumento de la fertilidad del suelo, traen como consecuencia, una rápida invasión de gramíneas.

## B. Evolución del Fósforo Disponible en el Suelo.

### 1. PRODUCCION DE LA PASTURA EN RELACION AL P DISPONIBLE EN EL SUELO.

Como lo señalan R. Cate y L. Nelson (5), el principal objetivo de relacionar los valores de análisis del suelo con los rendimientos relativos de un cultivo o una pastura, es poder determinar un punto de inflexión de la curva de respuesta, o nivel crítico del análisis de suelo, por debajo del cual la probabilidad de respuesta a la fertilización sea alta, y por encima del cual dicha probabilidad sea baja.

La determinación de este nivel crítico para la respuesta al fósforo en producción de materia seca de la pastura, en el presente trabajo, se llevó a cabo utilizando el método propuesto por R. Cate y L. Nelson (5).

Para ello, en el gráfico de valor de análisis de suelo en un determinado momento, contra rendimientos relativos en ese mismo momento, se trazan dos ejes perpendiculares, de manera que la mayoría de los puntos se distribuyan en los dos cuadrantes positivos.

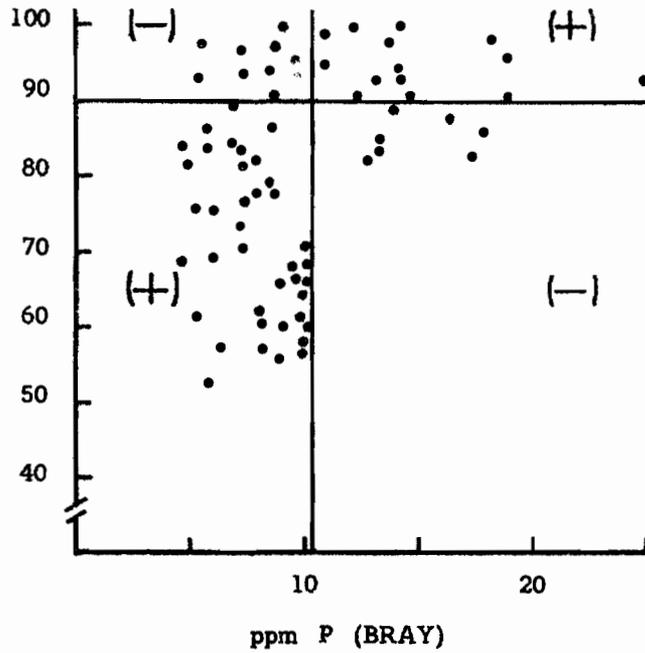
Se calculó el valor de este nivel crítico, en los gráficos que incluían todos los puntos obtenidos en cada corte, y en los que se incluían los valores promedio de cada tratamiento en cada corte.

Por otro lado, se calculó el valor del nivel crítico con los datos de análisis de suelo obtenidos por el método Bray 1 y por el método de resinas catiónicas. Los resultados aparecen en las Figuras 5, 6, 7 y 8.

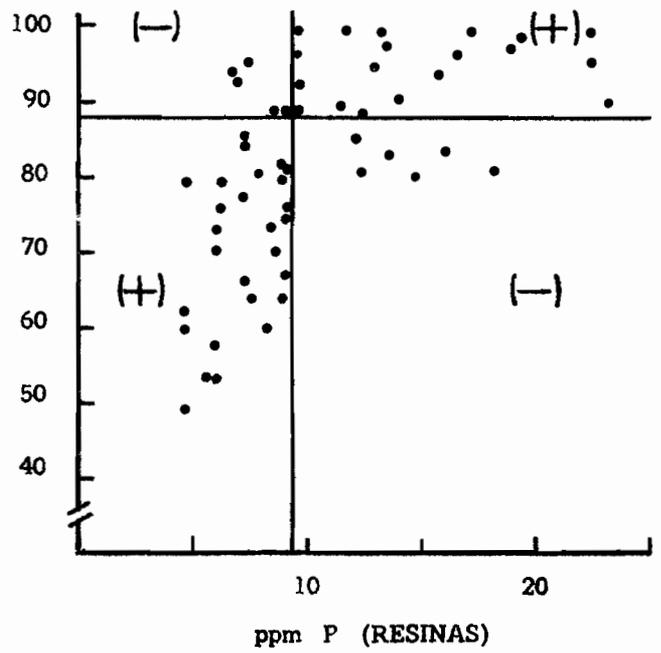
Las Figuras 5 y 6, muestran que cuando se incluían todos los puntos obtenidos en cada corte, el método de resinas presentó un comportamiento más satisfactorio que el de Bray 1, ya que en el primer caso, los cuadrantes positivos (superior derecho a inferior izquierdo) incluyeron el 89 o/o de los puntos, mientras que con el método de Bray 1, dicho porcentaje fue de 75 o/o.

Cuando se incluyeron solamente los valores promedio de cada tratamiento en cada corte (Figuras 7 y 8), los dos métodos de análisis de suelo, presentaron un comportamiento similar y satisfactorio.

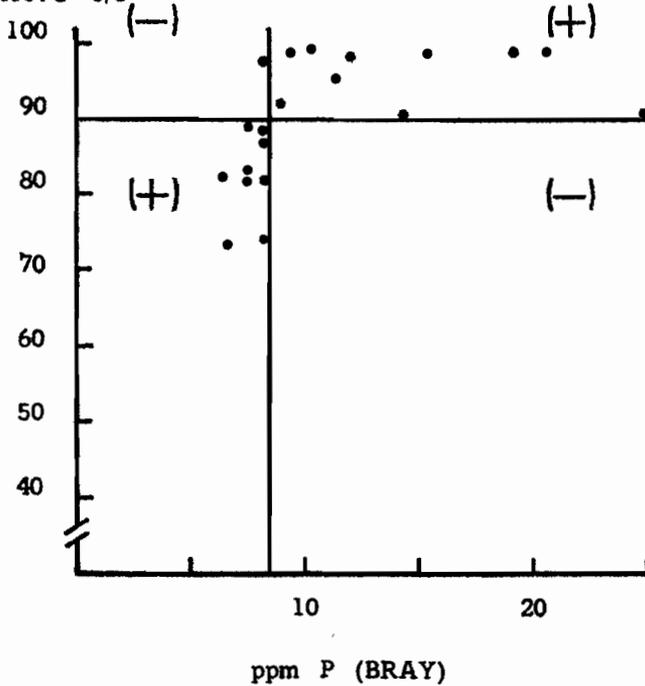
RENDIMIENTO  
RELATIVO o/o



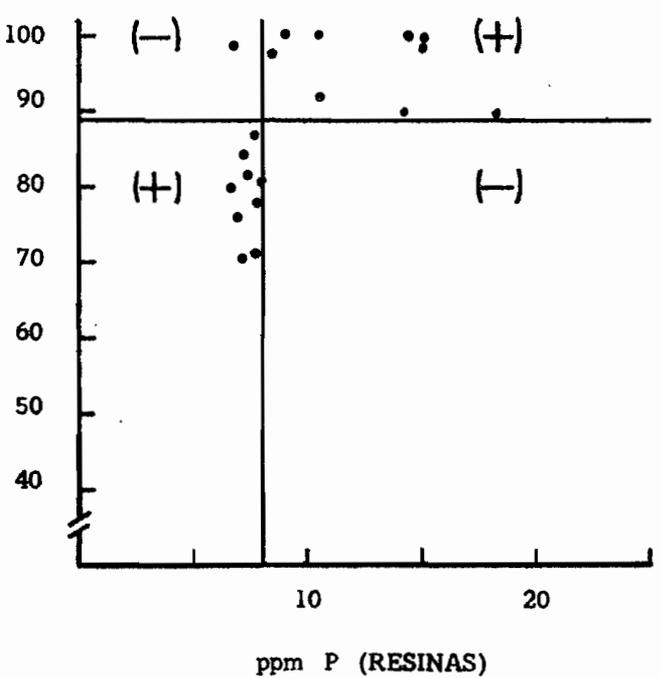
RENDIMIENTO  
RELATIVO o/o



RENDIMIENTO  
RELATIVO o/o



RENDIMIENTO  
RELATIVO o/o



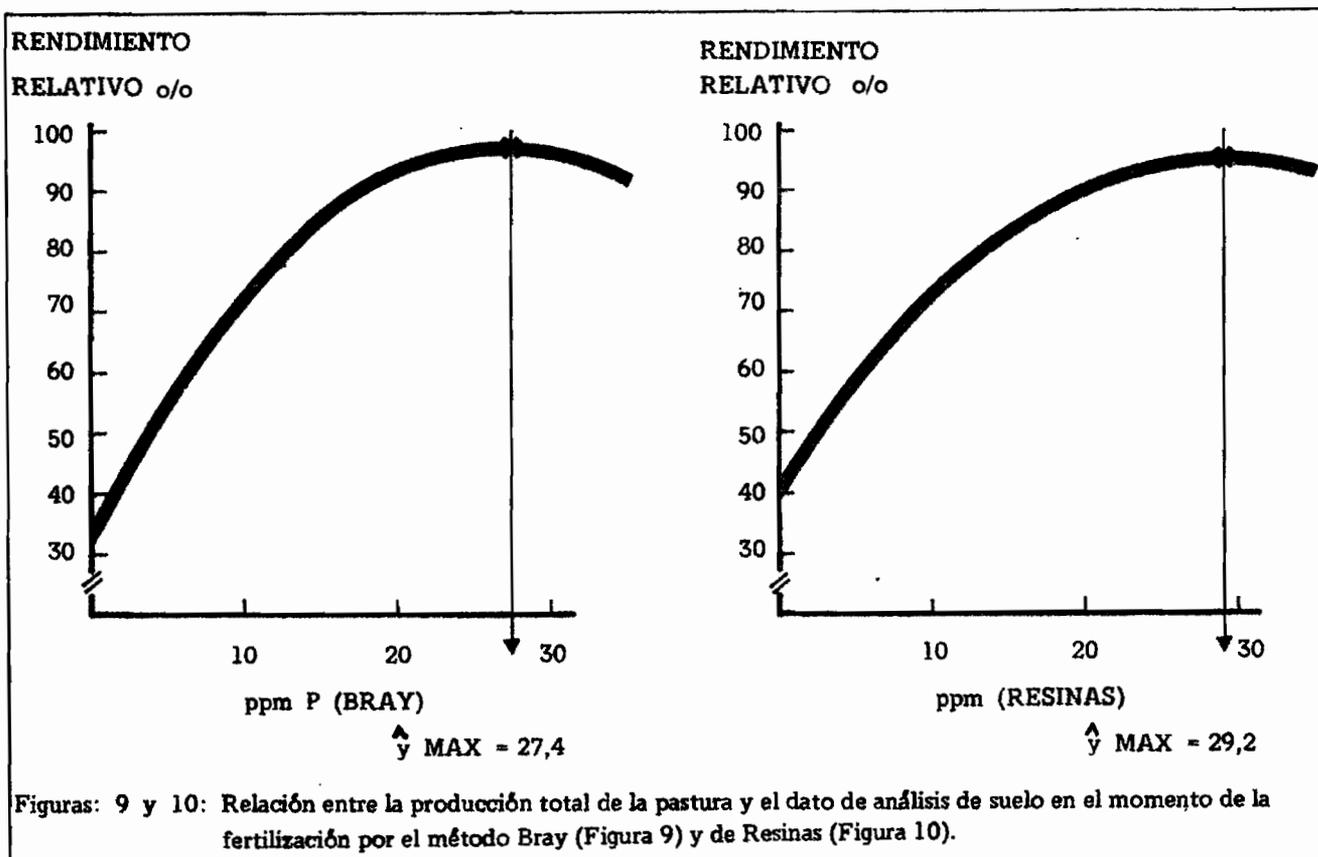
Figuras: 5, 6, 7 y 8: Determinación del nivel crítico con los datos de todos los puntos por corte (7 y 8) con el promedio de cada tratamiento en cada corte (5 y 6) para los métodos de Bray (5 y 7) y de Resinas (6 y 8).

Para los cuatro casos considerados, el nivel crítico correspondió aproximadamente a un 90 o/o del rendimiento máximo obtenido, y los valores en ppm de P disponible, para cada situación, se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Niveles críticos y Rendimientos Relativos correspondientes para dos métodos de análisis.

METODO de ANALISIS	NIVEL CRITICO ( ppm P )	RENDIMIENTO RELATIVO CORRESPONDIENTE
BRAY 1		
( considerando todos los puntos )	10 ppm	89 o/o
BRAY 1		
( considerando $\bar{x}$ de tratamientos )	8,5 ppm	89 o/o
RESINAS		
( considerando todos los puntos )	9,5 ppm	88 o/o
RESINAS		
( considerando $\bar{x}$ de tratamientos )	8 ppm	89 o/o

Por otro lado, dado que uno de los objetivos de este trabajo era estudiar el efecto residual del fertilizante fosfado, otro aspecto que pareció importante analizar, fue la relación entre el P disponible en el año de la fertilización y la producción total de las pasturas en sus cuatro años de duración. Se estudió entonces dicha relación para los datos de análisis de suelo obtenidos por el método de resinas y por el método Bray 1. Se observó que dicha relación se ajustaba muy bien al modelo cuadrático y se calcularon los valores de los parámetros correspondientes (Ver Figuras 9 y 10).



Las ecuaciones correspondientes a cada método y análisis que se obtuvieron, fueron las siguientes:

$$a) Y = 40.2851 + 3.7761 x_r - 0.0646 x_r^2 \quad (r^2 = 0.6306)$$

$$b) Y = 33.5634 + 4.6356 x_b - 0.0847 x_b^2 \quad (r^2 = 0.7534)$$

donde:

Y = rendimiento de la pastura expresado en o/o del máximo obtenido

$x_r$  = ppm P disponible en el suelo, obtenido por el método de Resinas

$x_b$  = ppm P disponible en el suelo, obtenido por el método de Bray

Los valores obtenidos de  $r^2$  para ambos modelos cuadráticos, indican que el valor de análisis de suelo en el año de la fertilización, explicaron en este experimento, entre un 65 y un 75 o/o de la variación en el rendimiento de la pastura en los 4 años de producción.

La generalización de este hecho tendría, como es evidente, una gran importancia agronómica. Sin embargo, dicha generalización sólo sería posible con la conducción de otros experimentos realizados en años diferentes.

## 2. P DISPONIBLE EN RELACION AL P AGREGADO

Se estudió la relación entre P agregado inicialmente y P disponible en el suelo, en el año de la fertilización, y en cada uno de los 4 años posteriores a la misma. La relación fue siempre lineal, y los coeficientes  $b_1$  de las rectas, fueron disminuyendo desde el año de la aplicación del fertilizante hacia los años siguientes (Cuadro 7). El hecho que se mantenga la linealidad de esta relación en los años posteriores a la fertilización, comprueban que el efecto residual es directamente proporcional a la cantidad de fertilizante agregado, como ya había señalado Castro (4).

Cuadro 7: Parámetros de las regresiones lineales encontradas para Y = P disponible en el suelo en c/año; y x = P agregado en el fertilizante (kg  $P_2O_5$ /ha).

METODO de ANALISIS : BRAY 1				METODO de ANALISIS : RESINAS			
AÑO	$b_1$	$b_0$	$r^2$	AÑO	$b_1$	$b_0$	$r^2$
1974	0.0601	10.93	0.99	1974	0.0601	11.81	0.99
1975	0.0476	10.33	0.99	1975	0.0513	13.73	0.99
1976	0.0344	8.06	0.97	1976	0.0325	6.17	0.96
1977	0.0342	5.97	0.53	1977	0.0296	7.80	0.89
1978	0.0176	6.18	0.96	1978	0.0221	6.33	0.97
1979	0.0127	4.88	0.94	1979	0.0154	5.97	0.93

Posiblemente ésta sea una de las principales causas de la estrecha relación encontrada entre la disponibilidad de P en el año de fertilización y el rendimiento de la pastura en los cuatro años de producción, ya comentados en la sección anterior de este trabajo.

Este tipo de relación lineal entre P agregado y P disponible, ya había sido descrita (4) (8), y es característica de los suelos ricos en calcio, como el que se utilizó en este experimento.

Cabe destacar que los aumentos en ppm de P que produjo un kg de  $P_2O_5$ /ha en el año de la fertilización y en el año siguiente (coeficientes  $b_1$  de los años 1974 y 1975) fueron sensiblemente menores que los encontrados por Castro et al. (4).

De esta forma, la cantidad de kg de  $P_2O_5$ /ha necesarios para aumentar en una ppm el P disponible del suelo ( $b_1$ ) en el año de la fertilización y en el siguiente, encontrada en el presente trabajo fue de 16,6 y 20,2 kg  $P_2O_5$ /ha respectivamente.

Estos valores son apreciablemente superiores a los indicados por Castro *et al.* (3) (4) para el mismo tipo de suelo que el que se utilizó en este ensayo.

### 3. EVOLUCION DEL P DISPONIBLE EN EL SUELO.

Para todas las dosis de fertilización inicial, la cantidad de P disponible en el suelo, cayó bruscamente en los primeros años del experimento, presentando una declinación algo menor en los años siguientes. Este tipo de evolución del P disponible, ya había sido descrito por varios autores (2), (4), (6), (9). (Ver Figuras 11 y 12).

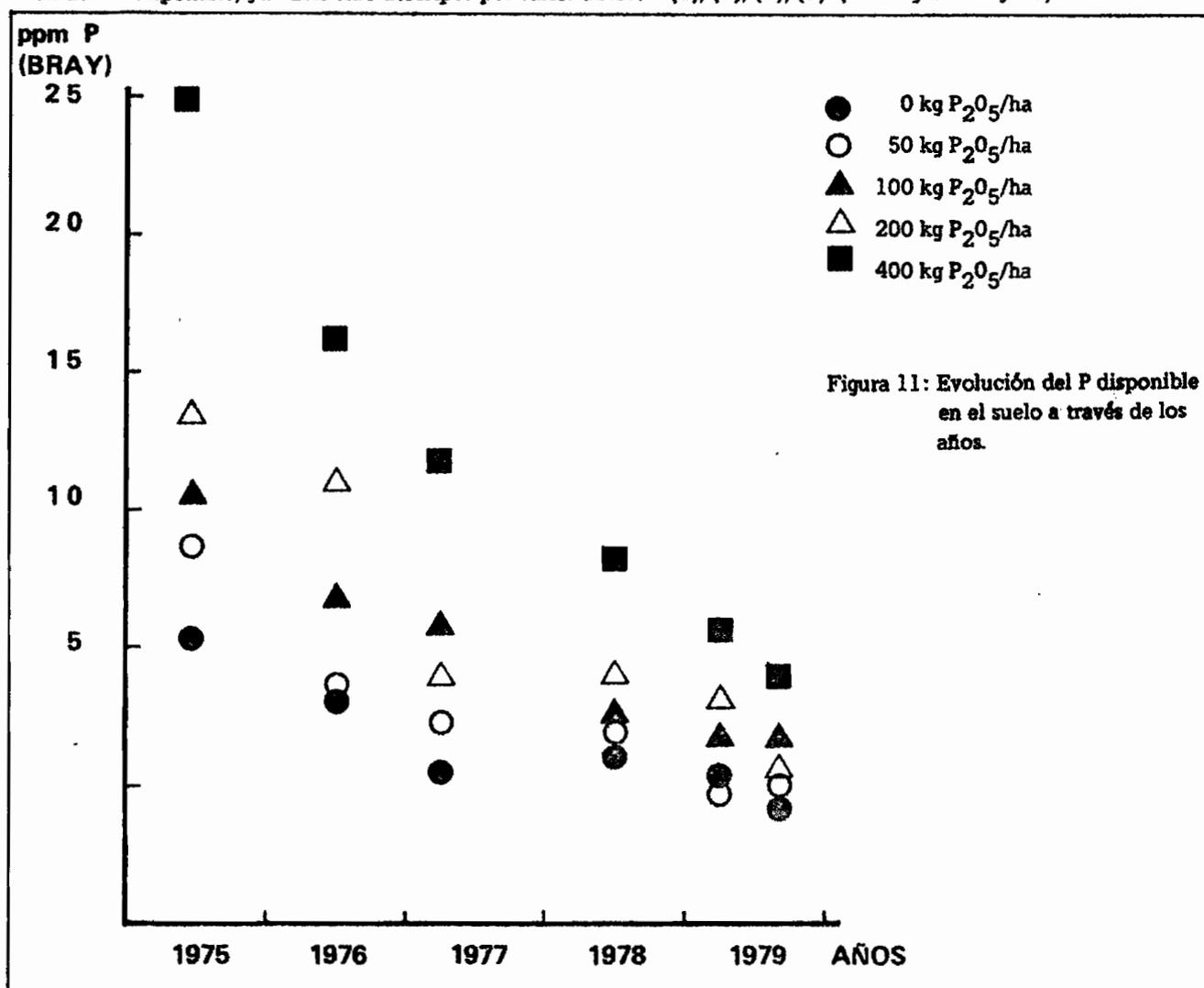
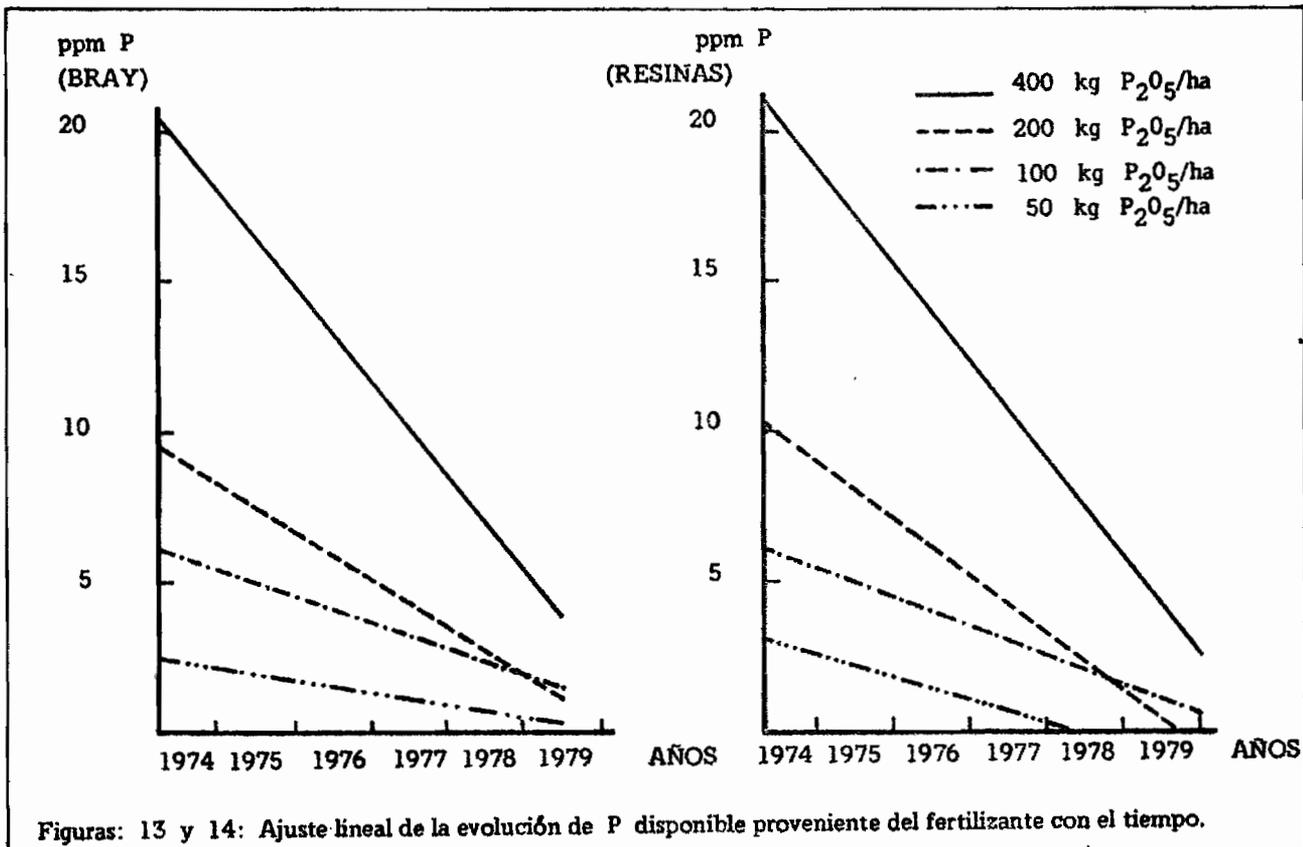
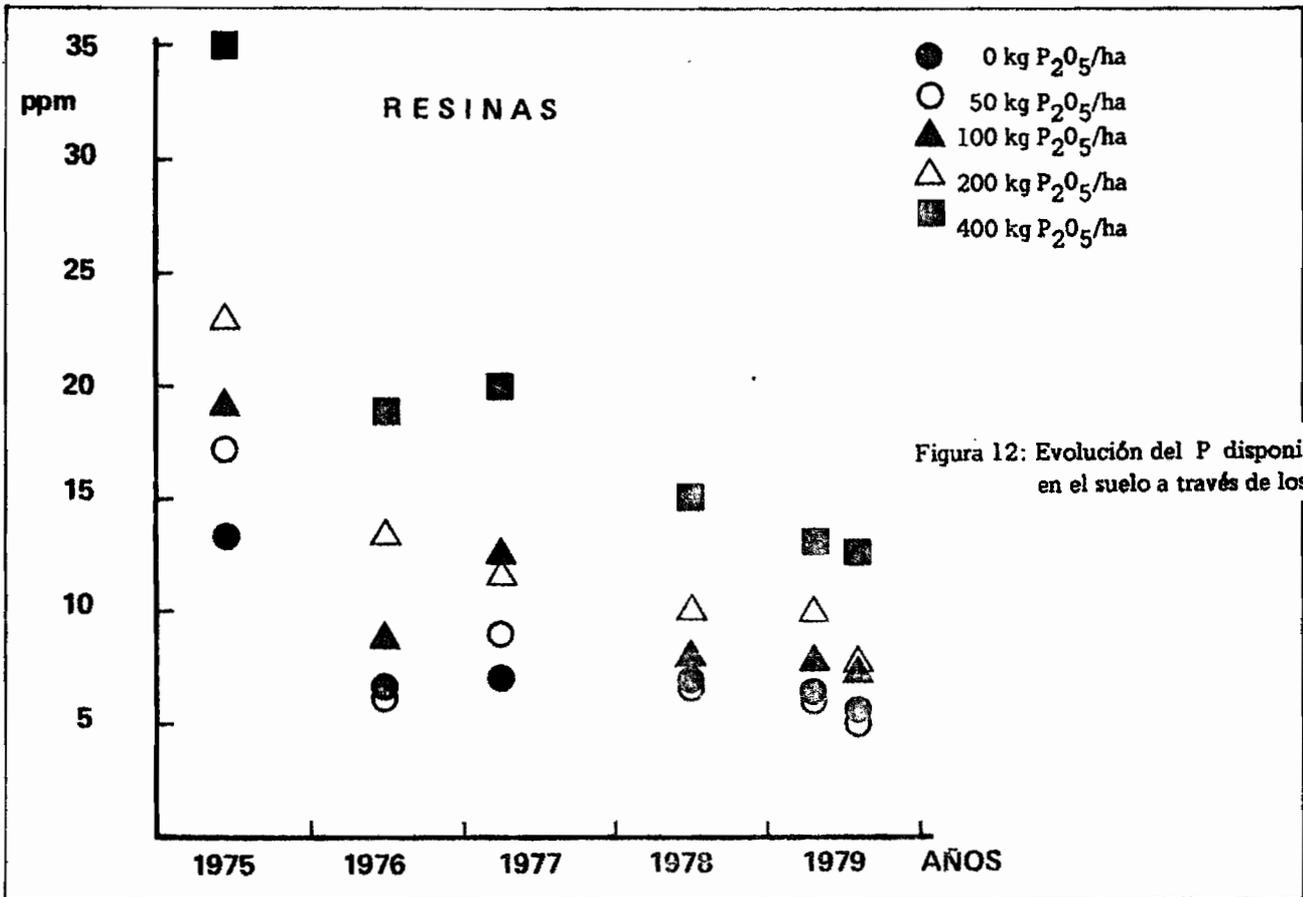


Figura 11: Evolución del P disponible en el suelo a través de los años.

En primer lugar, se estudió el ajuste lineal que presentaban los datos de P disponible en el suelo, proveniente del fertilizante, con el tiempo transcurrido desde la fertilización, para las cuatro dosis de fertilizante ( 50, 100, 200 y 400 kg de  $P_2O_5$ /ha ).

Para ello al valor de análisis de suelo para cada una de estas dosis, y en cada año, se le restó el valor de análisis en el mismo momento del tratamiento no fertilizado.



Como muestra el Cuadro 8, el ajuste resultó aceptablemente bueno y se observó una clara relación entre la pendiente de cada recta, y la dosis inicial del fertilizante.

La correlación entre las dosis iniciales y los coeficientes  $b_1$  de las rectas correspondientes, fue de  $-0.9996$  para los datos obtenidos por el método de Bray, y de  $-0.9980$  para los obtenidos por el método de Resinas.

Cuadro 8: Parámetros de las rectas de evolución del P disponible.  $x$  = Tiempo desde la fertilización.  $Y$  = ppm P disponible.

METODO de ANALISIS BRAY				METODO de ANALISIS : RESINAS			
Dosis de fertilizante	$b_1$	$b_0$	$r$	Dosis de fertilizante	$b_1$	$b_0$	$r$
50	- 0.4926	2.4903	- 0.65	50	- 0.8934	3.4268	- 0.80
100	- 0.8683	5.7816	- 0.79	100	- 1.0901	6.4916	- 0.78
200	- 1.6428	9.3198	- 0.88	200	- 1.7425	10.1981	- 0.97
400	- 3.3343	24.5418	- 0.98	400	- 3.4210	21.6964	- 0.96

Esto está indicando que la caída del P disponible sería más brusca, cuanto más alta sea la dosis inicial de fertilizante.

Al realizar un análisis de los coeficientes  $b_1$ , se observó que las diferencias entre los mismos, eran altamente significativas (10).

Se estudió entonces la relación entre el logaritmo del P disponible en el suelo proveniente del fertilizante y el tiempo transcurrido desde la fertilización. Para esto, se ajustó un modelo de regresión lineal utilizando:

$$Y = \text{logaritmo de } (P \text{ disponible en tratamientos fertilizados} - P \text{ disponible en el tratamiento sin fertilizar})$$

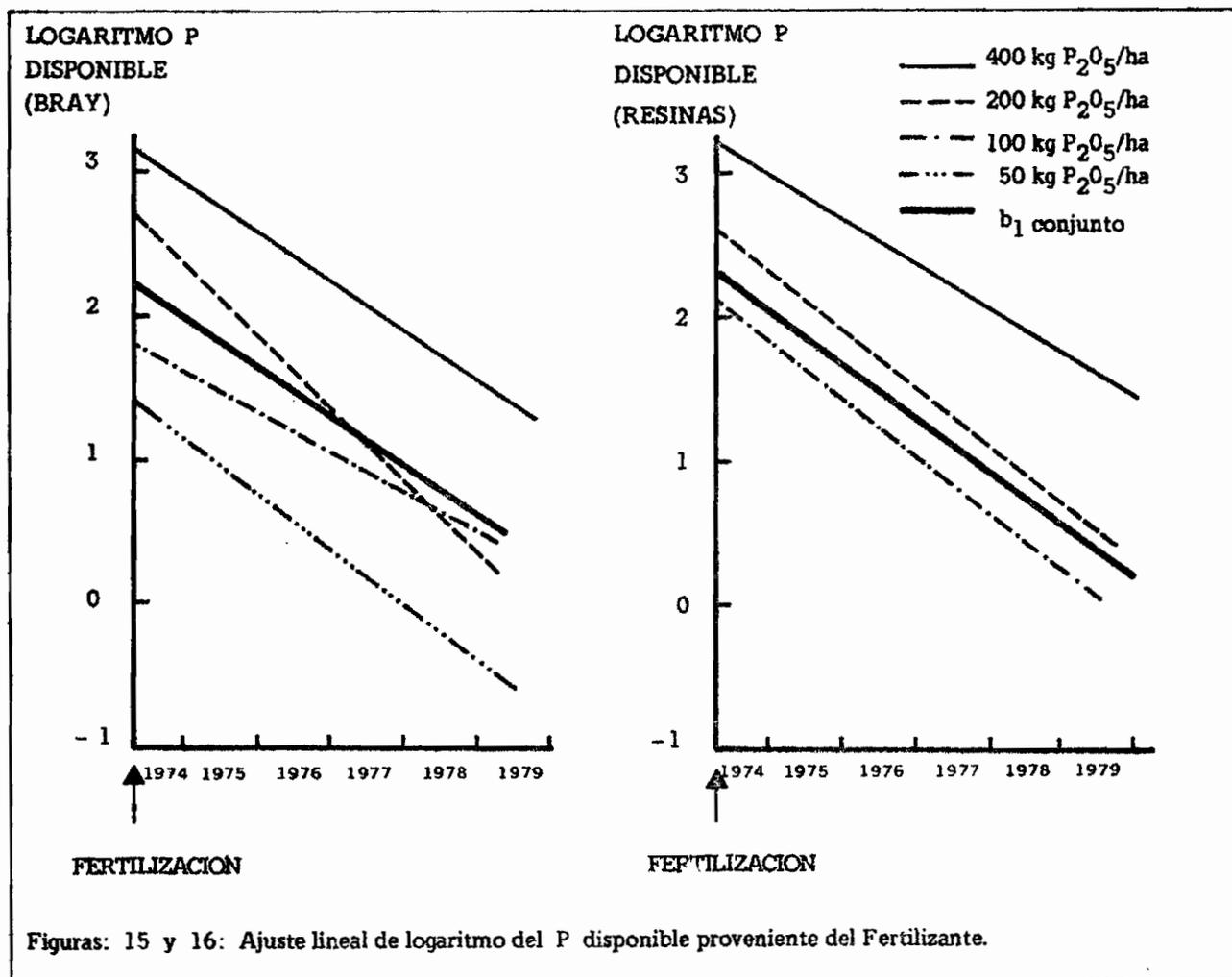
$$x = \text{años desde la fertilización.}$$

Los resultados de este ajuste para los datos obtenidos con el método Bray y con el de Resinas, aparecen en las Figuras 15 y 16 y en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Relaciones entre el logaritmo del P disponible proveniente del fertilizante ( $x$ ) y el tiempo transcurrido desde la fertilización.

B R A Y		R E S I N A S	
$Y_{50} = 1.3001 - 0.3517 x$	$(r = -0.90)$	$Y_{50} = (*)$	
$Y_{100} = 1.9096 - 0.3229 x$	$(r = -0.65)$	$Y_{100} = 2.0768 - 0.3881 x$	$(r = -0.78)$
$Y_{200} = 2.6409 - 0.4918 x$	$(r = -0.80)$	$Y_{200} = 2.6116 - 0.3471 x$	$(r = -0.93)$
$Y_{400} = 3.2157 - 0.3280 x$	$(r = -0.99)$	$Y_{400} = 3.2426 - 0.3068 x$	$(r = -0.98)$
$b_1$ conjunto = - 0.3809		$b_1$ conjunto = - 0.3640	

\* la recta de  $Y_{50}$  es prácticamente igual a la de  $Y_0$ , por lo que existen muchos valores de (P disponible en  $Y_{50}$  - P disponible en  $Y_0$ ) que son iguales a cero o negativos, cuyos logaritmos no existen.



El antilogaritmo del valor del coeficiente lineal de estas regresiones (PR) representa el efecto residual de cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea y el valor (1-PR), expresa la tasa anual de descenso del valor de análisis (4).

Al realizar un análisis de varianza, de los coeficientes b<sub>1</sub> provenientes de esas regresiones, se observó que para los dos métodos de análisis utilizados, éstos no difieren significativamente entre sí. Se calculó entonces el valor del coeficiente b<sub>1</sub> conjunto (Cuadro 9 y Figuras 15 y 16), para cada método de análisis de suelo, y el valor de PR y (1-PR).

Los valores de PR y (1 - PR) encontrados para cada regresión individual y para la regresión conjunta, aparecen en el Cuadro 10

Cuadro 10: Efecto residual de cada kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (PR), y tasa anual de descenso del valor de análisis (1 - PR).

BRAY I.			RESINAS		
DOSIS	PR	1 - PR	DOSIS	PR	1 - PR
50	0.703	0.297	50	-----	-----
100	0.724	0.276	100	0.678	0.322
200	0.612	0.388	200	0.672	0.328
400	0.720	0.280	400	0.736	0.264
Conjunta	0.683	0.317	Conjunta	0.695	0.305

#### IV. CONCLUSIONES.

- A. La pastura presentó una clara respuesta a la fertilización fosfatada en la producción total en los 4 años de duración del experimento. Esta respuesta no fue significativamente diferente entre el 2do. y 3er.año de producción.
- B. La respuesta de la pastura al agregado de fósforo presentó una tendencia a ser mayor en los meses de primavera y verano, que en los de otoño e invierno. Por otro lado, la producción media de la pradera en cada corte y para todas las dosis de fertilizante, estuvo estrechamente relacionada con la cantidad de lluvia caída entre dos cortes consecutivos.
- C. La fertilización no influyó en la composición botánica de la producción total de la pradera. En cambio, se observaron claros cambios en la composición botánica de la pastura con el correr de los años, pasando de una dominancia de las leguminosas, a una dominancia de la festuca.
- D. El nivel crítico, definido como Cate y Nelson, para este experimento, estuvo entre 8 y 10 ppm de P disponible, para los dos métodos de análisis de suelo.
- E. El contenido de P disponible en el suelo en el año de la fertilización, explicó entre un 65 y un 75% de la variación de rendimientos de la pastura en los cuatro años de producción.
- F. El equivalente fertilizante, para este experimento, alcanzó un valor de 16.6 kg de  $P_2O_5$ /ha, para los dos métodos de análisis de P en el suelo utilizado.
- G. La relación entre P agregado y P disponible, fue lineal en el año de la fertilización, y esa linealidad se mantuvo durante los cinco años siguientes, lo que significa que el efecto residual de la fertilización fue directamente proporcional a la cantidad de fertilizante agregado inicialmente.
- H. La tasa anual de descenso del valor de análisis en este experimento fue de 0.317 para datos obtenidos por el método de Bray, y de 0.305 para los obtenidos utilizando el método de Resinas, para todas las dosis de fertilización inicial.

#### V. BIBLIOGRAFIA.

1. ALTAMIRANO, A. et al. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. M.A.P.; D.S.F. Vol. 1. 97pp. 1976.
2. 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 effectiveness of phosphate for plant growth. *Soil Science* 118 (6): 380-386. 1974.
3. CASTRO, L.; ZAMUZ, E.M.de y OUDRI, N. Guía para fertilización de pasturas. La Estanzuela.CIAAB. 17 pp.(Mimeo) 1976.
4. CASTRO, L.; ZAMUZ, E.M.de y BARBOZA, S. Fertilización de Pasturas en el Litoral Oeste del Uruguay. (En Prensa) 1981).
5. CATE, R.B.; NELSON, L.A. Un método rápido para Correlación de Análisis de Suelo con Ensayos de Fertilizantes. *International Soil Fertility . Boletín Técnico* No. 1. 1968.
6. 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.
7. HOLFORD, I.C.R. and GLEESON, A.C. White clover responses to phosphorus and sulphur on granitic soils. *Aust.J. of Exp. Agric. and AM.Hus.* 16 (79): 234-239. 1976.

8. LA ESTANZUELA. Fertilización de Pasturas. Boletín de Divulgación No. 5. M.A.P. C.I.A.A.B. 1971.
9. LARSEN, S. On the relationship between labile and non labile phosphate in soils. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 14 (4): 249-253. 1964.
10. MATHER, K. Statistical Analysis In *Biology, Science Paperbacks*, ed. (109-129). 1972.
11. ZAMUZ, E.M.de y CASTRO, L. Evaluación de Métodos de Análisis de Suelo para Determinar Fósforo Asimilable. Boletín Técnico No.15. M.A.P. C.I.A.A.B. 1974.

# **EFECTO COMPARATIVO DE LA FERTILIZACION INICIAL Y LAS REFERTILIZACIONES EN ALFALFA Y TEBOL BLANCO.**

WATER E. BAETHGEN

ASTUR S. BOZZANO

## **INTRODUCCION**

La productividad de una pastura perenne de gramíneas y leguminosas, está muy condicionada por la fertilización fosfatada, dada la generalizada deficiencia de fósforo existente en los suelos de nuestro país.

Los trabajos experimentales iniciados en la década del 60 para la mayoría de los grandes grupos de suelos del Uruguay, consistieron en una primera cuantificación de la respuesta al fósforo de distintas mezclas forrajeras que se adaptaban a dichos suelos (1), (2), (3)

Esta respuesta en producción es consecuencia de un efecto directo del P en la producción de cada uno de los componentes de la pastura, fundamentalmente del componente leguminosa, e indirectamente a través de una mayor disponibilidad del N causada por la mayor fijación de este nutriente por las leguminosas a mayores niveles de producción (4).

Por otra parte el efecto de la fertilización fosfatada, estará condicionado por la especie de leguminosa que se esté utilizando, ya que características particulares en cuanto a hábitos de crecimiento, sistema radicular, ciclo, potenciales de rendimientos, persistencia, etc., afectan marcadamente la eficiencia de la fertilización fosfatada inicial y de las posibles refertilizaciones.

De esta manera uno de los objetivos perseguidos en el presente trabajo fue determinar los niveles óptimos de fertilización fosfatada para dos de las especies de leguminosas más utilizadas en nuestro país, cuando se siembran puras.

Por otro lado se buscó estudiar el efecto del P en la producción anual y total de dos especies de hábitos de crecimiento contrastantes, así como en la persistencia de esa producción.

Cabe señalar que además se persiguieron otros dos objetivos: por un lado calibrar métodos de análisis de suelos y por otro estudiar la evolución del P disponible, P total, P orgánico, P inorgánico, y de las distintas fracciones de P inorgánico (P-Al, P-Fe, P-Ca y fosfato ocluido). Sin embargo, los resultados obtenidos en relación a estos aspectos no serán tratados en esta primera publicación, aunque sí se incluirán en la redacción definitiva de este experimento.

## **II. MATERIALES Y METODOS.**

El experimento fue instalado en la E.E.L.E. en otoño de 1973 y finalizó en el año 1977. El diseño empleado fue de parcelas al azar con 6 repeticiones formando los tratamientos un "split-plot", en las parcelas grandes se incluyeron las especies y en las parcelas chicas los tratamientos de fertilización. Estos formaban un factorial de 3 niveles de fertilización inicial (80, 160 y 240 kg de  $P_2O_5$ /ha), por 3 niveles de refertilización anual (0, 40 y 80 kg de  $P_2O_5$ /ha) más un testigo sin fertilizar, haciendo un total de 10 tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1 Tratamientos Utilizados

DOSIS INICIALES ( P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha )	REFERTILIZACIONES ANUALES ( P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha )	NUMERO del TRATAMIENTO
0	0	1 (testigo)
80	0	2
80	40	3
80	80	4
160	0	5
160	40	6
160	80	7
240	0	8
240	40	9
240	80	10

Las parcelas chicas tenían una superficie de 12 m<sup>2</sup> (6 x 2) y las parcelas grandes de 120 m<sup>2</sup> (6 x 20).

Las variedades utilizadas fueron para alfalfa Estanduela Chaná (25 kg/ha) y para trébol blanco Estanduela Zapicán (19 kg/ha)

Se buscó el manejo óptimo para cada una de las especies, por lo que la alfalfa se cortaba cuando presentaba aproximadamente un 90 o/o de floración, y el trébol blanco cuando alcanzaba una altura de 20 cm.

En cada corte se determinó producción de Materia Verde (kg/ha), porcentaje de Materia Seca, producción de Materia Seca (kg/ha), y P absorbido por la planta. En los casos en que aparecían malezas se hacía composición botánica de forma de poder considerar solamente la producción de las especies sembradas.

Por último se realizó un muestreo de suelo anualmente, en el momento previo a las refertilizaciones, determinándose en el laboratorio fósforo disponible por el método de Bray 1 y de resinas de intercambio catiónico, fósforo total, fósforo orgánico, fósforo inorgánico, y las diferentes fracciones de fósforo inorgánico.

El suelo en que se realizó el ensayo es un Brunosol eutrítico típico y los datos analíticos al momento de la instalación del experimento aparecen en el Cuadro 2.

Cuadro 2 Principales características químicas y físicas del suelo.

PROFUNDIDAD	TEXTURA			pH		CIC mc / 100 g	
	ARENA	LIMO	ARCILLA	H <sub>2</sub> O	KCl		
A <sub>1</sub>	0 15	11.7	38.4	37.0	6.0	5.2	23.0
B <sub>2</sub>	15 45	8.1	34.0	45.0	7.5	5.9	27.4
B <sub>3</sub>	45 60	7.7	40.6	40.8	8.4	6.9	.....
	60 85	8.1	34.6	44.2	8.7	7.4	.....
	85 120	8.2	34.0	42.0	8.8	7.5	.....
	PROF.	P BRAY	P. RESINAS		M. O.		
	0 15 cm	8.9 ppm	9.2 ppm		3.7 o/o		

### III. RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados que se presentan en esta primera publicación son los referentes exclusivamente a la respuesta de ambas leguminosas a los niveles iniciales de fertilización y a las refertilizaciones anuales.

#### A. Efecto de la fertilización inicial en la producción en el primer año.

Parte de los resultados presentados en este trabajo referentes al primer año de producción, fueron publicados por Méndez en 1974 (8).

Tanto para la alfalfa como para el trébol blanco existió un efecto significativo de las dosis iniciales de fertilizante ( $P < 0.05$ ), aunque los niveles de producción y el tipo de respuesta al agregado de fósforo, que presentaron ambas especies fue considerablemente diferente.

De esta manera, mientras la alfalfa presentó una respuesta lineal al agregado de fósforo hasta los 240 kg de  $P_2O_5$ /ha, la del trébol blanco presentó un mejor ajuste a una función cuadrática con un máximo físico en los 252 kg de  $P_2O_5$  por hectárea.

Las medias de producción para cada nivel de fertilización y las funciones de respuesta ajustadas aparecen en el Cuadro 3 y Figura 1.

Cuadro 3: Producción en el primer año.

#### a. Producción para cada nivel de fertilización inicial.

kg $P_2O_5$ / ha	ALFALFA	T. BLANCO
	kg M.S. / ha	
0	6813 <sub>a</sub> *	5076 a
80	7806 b	5427 a
160	8872 c	6241 b
240	9462 d	6170 b

\* los valores con la misma letra no difieren significativamente al 5 o/o

#### b. Funciones ajustadas.

$$\begin{aligned}
 & (\hat{y} = \text{kg/ha de M.Seca} / x = \text{kg } P_2O_5 / \text{ha}) \\
 \text{Alfalfa} & = \hat{y} = 6921 + 10.73x \quad (r^2 = 0.99) \\
 \text{T. blanco} & = \hat{y} = 5147 + 4.944x \quad (r^2 = 0.79) \\
 & \hat{y} = 4.982 + 10.681x - 0.0212x^2 \quad (r^2 = 0.87)
 \end{aligned}$$

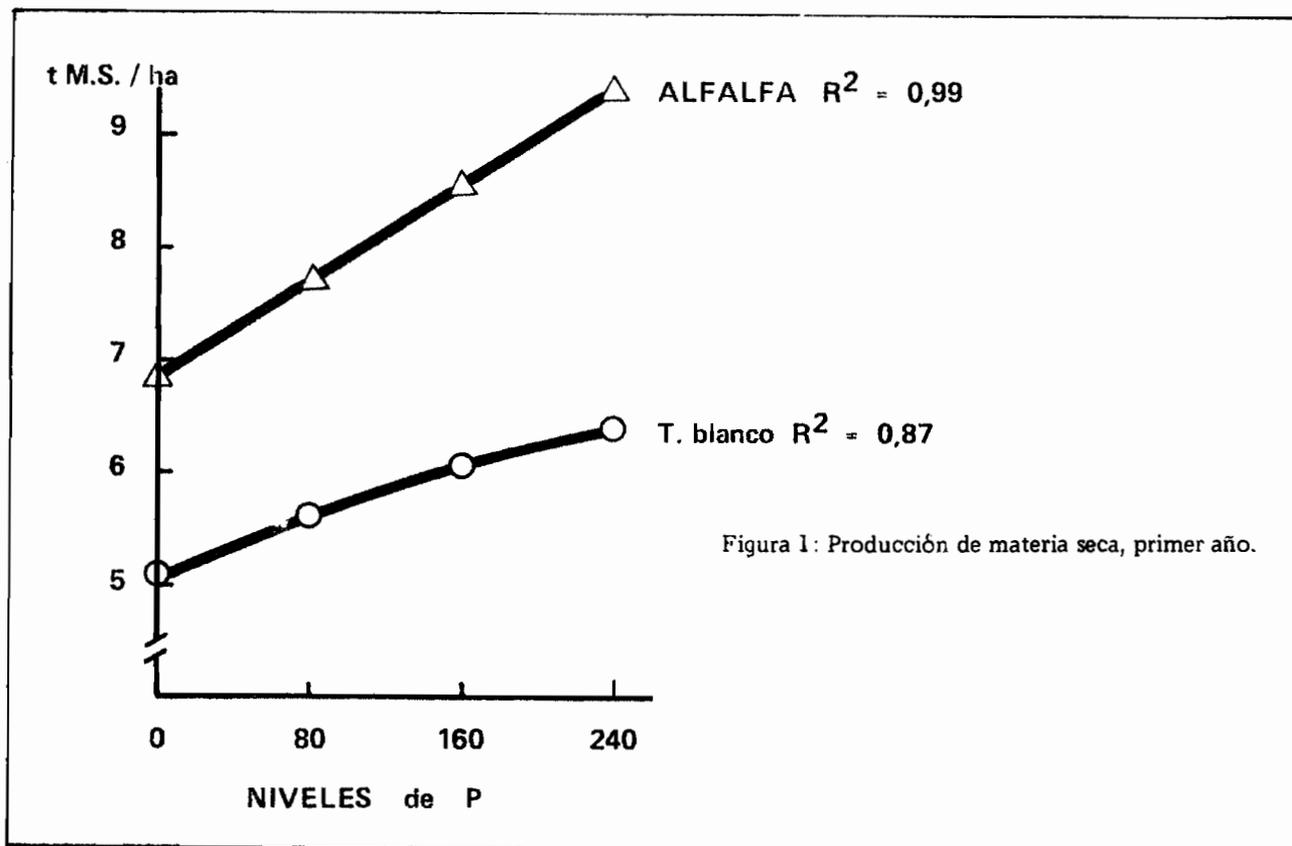


Figura 1: Producción de materia seca, primer año.

Como se puede apreciar en dicho cuadro, la producción de la alfalfa para todos los niveles de fósforo fue considerablemente mayor que la del trébol blanco, hecho que se mantuvo a lo largo de toda la duración del experimento. Posiblemente, dos de las causas más importantes de esa mayor producción hayan sido, por un lado, el mayor potencial de rendimiento de la alfalfa y por otro lado la mejor capacidad que presenta esta leguminosa de superar períodos de déficit de agua en el suelo, debido a su hábito de crecimiento radicular más profundo.

En ese primer año de producción de las pasturas, se intentó además estudiar separadamente el efecto del fósforo en la implantación y en el vigor inicial de las plantas instaladas.

El efecto de la fertilización sobre la implantación de ambas pasturas se evaluó indirectamente a través del primer corte realizado en cada una de ellas. Dicho corte se realizó a fines de invierno, por lo que la producción de M.S. de cada tratamiento es muy probable que esté muy relacionada con el número de plántulas instaladas, dada la escasa producción individual de cada plántula.

Por otra parte, los segundos cortes que se efectuaron para ambas especies en los primeros días de la primavera, permiten dar una buena idea del vigor inicial de las plantas implantadas en cada una de ellas.

Las Figuras 2, 3, 4 y 5, muestran las respuestas al agregado de P observadas en cada uno de estos aspectos, para ambas leguminosas.

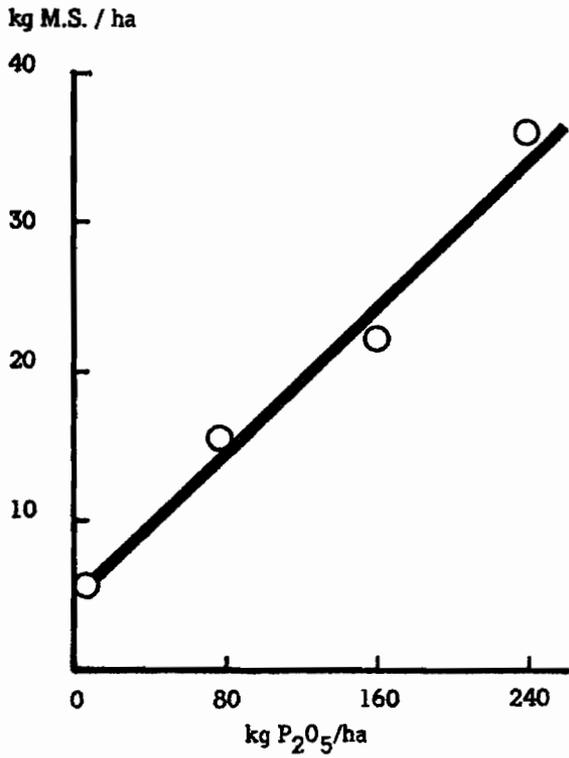


Figura 2: ALFALFA. 1er. Corte. (IMPLANTACION)

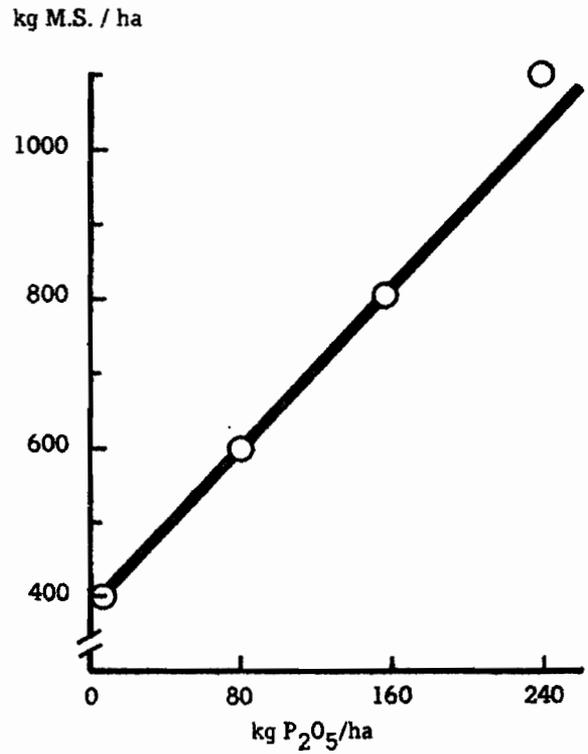


Figura 3: ALFALFA. 2do. Corte. (VIGOR INICIAL)

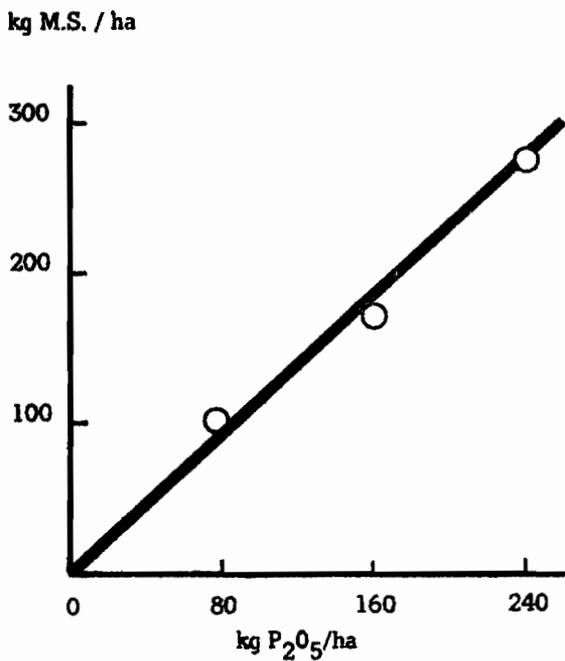


Figura 4: TREBOL BLANCO. 1er. Corte. (IMPLANTACION).

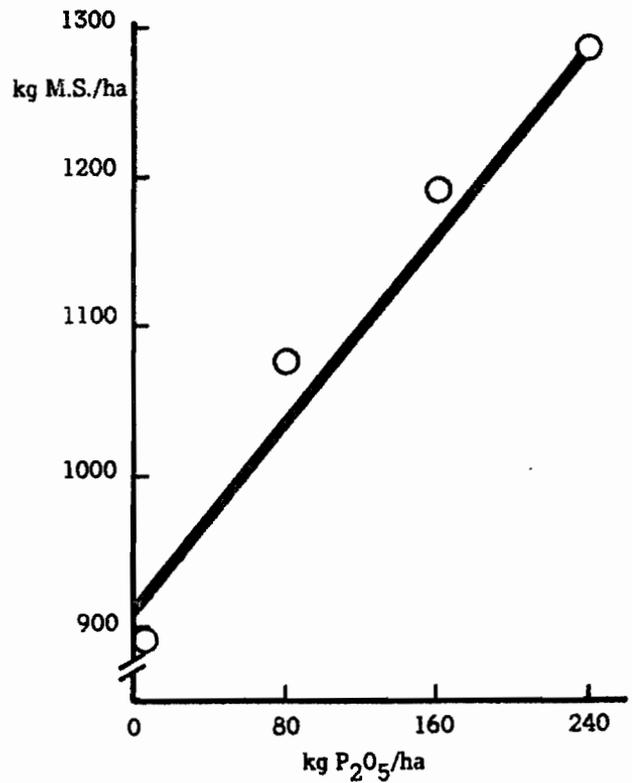


Figura 5: TREBOL BLANCO. 2do. Corte. (VIGOR INICIAL).

Como se puede observar en dichas figuras, existió una clara respuesta lineal de ambas pasturas al agregado de fósforo, tanto en el período de implantación como en el vigor inicial de las plantas instaladas. Por otro lado, los valores de los coeficientes de determinación encontrados, indicaron que más del 98 o/o de la variación encontrada en la producción de la alfalfa y del trébol blanco, en cada una de esas etapas, fue explicada por el nivel de fertilización fosfatada.

El efecto del fósforo en la buena instalación de la pastura, se demostró también claramente al estudiar el enmalezamiento que presentaron los diferentes tratamientos.

En el caso del trébol blanco, por ejemplo, para el segundo corte, en las parcelas que no habían sido fertilizadas, un 55 o/o del peso seco total cosechado correspondió a malezas, mientras que en las parcelas fertilizadas dicho porcentaje osciló entre un 30 y 36 o/o. (Figura 6).

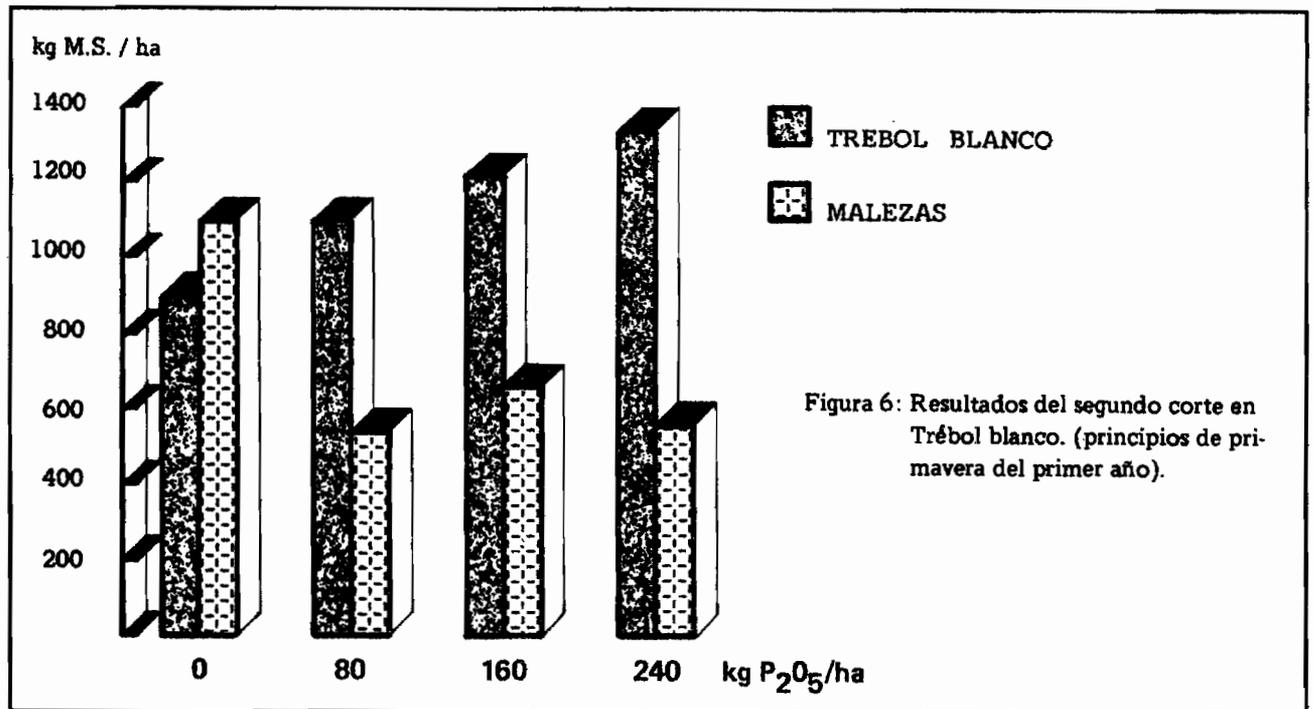
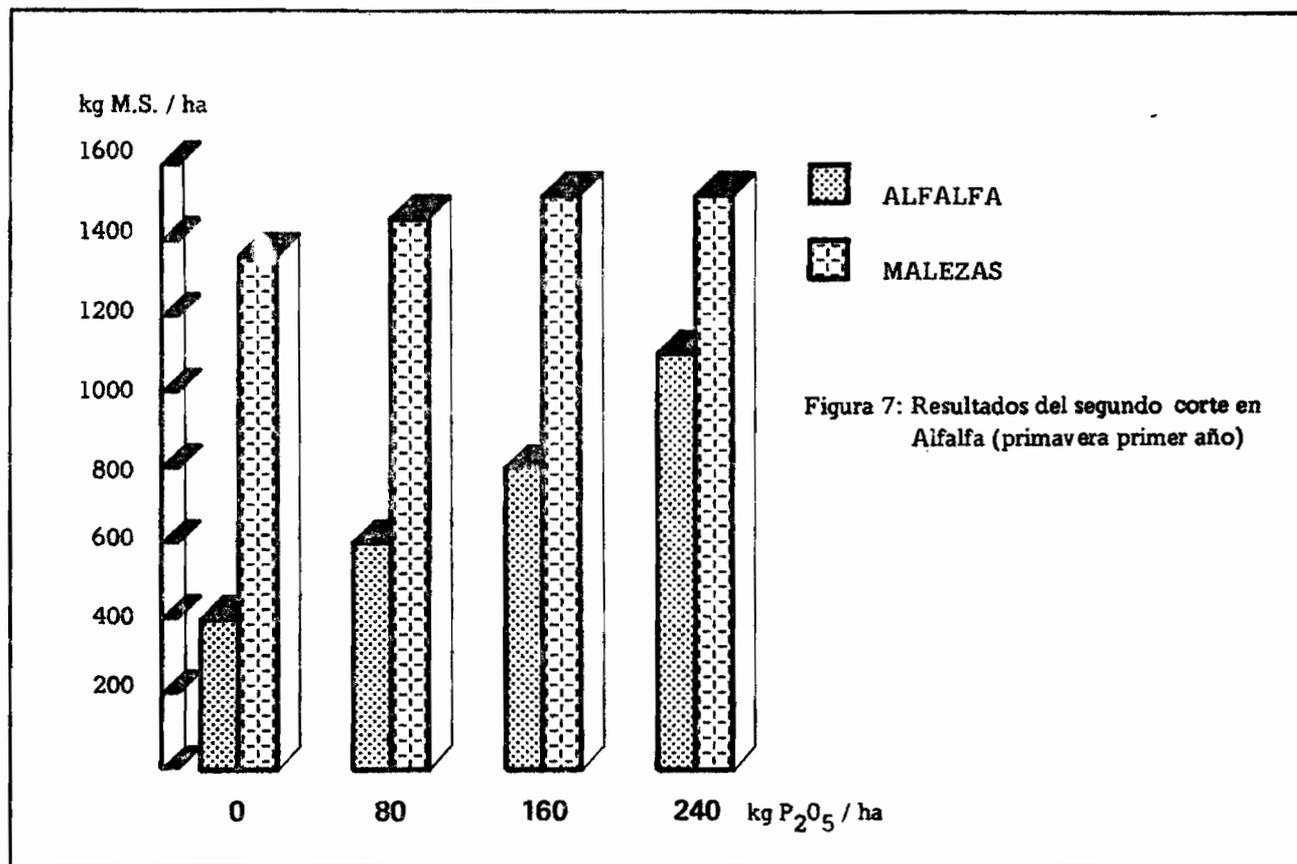


Figura 6: Resultados del segundo corte en Trébol blanco. (principios de primavera del primer año).

Este corte evalúa la producción del trébol blanco en la primera mitad de la primavera del año de instalación, que es el momento en que esta leguminosa comenzó a producir cantidades importantes de forraje. Por lo tanto parecería que hubiera existido un efecto importante del fósforo sobre el trébol blanco, favoreciendo un crecimiento más rápido, posiblemente ocupando una mayor área del suelo, permitiéndole de esta manera competir mejor con las malezas existentes.

El enmalezamiento en las parcelas de alfalfa, en cambio, fue menos dependiente del nivel de fertilización, siendo aproximadamente un 30 o/o el porcentaje sobre el peso seco total cosechado en el primer año, el correspondiente a las malezas (Figura 7).

El efecto "starter" del P en el crecimiento inicial de las plantas, es un aspecto ya muy conocido y comprobado en numerosos trabajos. Es así que L.F. Seatz y C.O. Stanberry (10) afirman que en el momento en que las plántulas alcanzaron un 25 o/o de su peso seco total, ya absorbieron el 75 o/o del P total, hecho que demuestra la gran importancia de lograr un nivel adecuado de este nutriente en forma disponible en las primeras etapas de crecimiento.



#### IV. RESULTADOS DEL SEGUNDO AÑO. ( 1974 - 1975 ).

En el segundo año de producción, en que comenzaron las refertilizaciones, las dos especies presentaron un comportamiento claramente diferente.

De esta manera, los análisis de varianza efectuados para la alfalfa, revelaron un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) de las dosis iniciales en la producción de dicha pastura.

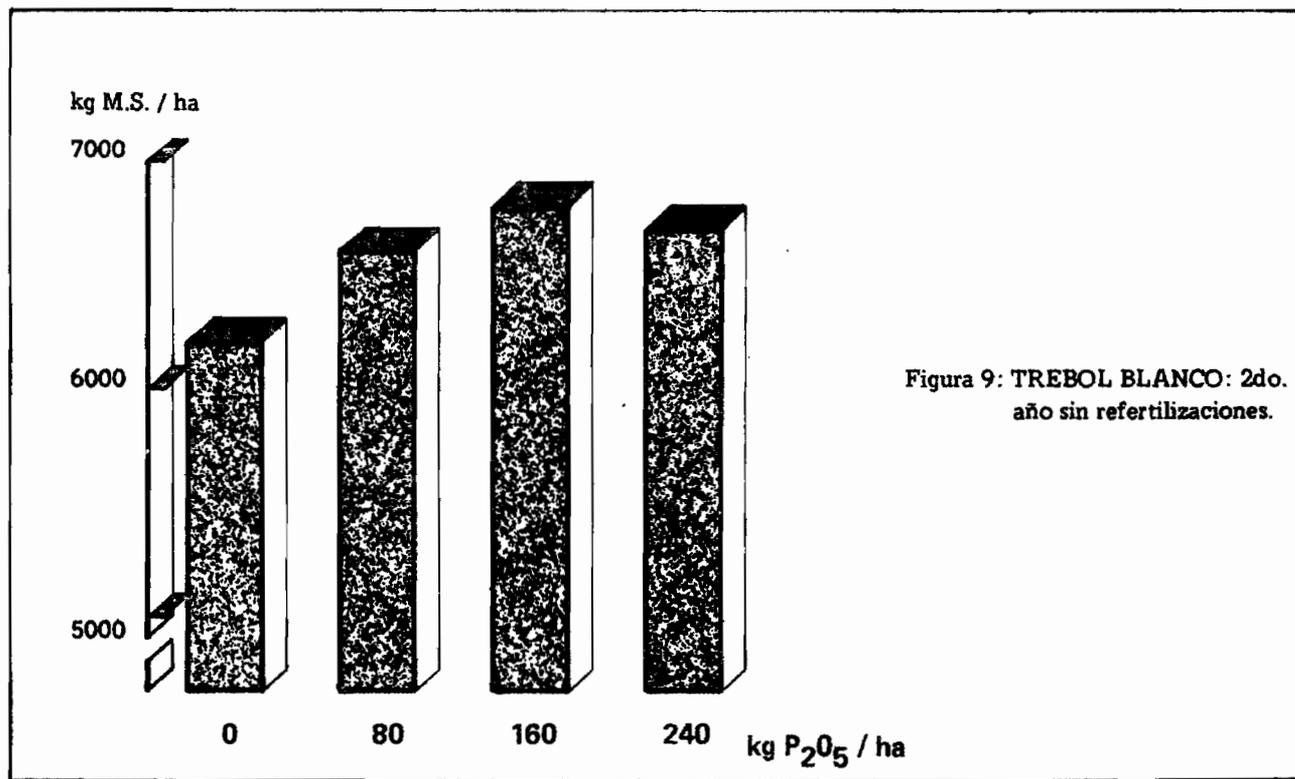
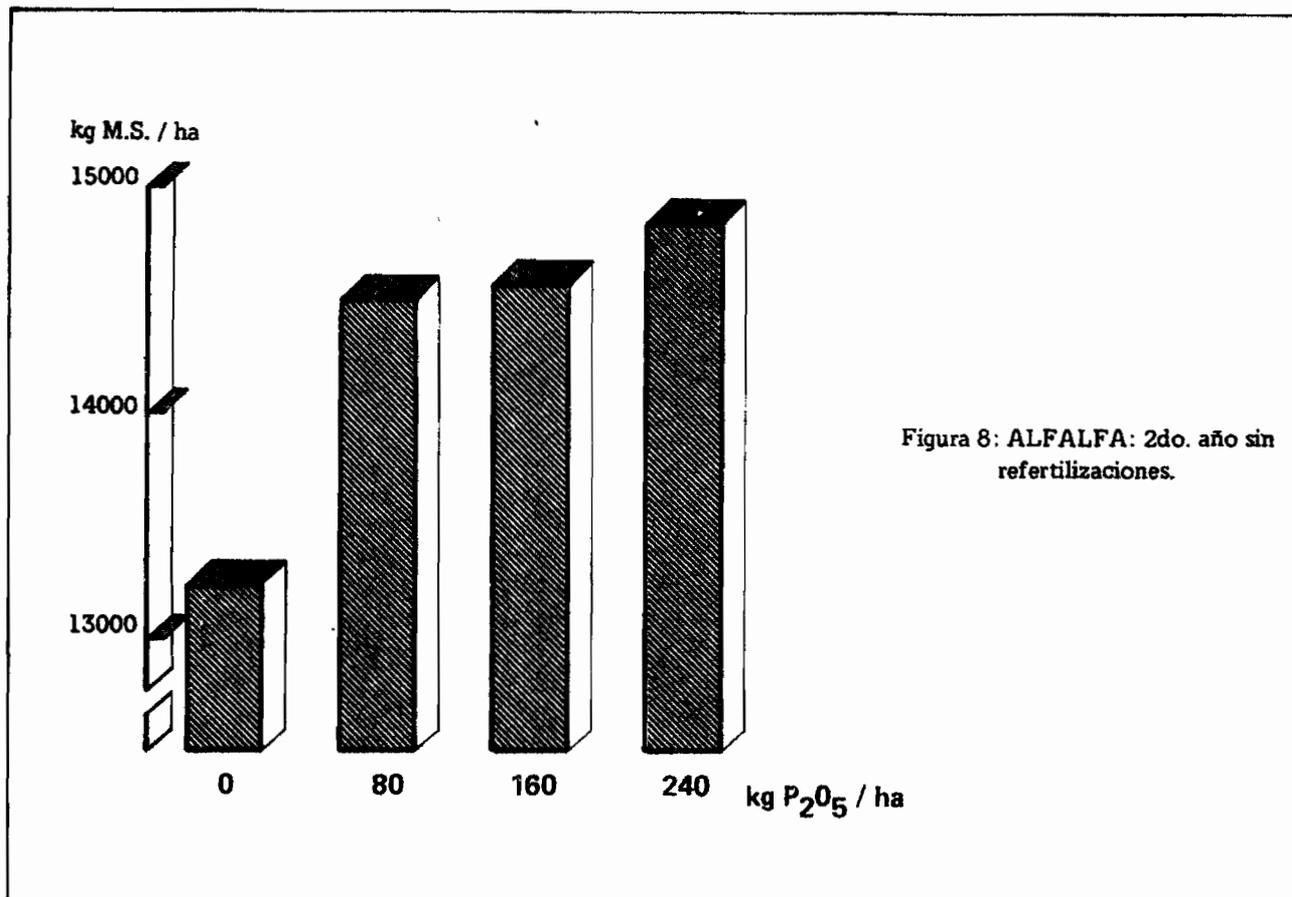
Por otro lado existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre el tratamiento testigo y el promedio del resto de los tratamientos.

En cambio, el efecto de las dosis de refertilización no fue significativo ( $P < 0.05$ ), (Figura 8 y Cuadro 4).

Cuadro 4: Resultados de Alfalfa Segundo año.

DOSIS INICIALES	ALFALFA M.S. kg/ha
0	13.259
80	14.470
160	14.513
240	15.078

Para el trébol blanco, en cambio, los análisis realizados revelaron un efecto significativo de las refertilizaciones. Por otro lado la producción del testigo fue significativamente menor ( $P < 0.05$ ) que la de cualquiera de los tratamientos que habían recibido solamente una fertilización inicial (Figura 9).



Tanto el efecto de las dosis iniciales como de las refertilizaciones en la producción de trébol blanco en este segundo año queda claramente demostrado en la Figura 10 y Cuadro 5.

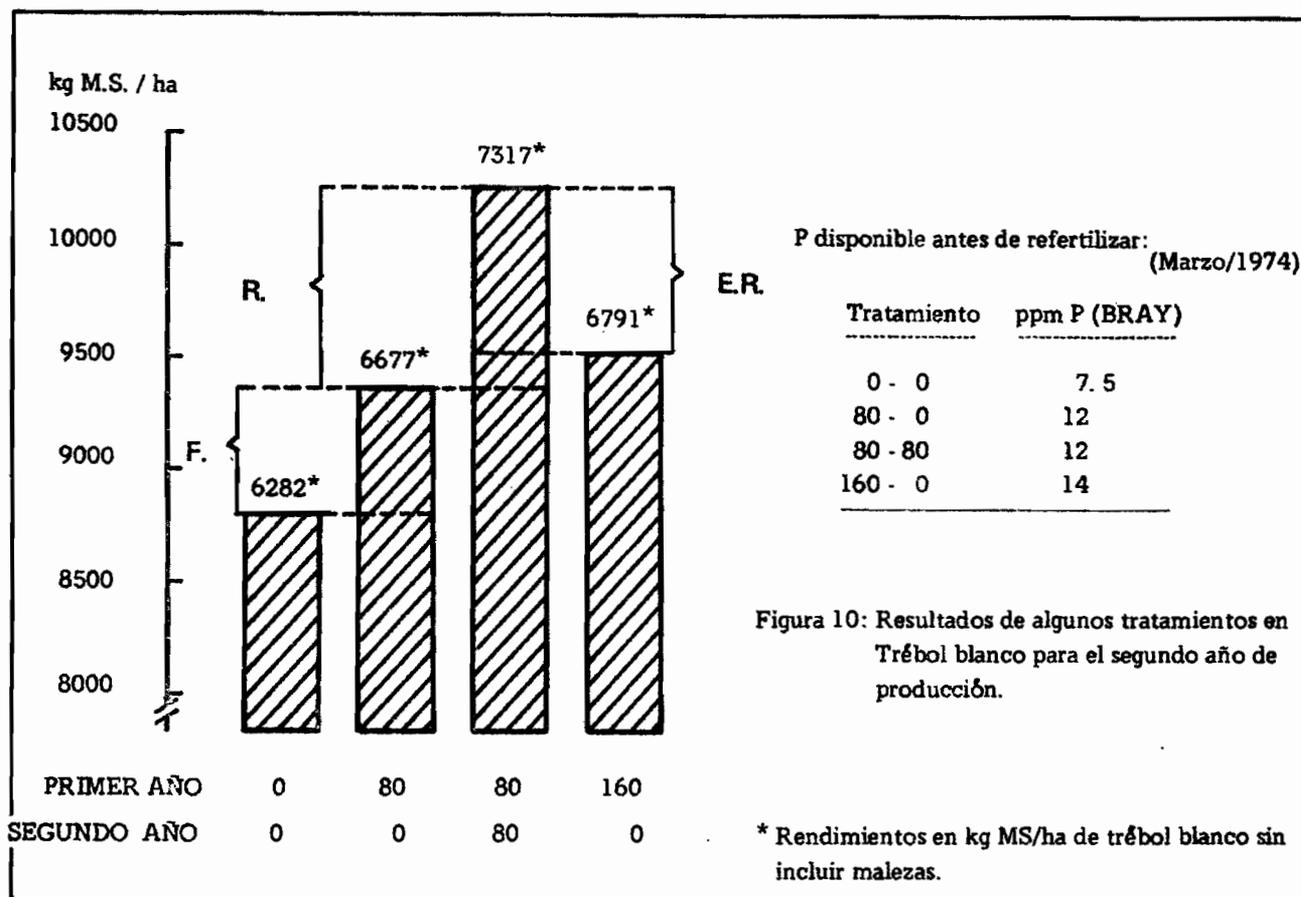


Figura 10: Resultados de algunos tratamientos en Trébol blanco para el segundo año de producción.

\* Rendimientos en kg MS/ha de trébol blanco sin incluir malezas.

Cuadro 5: Trébol blanco, producción segundo año.

TRATAMIENTO	kg $P_2O_5$ en 2 años	FORMA	RENDIMIENTO en 2do. año M.S.	
			kg / ha	o/o
1	0	—	8.811 a	100
2	80	80 - 0	9.365 a	106
4	160	80 - 80	10.262 b	116
5	160	160 - 0	9.524 a	108

Allí se presentan los rendimientos en kg M.S./ha de trébol blanco en cuatro tratamientos:

- el tratamiento testigo, que no recibió fertilizante en ninguno de los dos años (Tratamiento 1);
- un tratamiento que recibió 80 kg  $P_2O_5$ /ha solamente en el año de instalación (Tratamiento 2);
- un tratamiento con 80 kg  $P_2O_5$ /ha en la siembra y 80 kg  $P_2O_5$ /ha en el otoño del 2do. año (Tratamiento 4);
- un tratamiento con 160 kg  $P_2O_5$ /ha únicamente en la siembra (Tratamiento 5).

Si se compara la producción del tratamiento 1 (testigo) con la del tratamiento 2, la diferencia en el rendimiento, señalada en la Figura 10 con la letra F, estaría dada por los 80 kg de  $P_2O_5$ /ha aplicados en la siembra.

Por otra parte, si se comparan los rendimientos de los tratamientos 2 y 4, la diferencia observada ( R ), estaría determinada por esos 80 kg más de  $P_2O_5$  por hectárea agregados en el segundo año.

Y finalmente, comparando la producción de los tratamientos 4 y 5, los mayores rendimientos encontrados en el tratamiento 4 ( E.R. ), se explicarían por un mejor aprovechamiento del fertilizante, en ese caso, ya que la cantidad total de  $P_2O_5$  que recibieron ambos tratamientos en los dos años fue la misma (160 kg  $P_2O_5$ /ha). Existiría entonces, en el trébol blanco, y para las condiciones de este experimento, una mayor eficiencia en la utilización del fósforo, en el caso de aplicar una parte del fertilizante en la instalación y otra al segundo año de producción.

Resultados similares encontraron I.C.R. Holford y A.C. Gleeson (6) trabajando con trébol blanco. Estos autores, en un experimento instalado sobre un suelo con una capacidad de fijación de P excepcionalmente baja, y en el que por lo tanto existe un gran efecto residual del fertilizante fosfatado, observaron un importante efecto de las refertilizaciones anuales, incluso después de altas dosis de fertilizante aplicadas en el año de instalación de la pastura.

Como ya se había señalado, en la alfalfa no existió ningún efecto del agregado de nuevas cantidades de fósforo en el segundo año de producción.

Este diferente comportamiento de la alfalfa y el trébol blanco, frente a las refertilizaciones, puede ser explicado, en parte, por el diferente hábito de crecimiento que presentan estas especies, fundamentalmente en lo que se refiere a sus sistemas radiculares.

Como se esquematiza en la Figura 11, una planta de alfalfa, bien instalada, presenta un sistema radicular profundo, con capacidad de explorar un gran volumen de suelo, existiendo además una menor densidad de raíces en los primeros centímetros de suelo.

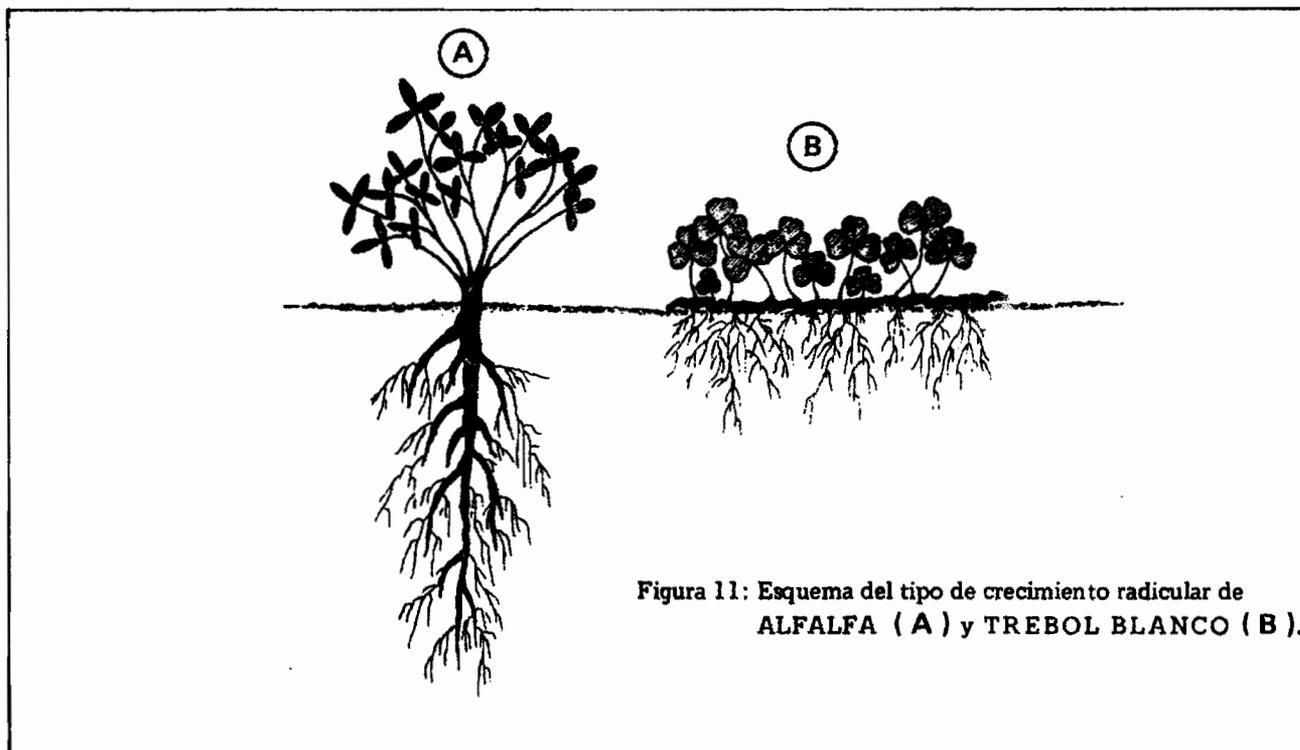


Figura 11: Esquema del tipo de crecimiento radicular de ALFALFA ( A ) y TREBOL BLANCO ( B ).

El trébol blanco, en cambio, presenta un sistema radicular mucho más superficial, con una gran actividad de esas raíces en los primeros centímetros del perfil, y posiblemente con una menor capacidad de explorar grandes volúmenes de suelo. Por otro lado, en el trébol blanco, año a año, aparecen nuevas plantas originadas, ya sea vegetativamente o a través de resiembra natural, que presentarán un sistema radicular aún más superficial, siendo muy probable que en esas nuevas plantas exista el típico efecto "starter" ya comentado en la sección anterior.

De esta forma, considerando estos aspectos, y para las condiciones en que se trabajó en este experimento, parecería que para la alfalfa, sería fundamental lograr en el año de la instalación un nivel de fósforo que permita una buena implantación y un adecuado desarrollo radicular, de manera que en el año siguiente las plantas puedan explorar grandes volúmenes de suelo y aprovechar el fósforo disponible presente en el perfil. En este sentido P.S. Lamba et. al. (7) demostraron que el momento en que se da el mayor crecimiento radicular en la alfalfa es durante el segundo año de producción.

Los mismos autores, al realizar un estudio comparativo de los sistemas radiculares de diferentes leguminosas, encontraron que la cantidad de raíces de trébol rojo presentes por debajo de los 40 centímetros de profundidad, era 5 a 10 veces menor que la de alfalfa.

Estos dos hechos comprueban por un lado, la gran capacidad de exploración del sistema radicular de la alfalfa y por otro, la importancia de lograr una buena disponibilidad de P en la implantación que permita a esta leguminosa en el segundo año, desarrollar adecuadamente su sistema radicular. En este experimento, dicho nivel fue de aproximadamente 80 kg/ha de  $P_2O_5$ , en el momento de la siembra.

Para el caso del trébol blanco, en cambio, si bien sería fundamental también asegurar un nivel adecuado de fósforo que permita una buena implantación, existiría además un efecto positivo de una refertilización al comenzar el segundo año de producción, que sería aprovechado tanto por las plantas ya existentes el año anterior (a través de su sistema radicular superficial), como por las plantas nuevas originadas por reproducción vegetativa y/o por resiembra natural.

Un aspecto que conviene destacar, es que los tratamientos testigos presentaban un nivel de fósforo relativamente alto (7.0 a 8.6 ppm Bray 1), en otoño del segundo año. De esta manera, de haberse instalado el experimento en un suelo con un nivel de P disponible menor, es posible que las pasturas hubieran presentado un comportamiento diferente frente al agregado de fósforo, tanto a través de las dosis iniciales como de las refertilizaciones.

Sin embargo, existen trabajos (5) en los que a pesar de que el análisis de suelo (Bray 1) no detectaba una buena disponibilidad de P, la alfalfa presentaba un desarrollo adecuado, lo que hizo a los autores concluir que pueden existir fracciones de P que el análisis no las tome como disponibles y que sin embargo sean fuente de P para las plantas. Resultados similares fueron reportados por G.W. Rehm y R.C. Sorensen en 1974 (9) trabajando también con el método de Bray 1.

Finalmente, es importante señalar que en el segundo año, desapareció el efecto del fósforo en el nivel de enmalezamiento de los diferentes tratamientos que se habían encontrado en el primer año, fundamentalmente para trébol blanco. En este segundo año, el porcentaje de malezas en todos los tratamientos varió entre un 26 y un 30 o/o.

## V. RESULTADOS DEL TERCER Y CUARTO AÑO.

A partir del tercer año de producción prácticamente desapareció el efecto de la fertilización fosfatada, en la producción de las pasturas. Es así que los análisis de varianza realizados para el trébol blanco, con los datos de producción del tercer y cuarto año, no revelaron ningún efecto significativo del fertilizante. En el caso de la alfalfa, únicamente en el tercer año existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre el promedio de todos los tratamientos fertilizados y el testigo (testigo vs. resto), desapareciendo incluso estas diferencias en el cuarto año. Esta disminución o desaparición del efecto del fósforo en pasturas de más de 2 ó 3 años, ha sido encontrado en muchos trabajos existentes en la literatura (6), (11), y sus autores la han explicado de maneras diferentes.

En este trabajo se podrían manejar fundamentalmente dos hipótesis para explicar los resultados obtenidos a partir de ese tercer año de producción: o bien el nivel de fósforo en el suelo dejó de ser un factor limitante para la producción de las pasturas, y/o a partir de ese momento empezaron a actuar otros factores que no permitieron que las pasturas mostraran respuestas a diferentes niveles de fósforo disponible en el suelo.

Para el caso de la alfalfa, podría suponerse que, ya en ese momento, esta leguminosa hubiera desarrollado un sistema radicular tan importante, que la capacitara a explorar un volumen de suelo de tal magnitud, que el fósforo disponible dejara de ser limitante para su producción. En ese momento el valor de P disponible en los primeros centímetros de suelo oscilaba entre las 4.6 y 6.0 ppm por el método de Bray.

Por otro lado, el hecho de que la producción de la alfalfa exclusivamente, descontando las malezas, haya presentado la misma tendencia que la producción total, estaría indicando que el enmalezamiento no fue un factor que determinó la ausencia de respuesta al fósforo de esta leguminosa.

El comportamiento del trébol blanco, en cambio, fue diferente. En efecto, si bien la producción total, incluyendo malezas, no fue afectada significativamente por la fertilización fosfatada, al descontar a la producción del cuarto año, los kilogramos de Materia Seca por hectárea correspondientes a las malezas, se encontró un cierto efecto de las dosis de fertilizante en la producción del trébol blanco (Figura 12).

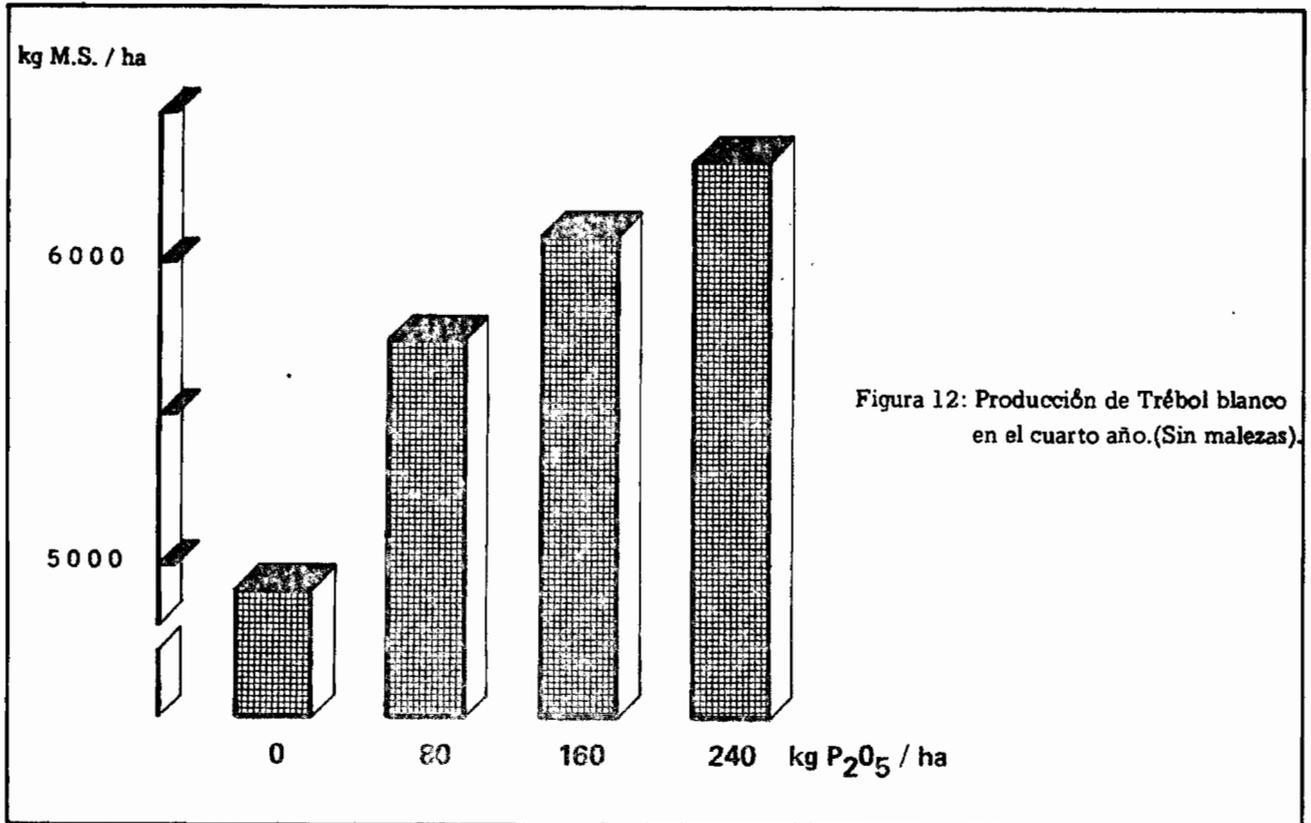


Figura 12: Producción de Trébol blanco en el cuarto año. (Sin malezas).

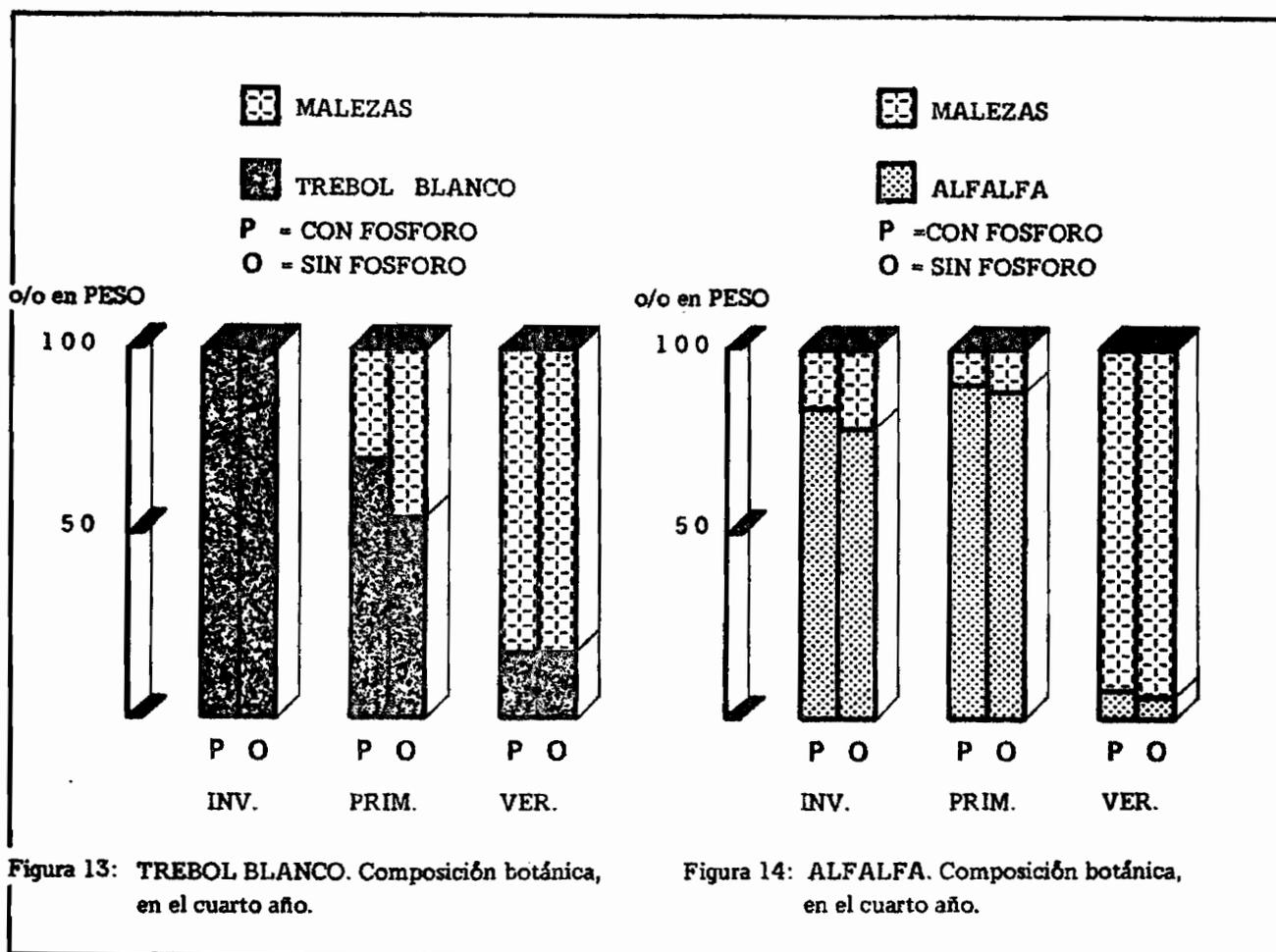
Esto estaría indicando que la importante invasión de malezas, fundamentalmente de gramilla (*Cynodon dactylon*, L.) registrada en el cuarto año, puede haber actuado como factor que enmascaró, en parte, la respuesta del trébol blanco al nivel de fertilización.

Esa diferencia en el comportamiento del trébol blanco considerado solo, con respecto al de la producción total considerando además malezas, se debió a un mayor enmalezamiento en la primavera del cuarto año (fundamentalmente de *Cynodon dactylon*) de las parcelas con niveles más bajos de fertilización, y esto a su vez, puede ser explicado por una mayor densidad de plantas de trébol blanco en las parcelas con niveles altos de fertilizante, que constituyó una defensa a la invasión de la gramilla.

De cualquier forma es indudable que a partir del tercer año de producción ambas pasturas comenzaron un claro proceso de degradación.

Uno de los síntomas de esa degradación lo constituye precisamente la fuerte invasión de malezas, principalmente *Cynodon dactylon*, que posiblemente aprovechando el nitrógeno fijado por las leguminosas comenzó a ser importante a partir del tercer año de producción de las pasturas. Por otro lado, si bien en el caso de trébol blanco existió un cierto efecto del fertilizante fosfatado en la primavera del cuarto año, sobre dicho enmalezamiento, que ya fue comentado en párrafos anteriores, el fósforo no influyó en forma general en ese proceso de degradación mencionado.

Esto queda claramente visualizado en las Figuras 13 y 14, en que se observa que el porcentaje de malezas en diferentes momentos del cuarto año de producción de ambas especies, no es afectado prácticamente por la fertilización.



## VI. RESULTADOS DE LA PRODUCCION TOTAL EN LOS CUATRO AÑOS.

Los resultados encontrados al considerar la producción acumulada en los cuatro años presentaron una tendencia muy similar a los del segundo año de producción.

De esta manera, en la alfalfa, existió un claro efecto de las dosis iniciales de fertilizante si se compara cualquiera de los tratamientos fertilizados inicialmente con el tratamiento testigo (Figura 15). En cambio no existió ningún efecto de las refertilizaciones en la producción acumulada de esta leguminosa.

Por otro lado, en el caso del trébol blanco, los análisis de varianza para la producción total, revelaron un efecto muy significativo ( $P < 0.01$ ) de las refertilizaciones.

Este comportamiento diferente de las dos leguminosas en su producción total acumulada, frente a la fertilización, puede ser explicado en forma similar a lo ya expresado al comentar los resultados del segundo año de producción.

En efecto, es muy probable que las diferencias en los hábitos de crecimiento de estas especies, en especial en el desarrollo de su sistema radicular y en la capacidad de originar nuevas plantas hayan sido las principales causas de ese comportamiento diferente frente a las distintas políticas de fertilización.

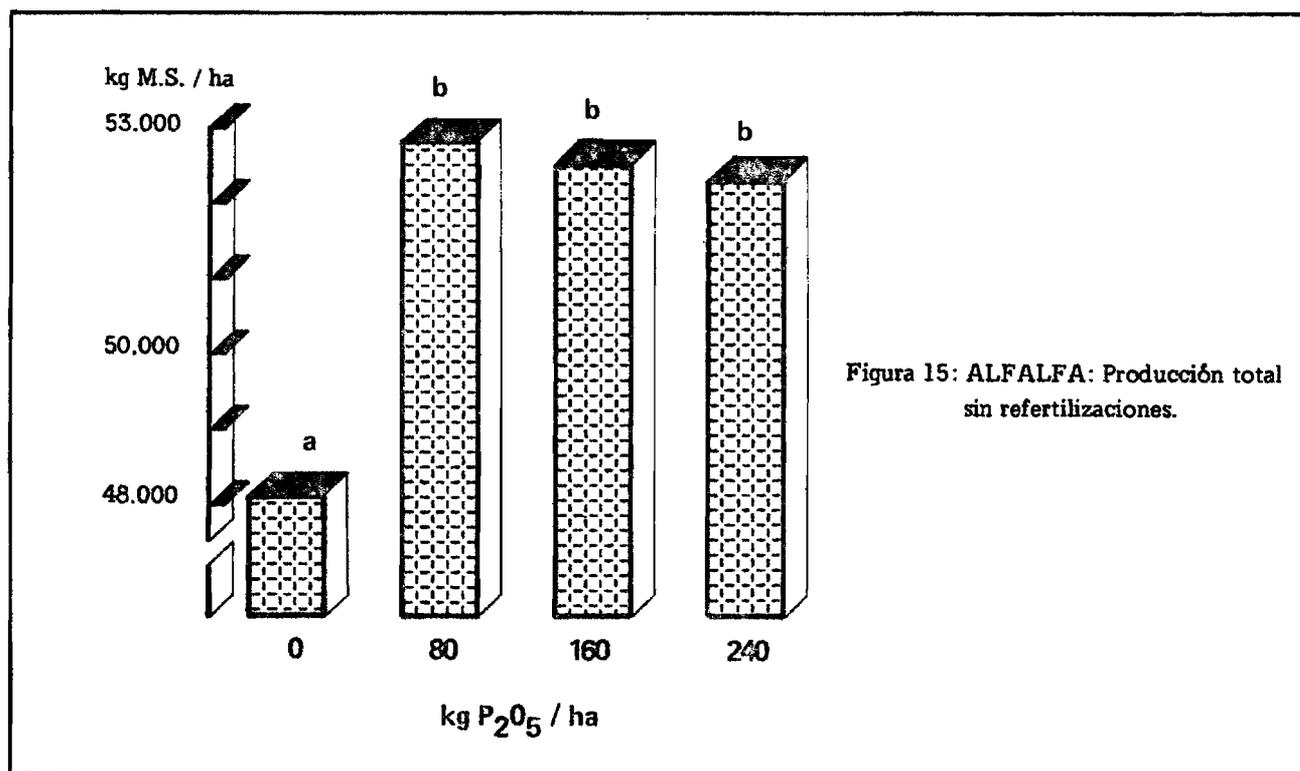


Figura 15: ALFALFA: Producción total sin refertilizaciones.

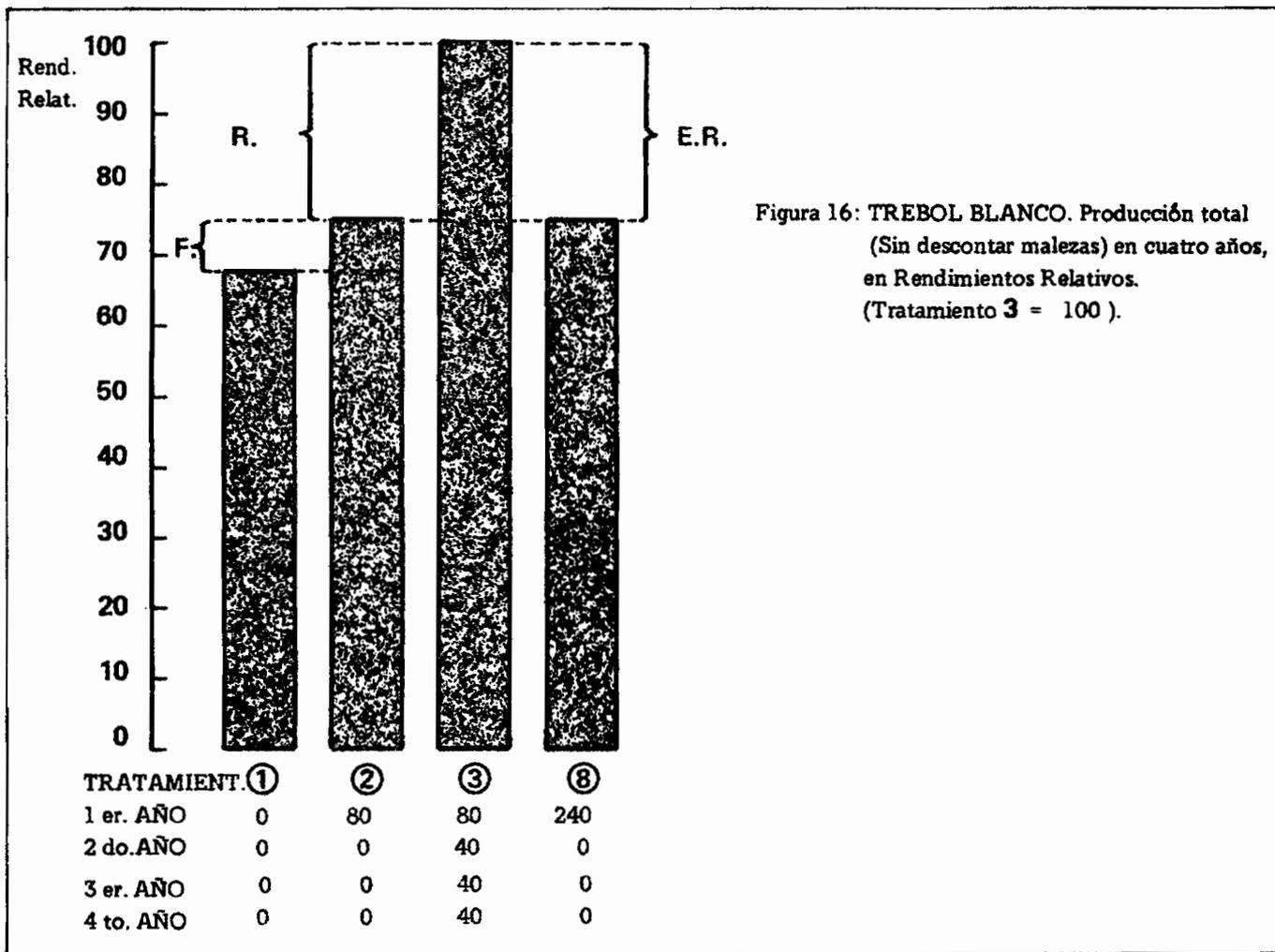
Los resultados más importantes referentes a la producción total en los cuatro años evaluados, aparecen en la Figura 15 para el caso de la alfalfa y en la Figura 16 y Cuadro 6 para el trébol blanco.

Para esta última especie se realizó un análisis muy similar al efectuado en el segundo año, comparándose cuatro tratamientos que permitieran analizar separadamente el efecto de las dosis iniciales, el efecto de las refertilizaciones y la eficiencia en la utilización del fertilizante. Para los datos de producción acumulada en los cuatro años, las diferencias entre esos aspectos fueron aún más claras que para los del segundo año. Por ejemplo es importante destacar las diferencias obtenidas entre el tratamiento que incluyó 240 kilogramos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea y el de 80 kilogramos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea a la siembra y refertilizaciones de 40 kilogramos anuales. Como muestra el Cuadro 6, si bien la cantidad total de fósforo agregado como fertilizante en los cuatro años fue mayor en el primer caso, existieron diferencias significativas (P<0.05) a favor del tratamiento que recibió refertilizaciones anuales.

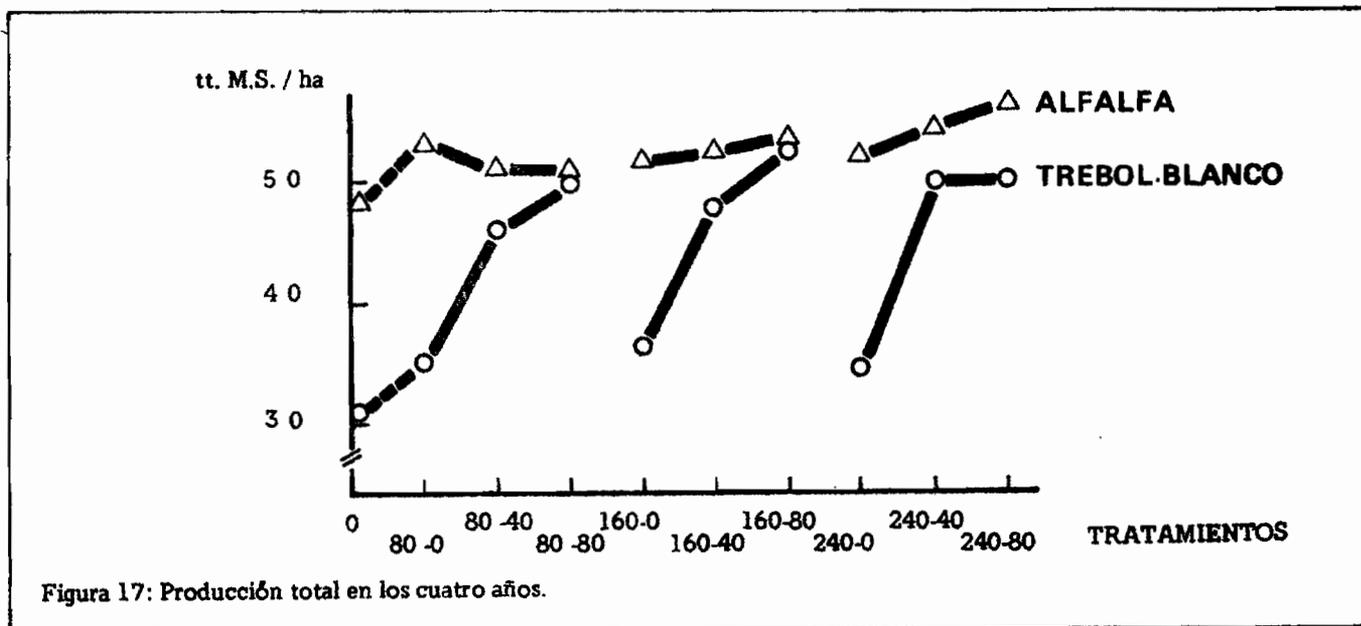
Cuadro 6: Trébol blanco: producción acumulada en los cuatro años. (Incluye malezas).

TRATAMIENTOS	kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> totales en 4 años	Forma de aplicación	Rendimiento kg M.S. / ha	Rendimiento Relativo (Trat. 3 = 100)
1	0	-----	31.185 a	67
2	80	80 - 0 - 0 - 0	34.614 a	75
3	200	80 - 40 - 40 - 40	46.208 b	100
8	240	240 - 0 - 0 - 0	33.968 a	74

Hubiera sido interesante, sin embargo, el haber podido contar con tratamientos en que se hubiera refertilizado solamente el segundo año, ya que a partir de ese momento desapareció el efecto del agregado de nuevas cantidades de fósforo. Sin embargo, el diseño de este experimento no permitió la existencia de un tratamiento de esas características.



Finalmente, la Figura 17 muestra el comportamiento general que presentaron las dos pasturas en lo referente a los efectos de las dosis iniciales de fertilizante y de las refertilizaciones, en la producción acumulada en los cuatro años de duración del experimento.



## VII. CONCLUSIONES.

1. Ambas especies presentaron una clara respuesta a la fertilización inicial existiendo un efecto importante del fósforo en la implantación y el desarrollo inicial de las dos leguminosas.
2. Los rendimientos en materia seca fueron siempre superiores para la alfalfa que para el trébol blanco, en todos los años y para todos los tratamientos.
3. La adecuada instalación del trébol blanco en los tratamientos con fertilización fosfatada inicial, permitió una reducción en el enmalezamiento de esta pastura en el primer año de producción.
4. En el segundo año de producción, en el que se dió el comportamiento más contrastante de las dos leguminosas, permaneció el efecto de las dosis iniciales para las dos pasturas, existiendo además un claro efecto de la refertilización para el caso del trébol blanco.
5. A partir del tercer año la fertilización fosfatada prácticamente dejó de actuar como un factor determinante de la producción de ambas pasturas, no existiendo por lo tanto efectos sobre su persistencia.
6. El comportamiento del trébol blanco y la alfalfa en la referente a la producción acumulada en los cuatro años del experimento fue muy similar al encontrado en el segundo año de producción.

## VIII. BIBLIOGRAFIA.

1. CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M.de y BARBOZA, S. Fertilización de pasturas en el Litoral Oeste de Uruguay. CIAAB. Boletín Técnico (En Prensa).
2. CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M.de y OUDRI, N. Guía para Fertilización de Pasturas. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay, No. 11. 1978.
3. CIAAB. Fertilización de Pasturas. Boletín de Divulgación. No. 5. 1971.
4. DIAZ, R.M.; GARCIA, F. y BOZZANO, A. Dinámica de la Disponibilidad de N y las Propiedades Físicas del Suelo en Rotaciones de Pasturas y Cultivos. In Rotaciones. Miscelánea No. 24 del CIAAB. 1980.
5. FOX, R.L. and LIPPS, R.C. Influence of soil profile characteristics upon the distribution of roots and nodules in alfalfa and sweet clover. *Agronomy Journal* 47 (8): 361-367. 1955.
6. HOLFORD, I.C.R. and GLEESON, A.C. Residual effect of phosphorous on white clover on granitic soils. *Australian Journal of Agricultural Research* (27): 509-516. 1976.
7. LAMBA, P.S.; AHLGREN, H.L. and MUCKENHIRN, R.J. Root growth of alfalfa, medium red clover, brome grass and timothy. *Agronomy Journal* (41): 451-458. 1949.
8. MENDEZ JUANI, J.A. Estudio de formas de fósforo en el suelo en un ensayo de fertilización. Tesis. Facultad de Agronomía. 1975.
9. REHM, G.W. and SORENSEN, R.C. Effects of the application of P, K and S to alfalfa grow on calcareous silt loam. *Soil Science* 117 (1): 58-65. 1974.
10. SEATZ, L.F. and STANBERRY, C.O. Advances in phosphate fertilization. In fertilizer technology and usage. Mc.Vickar et al. Eds. 1963.
11. TERMAN, G.L.; COLL, E.C. and LUTZ, J.A. Rate source and method of applying phosphates for alfalfa and legume-grass and pasture. *Agronomy Journal* (62): 261-264. 1960.

# **DINAMICA DEL FOSFORO EN LA PRODUCTIVIDAD DE UNA PASTURA CONVENCIONAL.**

ALEJANDRO E. MORON

JORGE M. PEREZ

## **INTRODUCCION**

La baja producción de nuestras pasturas naturales es la causa básica del limitado nivel productivo de nuestra ganadería

Desde el punto de vista de la fertilidad de los suelos el fósforo es el principal factor limitante para los distintos mejoramientos que se emprendan

Del conjunto de costos que implica la instalación y mantenimiento de un mejoramiento, la fertilización fosfatada es un porcentaje importante. En términos promedios el 62 o/o de los costos de una pastura convencional son debidos al fósforo. En mejoramientos extensivos este porcentaje se eleva al 79 o/o (5).

El conocimiento de la dinámica del fósforo en el suelo y su relación con la respuesta vegetal son necesarios para poder realizar un uso eficiente del fertilizante fosfatado.

El presente trabajo integra una línea de investigación del Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" que ya ha realizado contribuciones importantes en el tema.

Los objetivos por los cuales se realizó este experimento fueron los siguientes:

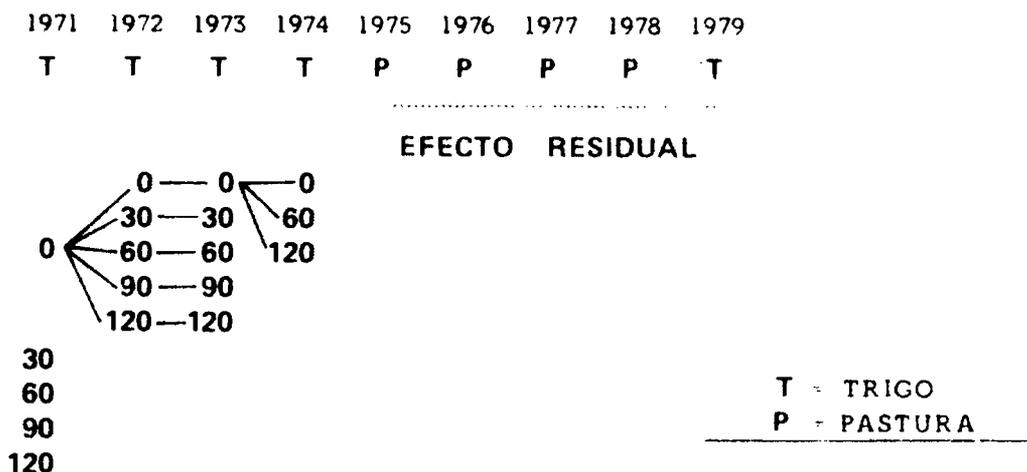
- A.** Estudiar cómo se incrementan los valores de fósforo "disponible" en el suelo por la aplicación consecutiva de fosfatos solubles.
- B.** Estudiar la disminución del fósforo "disponible" a través de los años para los diferentes valores de análisis alcanzados.
- C.** Determinar el efecto residual en el suelo a través de la producción de Mataria Seca, composición botánica y fósforo extraído.

## II. DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO.

El ensayo fue instalado en la Estación Experimental La Estanzuela, sobre un suelo de pradera parda sobre Libertad (Brunosol sub eutrico) ph 5.8, o o M.O. 4.5, Bray I ppm 3.8, C I.C. 24

El experimento consistió en una etapa inicial agrícola (trigo) que va desde 1971 hasta 1974 inclusive, y posteriormente una etapa de pasturas que va desde su implantación en 1975 hasta 1978 inclusive. En 1979 se volvió a plantar trigo (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1 Esquema del ensayo de fósforo residual. (1971 - 1980).



Básicamente los tratamientos consistieron en aplicar distintos niveles de fertilización fosfatada en la etapa agrícola inicial y estudiar su efecto residual en la etapa de pastura.

Inicialmente (1971) se aplicaron 5 dosis de Superfosfato 0, 30, 60, 90 y 120 kg  $P_2O_5$ /ha.

El segundo año (1972) se aplicaron los mismos cinco niveles a cada uno de los tratamientos del primer año.

El tercer año (1973) se repitió exactamente lo realizado el segundo año dado que surgieron dudas acerca de los niveles aplicados en 1972.

El cuarto año (1974) se aplica a cada uno de los tratamientos anteriores tres niveles de fósforo: 0, 60 y 120 kg  $P_2O_5$  /ha.

El conjunto del ensayo fue desarrollado con cuatro repeticiones.

Sintéticamente podemos decir que se llegó con 75 tratamientos diferentes a la etapa de pastura.

La pastura no recibió ningún tipo de fertilización directamente, se instaló y se desarrolló con el efecto residual de la etapa agrícola.

La mezcla forrajera sembrada fue

Trébol blanco - kg 2,8/ha  
 Lotus - kg 6,8/ha  
 Festuca - kg 9 /ha

Fue evaluado mediante cortes y determinaciones de Materia Seca, con devolución de forraje. Se realizaron los siguientes cortes por año:

1er año= 1 corte. 2do año= 3 cortes. 3er año= 3 cortes. 4to. = 2 cortes.

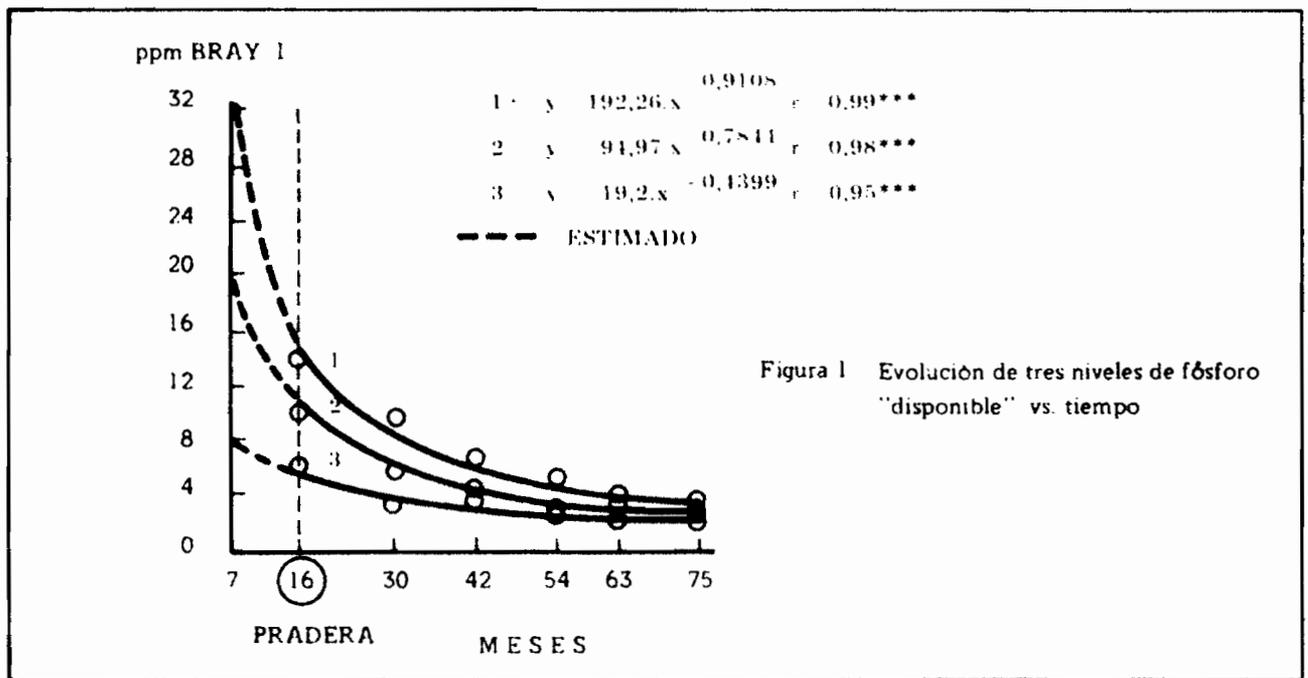
Se comenzará estudiando la etapa de pastura dado que es ésta la más importante por su estudio, y también porque es en base a coeficientes obtenidos en esta etapa que se pueden realizar estimaciones y análisis de la etapa agrícola.

### III. DINAMICA DEL FOSFORO

#### A. Análisis de la evolución del fósforo "disponible" en el suelo en la etapa de pastura.

De acuerdo con los tratamientos de fertilización realizados en la etapa agrícola, se llegó a la implantación de la pastura con distintos niveles de fósforo disponible estimados por el método Bray I. Los mayores valores corresponden a mayores fertilizaciones anteriores.

Se seleccionaron tres casos contrastantes (alto, medio y bajo) a los efectos de analizar su evolución. (Ver Figura 1).



Las tendencias generales que muestran estas tres funciones es la existencia de un efecto residual de la fertilización anterior que sigue una típica curva de extinción. A su vez comparando entre funciones, vemos que aquellos tratamientos que tienen mayores valores Bray I (ejemplo función 1) son los que han recibido mayores fertilizaciones anteriores.

El valor de fósforo disponible al mes 7 (última fertilización) fue obtenido por extrapolación (líneas punteadas en la Figura 1) de la función ajustada. Esto es debido a que los análisis de suelo para estimar fósforo disponible inmediatamente a una fertilización sobreestiman la disponibilidad real.

Dado que los análisis de suelo fueron realizados a intervalos de tiempo desiguales se ajustaron funciones exponenciales ( $r > 0,95^{***}$ ) y luego se calculó los valores año a año exactamente a partir de la fecha de la última fertilización (mes 7) (Ver Cuadro 2)

Cuadro 2. Decremento del valor fósforo disponible Bray I anual

AÑO	A L T O			M E D I O			B A J O		
	VALOR P	DIF	o.o	VALOR P	DIF	o.o	VALOR P	DIF	o.o
0 ( E )	32.67			20.63			8.16		
1	13.15	19.5	6.0	9.43	11	5.4	5.26	2.9	3.6
2	8.42	4.7	3.6	6.42	3	3.2	4.24	1.0	1.9
3	6.25	2.2	2.6	4.97	1.5	2.3	3.67	0.6	1.3
4	4.99	1.3	2.0	4.09	0.9	1.8	3.29	0.4	1.0
5	4.17	0.8	1.6	3.5	0.6	1.4	3.02	0.3	0.8
6	3.59	0.6	1.4	3.08	0.4	1.2	2.8	0.2	0.7

0 ( E ) Valor Estimado

En el Cuadro 2, dentro de cada una de las tres situaciones (alto, medio y bajo) se observa que las pérdidas en fertilidad en términos absolutos fueron decrecientes con los años, o sea que las mayores pérdidas son al principio. Los decrementos calculados porcentualmente son decrecientes.

A su vez, comparando los tres casos entre sí vemos que tomando un año determinado, pasaje del primer año al segundo año, mayores son las pérdidas en términos absolutos cuanto mayor sea el nivel de que partimos. En el caso de alto se pierden 4.7 ppm, en el medio 3 ppm y en el bajo 1 ppm.

Si retomamos la Figura 1, se constata que a medida que transcurren los años en las tres situaciones se tiende a converger en torno a valores que se pueden asimilar a los valores naturales del suelo. Podríamos decir que existe una tendencia del suelo al equilibrio, o sea, a volver a sus valores naturales.

A los efectos de globalizar este proceso y dotarlo de mayor precisión, se realizó un análisis en el tiempo con los 75 valores de fósforo Bray I (Ver Figura 2)

En cada análisis, aproximadamente uno por año, se tomó el promedio de los 75 valores. Se ajustó una curva exponencial que confirma la tendencia general vista en la Figura 1

Dado que los valores de análisis de suelo no estaban realizados a intervalos de tiempo iguales, a partir de la función ajustada correspondiente, se calcularon los valores año a año exactamente partiendo de la fecha de instalación de la pastura (mes 16) (Ver Cuadro 3).

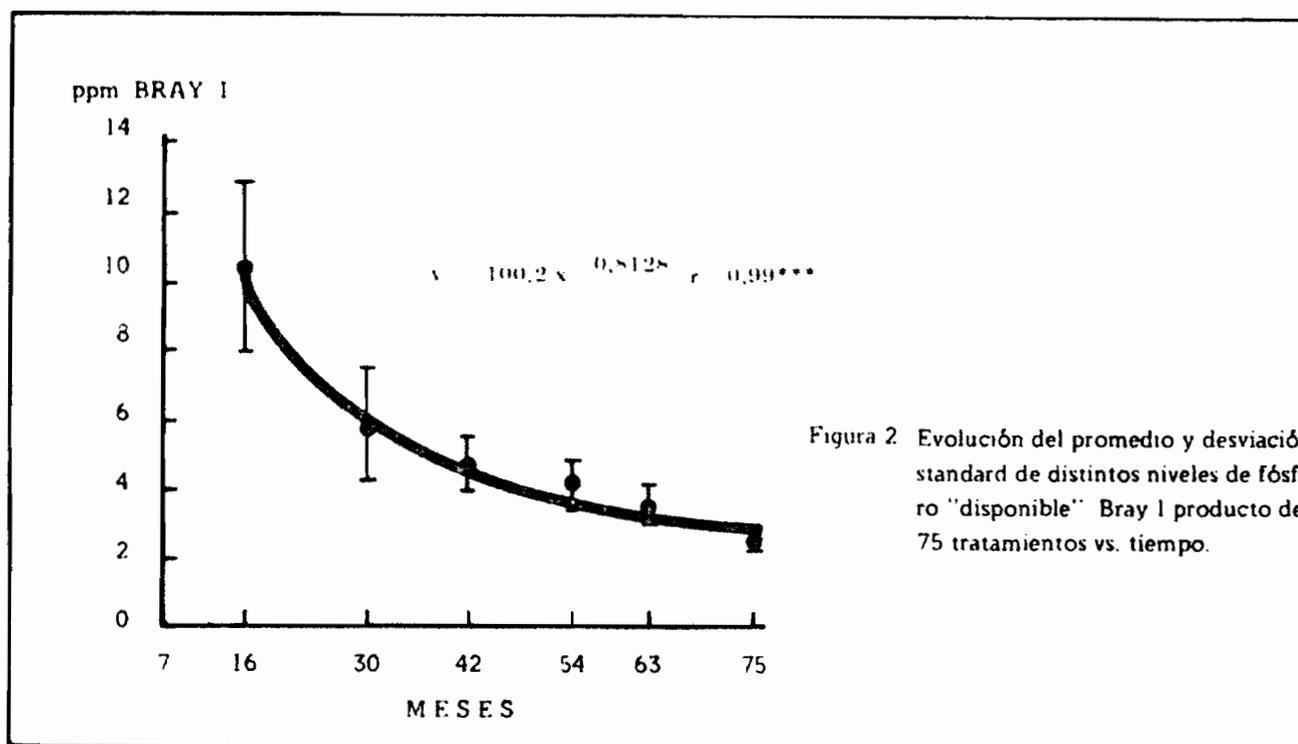


Figura 2 Evolución del promedio y desviación standard de distintos niveles de fósforo "disponible" Bray I producto de 75 tratamientos vs. tiempo.

Cuadro 3 Decremento de fósforo disponible Bray I por año (Promedio 75 tratamientos).

ANO	VALOR P	DIF	o/o		
1	10,5	3,8	3,6		
2	6,68				
3	5,0			1,7	2,5
4	4,04			1,0	2,1
5	3,41			0,6	1,6
6	2,97			0,4	1,3

Así podemos ver que los descensos del fósforo Bray I en términos absolutos son decrecientes en el tiempo, y a su vez si cada decremento lo referimos al valor al comienzo de cada periodo se ve que los decrementos porcentuales disminuyen.

Para cada año se calculó el valor de su desviación típica, sumandose y restandose a cada valor promedio original respectivamente (Figura 2). Se nota claramente la tendencia de las desviaciones típicas a disminuir a medida que pasa el tiempo.

Como conclusión podemos decir que los efectos residuales tienden a disminuir, y a su vez a concentrarse cada vez más en torno a las medias a medida que transcurre el tiempo. Existe tendencia a volver a los valores naturales del suelo.

El mismo análisis realizado con el método Bray I fue realizado por el método de resinas de intercambio catiónico (Ver Figura 3)

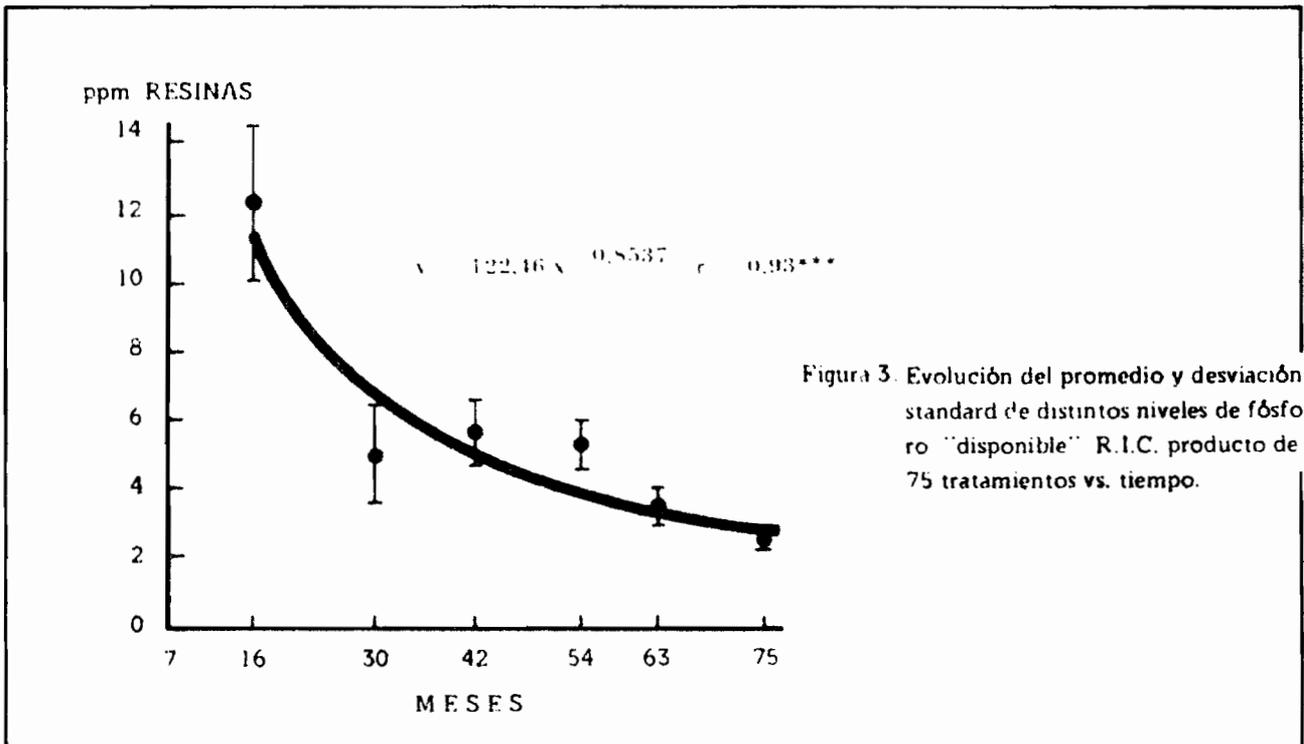


Figura 3. Evolución del promedio y desviación standard de distintos niveles de fósforo "disponible" R.I.C. producto de 75 tratamientos vs. tiempo.

En términos generales se muestran las mismas tendencias que para Bray I. Sin embargo, existen dos claros desfa-  
sajes de la tendencia general: el segundo y cuarto análisis. El segundo en menos y el cuarto en más.

El método de resinas exige trabajar a temperatura ambiente constante para tener valores comparables. Estas des-  
viaciones quizás se hayan originado en que los análisis del segundo y cuarto período no fueron realizados a la temperatura  
deseada.

### B. Tasas de Descenso.

La Guía de Fertilización de Pasturas (4) plantea para estos suelos, una tasa de descenso anual para el fósforo  
disponible del 28 o/o

Este 28 o/o es constante e independiente del nivel de partida y del año en que nos encontremos.

Las tasas de descenso fueron calculadas a partir de ajustar modelos semi logarítmicos para las curvas de extinción  
del fósforo disponible por encima del testigo sin fertilizar (3)

Ahora, si bien esta tasa en porcentaje es constante, es un porcentaje constante que se aplica a cantidades cada vez  
menores a medida que pasa el tiempo. O sea, que en términos absolutos en la fertilidad residual cada vez se pierde menos, o  
dicho de otra manera, las mayores pérdidas son al principio.

En la metodología usada en este trabajo se ajustaron modelos doble logarítmicos, y se tomó como valor de fós-  
foro disponible el real, o sea, no se descontó el valor natural del suelo (valor del testigo). Las tasas anuales porcentuales de  
descenso así calculadas fueron decrecientes a medida que transcurrieron los años. A su vez, cuanto más alto fue el nivel al-  
canzado más alta fue la tasa de descenso.

Es importante destacar que en ambos modelos las mayores pérdidas cuantitativamente son al principio.

### C. Evolución del fósforo "disponible" nativo.

Anteriormente analizamos la oposición a los cambios introducidos por la fertilización y su tendencia a retor-  
nar a los valores originales del suelo.

Analizaremos ahora la situación inversa

Para esto tomaremos el tratamiento testigo (sin fertilización), y veremos la evolución que tiene el fósforo disponible nativo Bray I a través de los 9 años de uso del suelo (Ver Figura 4)

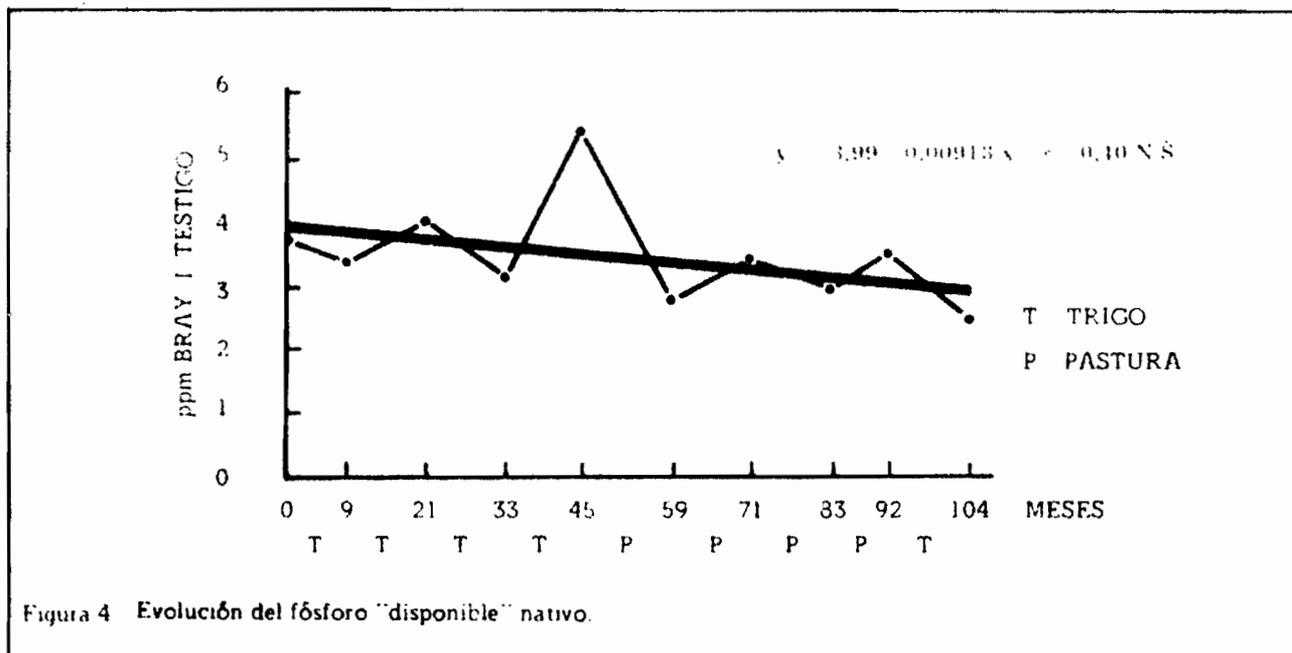


Figura 4 Evolución del fósforo "disponible" nativo.

Así vemos que a pesar de tener 5 años de trigo y 4 años de pastura el nivel de fósforo disponible Bray I nativo tiene una muy leve tendencia a disminuir, no significativa estadísticamente.

En términos generales el nivel de fósforo "disponible" nativo es estable. Si bien el nivel natural es estable, lamentablemente es bajo.

Por otra parte sabemos que existió consumo de esa parte del fósforo inorgánico que denominamos "disponible" extracción por el trigo y pasaje de fósforo inorgánico a fósforo orgánico por parte de la pastura.

Por lo tanto podemos concluir que, para mantener estable ese valor de fósforo disponible nativo a pesar del consumo a que fue sometido, tiene que haber existido reposición de fósforo hacia la parte que denominamos fósforo disponible nativo Bray I.

Por último se aprecia que las tasas de descenso vistas en este trabajo o las presentadas en la Guía de Fertilización de Pasturas (4) no serían válidas para evaluar la evolución del nivel de fósforo disponible nativo dada su estabilidad.

#### D. Extracción de fósforo por la pastura.

En la evolución del fósforo "disponible" en el suelo a través del tiempo pueden identificarse teóricamente dos causales de su evolución:

- la acción del suelo y su tendencia al equilibrio
- la extracción de fósforo por parte de cultivos y/o pasturas

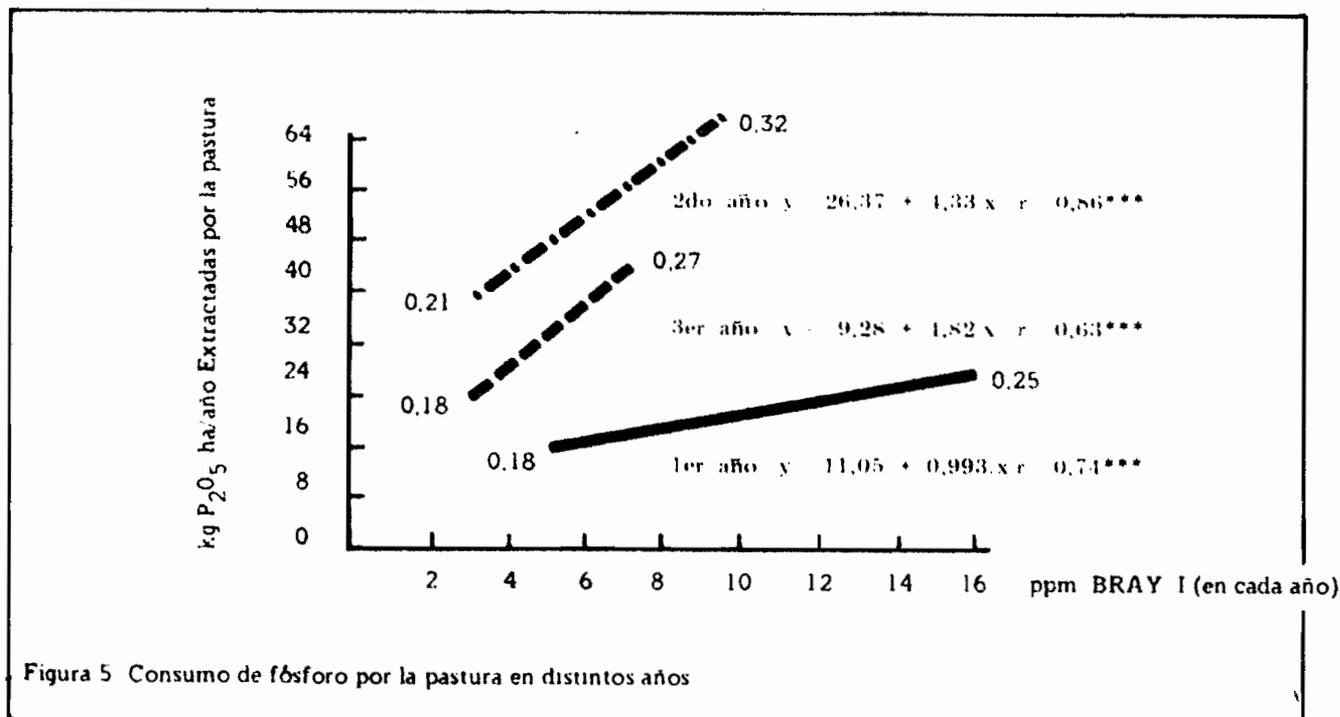
Es difícil cuantificar cuanto explica cada causal dado que el sistema no es cerrado (no es el mismo el volumen del suelo fertilizado y el explorado realmente por las raíces, existe reciclaje de nutrientes, etc.).

Trataremos, no obstante, de analizar tendencias.

En la Figura 5, podemos observar que el primer año de la pradera los consumos de fósforo pasan de 16 a 27 kg  $P_2O_5$  ha/año al aumentar los niveles de fertilidad. Esto tiene dos causas

- aumentos en los rendimientos en Materia Seca al aumentar la fertilidad
- aumentos en los contenidos de fósforo en la pastura, pasa de 0,18 a 0,25 o/o.

En el segundo año de la pradera aun con niveles de fósforo "disponible" Bray I menores al primer año los valores son considerablemente mayores, pasa de 39 a 67 kg  $P_2O_5$  ha/año y los contenidos de fósforo en la pastura de 0,21 a 0,32 o/o (promedio anual)



Las diferencias entre el primer y segundo año en las cantidades de kilogramos de fósforo consumidos se deben en gran medida a las marcadas diferencias en producción de Materia Seca a favor del segundo año.

El análisis de estos datos nos sugiere algunas consideraciones

1. Se destaca el segundo año como un alto consumidor de fósforo.
2. Son importantes las cantidades de fósforo que están pasando de la forma inorgánica a la orgánica. Dado que las plantas no absorben compuestos orgánicos del suelo, se puede considerar que desde este punto de vista el aumento del fósforo orgánico es una consecuencia no deseable de la acumulación de la materia orgánica (1).
3. Los decrementos de los valores de fósforo "disponible" Bray I con los años no parecen guardar una relación con las cantidades de fósforo extractadas por la pastura.

En el Cuadro 4, se muestra para tres situaciones (alto, medio y bajo nivel inicial de fósforo) la evolución anual de fósforo "disponible" y las cantidades de fósforo extractadas por la pastura en cada año para cada situación.

El suelo y sus mecanismos de equilibrio sería el principal agente de la evolución de los valores de fósforo "disponible" en el tiempo.

Cuadro 4 Variación de la disponibilidad y extracción del fósforo en distintas edades.

	ppm Bray	DIF	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	ppm Bray	DIF	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	ppm Bray	DIF	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
INSTALACION 1	15.40	6.7	2.6	10.8	4.2	21.8	5.67	1.4	16.7
2	8.68			6.6			4.3		
3	6.38	2.3	6.4	5.06	1.5	5.5	3.7	0.6	4.5
4	5.08			4.15			3.32		
		1.3	4.7		0.9	37.4		0.4	17.8

Si graficamos conjuntamente disponibilidad de fósforo y consumo de fósforo vs. tiempo, veremos que no existe armonía (Ver Figuras 6, 7 y 8)

El momento de máxima disponibilidad no es el momento de mayor consumo y a su vez cuando se produce el mayor consumo (2do año) no existe la mayor disponibilidad de fósforo

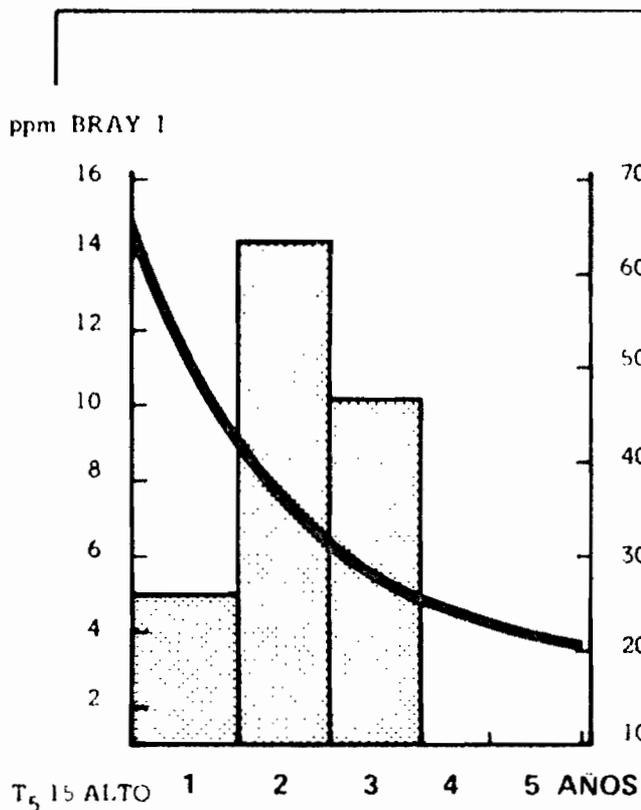


Figura 6 Disponibilidad y consumo de fósforo vs. tiempo

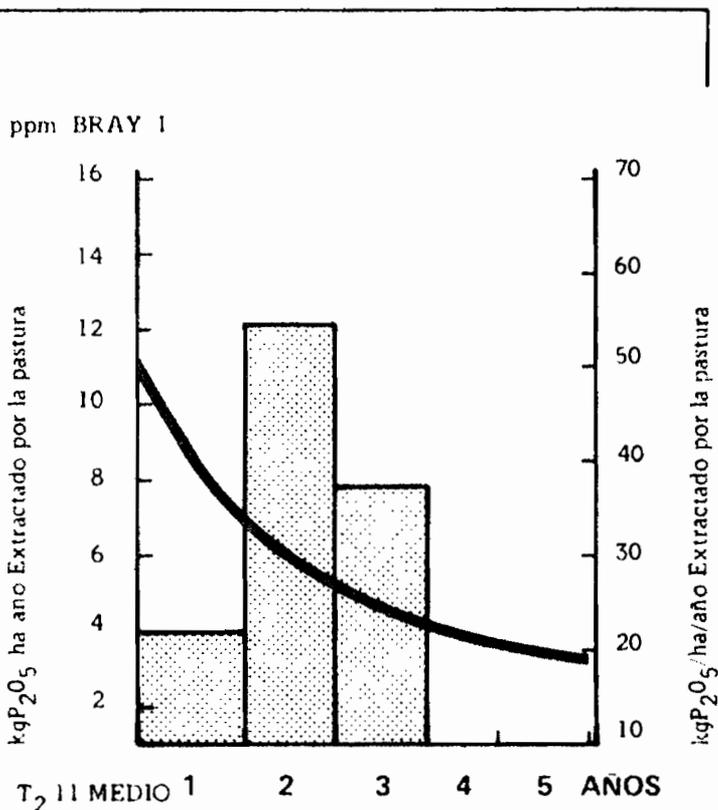


Figura 7 Disponibilidad y consumo de fósforo vs. tiempo.

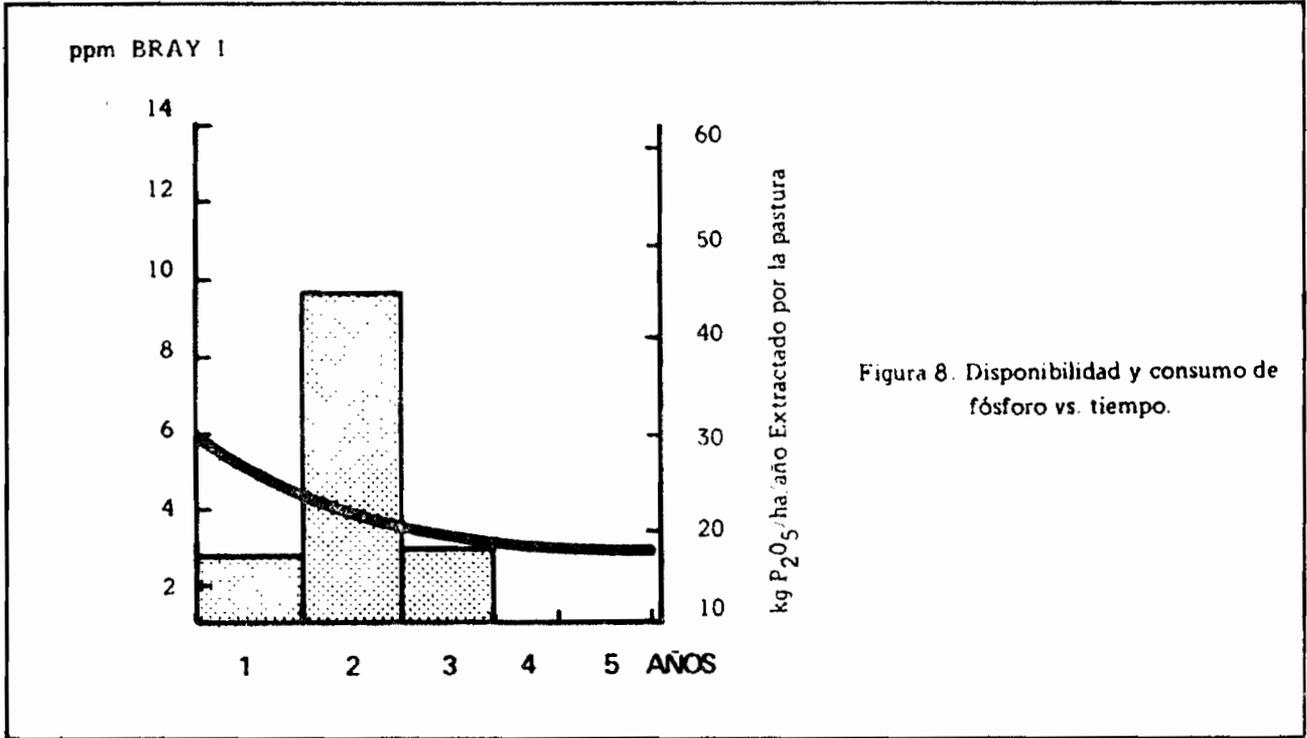


Figura 8. Disponibilidad y consumo de fósforo vs. tiempo.

**E. Relación P agregado - P disponible.**

Uno de los objetivos de este ensayo fue estudiar cómo podía afectar la aplicación consecutiva de fosfatos solubles la relación P agregado - P disponible

En el último año de la etapa agrícola (1974) se llegó con distintos niveles de P disponible debido a los tratamientos anteriores.

En la Figura 9, se muestra el efecto del agregado de 60 unidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha a distintos niveles de fósforo en el suelo (1974), midiendo el efecto sobre el P disponible al año siguiente (1975).

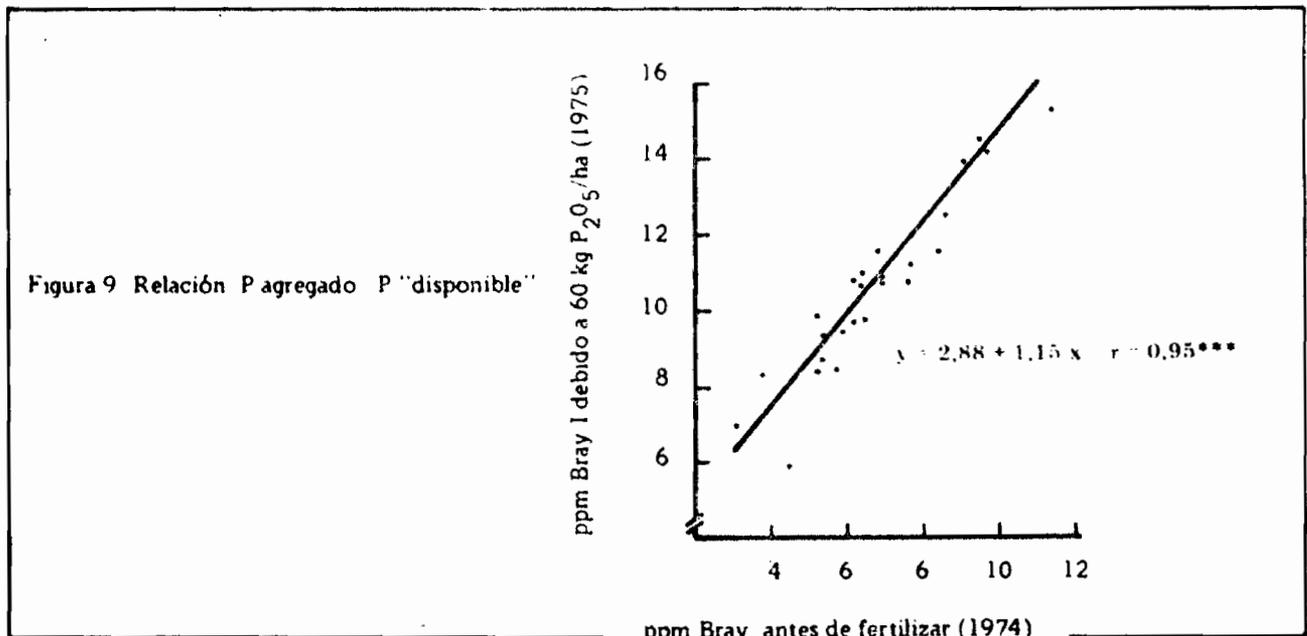


Figura 9 Relación P agregado - P "disponible"

La existencia de una estrecha relación lineal con coeficiente angular cercano a 1, nos permite considerar que el efecto de agregar 60 unidades de  $P_2O_5$  no cambiaría por el hecho de tener el suelo niveles de disponibilidad de fósforo variables.

Si en el rango estudiado existiera cierto efecto de saturación de la capacidad de inmovilizar fósforo en forma no disponible, sería de esperar una relación lineal con coeficiente angular bastante mayor a 1 ó también relación de tipo exponencial con aumentos crecientes.

Cabe destacar que para este tipo de suelo ya fue descrita anteriormente (6), relación lineal entre fósforo agregado - fósforo disponible.

### F. Modelo hidráulico.

Las relaciones expuestas anteriormente sobre la dinámica del fósforo en el suelo la comprenderemos mejor si la visualizamos a través del modelo hidráulico (Ver Figura 10)

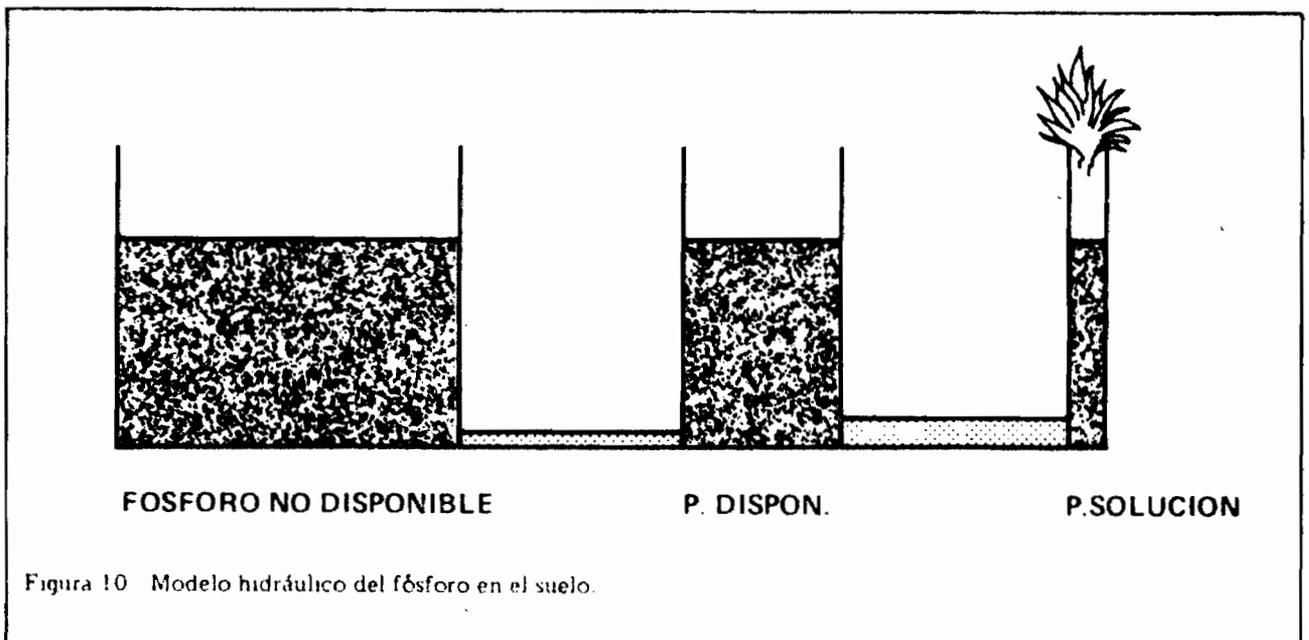


Figura 10 Modelo hidráulico del fósforo en el suelo.

Sintéticamente este modelo considera el fósforo en tres "fases"

#### 1. FOSFORO EN LA SOLUCION DEL SUELO

Se encuentra en forma inorgánica ( $H_2PO_4^-$   $HPO_4^{2-}$ ) y como tal es absorbido por las raíces de las plantas. La concentración de fósforo en la solución del suelo es muy baja, pudiendo ser agotado rápidamente por las plantas si no existiera reposición desde la fase sólida del suelo.

#### 2. FOSFORO "DISPONIBLE"

De todo el fósforo inorgánico que se encuentra en la fase sólida del suelo, existe una parte que tiene mayor reactividad y que es la "encargada" de reponerlo en la medida que disminuye su concentración en la solución del suelo. Esta fracción es estimada a través de los análisis de suelo (Bray - Resinas).

#### 3. FOSFORO "NO DISPONIBLE"

Es aquella fracción del fósforo inorgánico que presenta muy baja reactividad. Repone en forma lenta el fósforo "disponible" cuando éste disminuye respecto a su valor en equilibrio.

Estas tres "fases" se encuentran en equilibrio. El modelo hidráulico ejemplifica esta situación por vía de tener los tres "tanques" a la misma altura.

Cuando agregamos un fertilizante al suelo éste se disuelve rápidamente y aumenta en forma abrupta su concentración en la solución del suelo. El sistema en equilibrio se opone a este cambio por vía de desplazar la mayor parte de este fósforo hacia la fase sólida. Parte pasa hacia formas "disponibles" y parte hacia las "no disponibles". Cuanto pasa hacia uno u otro "tanque" está determinado en parte por la relación entre "tanques" y la velocidad de pasaje entre ellos.

Cuanto mayor sea el "no disponible" respecto al "disponible" (relación variable entre suelos) más costoso será el aumento del nivel del fósforo "disponible" en el suelo. En la inversa, cuando no se agrega fertilizante al suelo y se realizan cultivos y/o pasturas se usa parte del fósforo "disponible". El sistema se opone a este cambio por vía de una reposición lenta desde el "no disponible" hacia el "disponible".

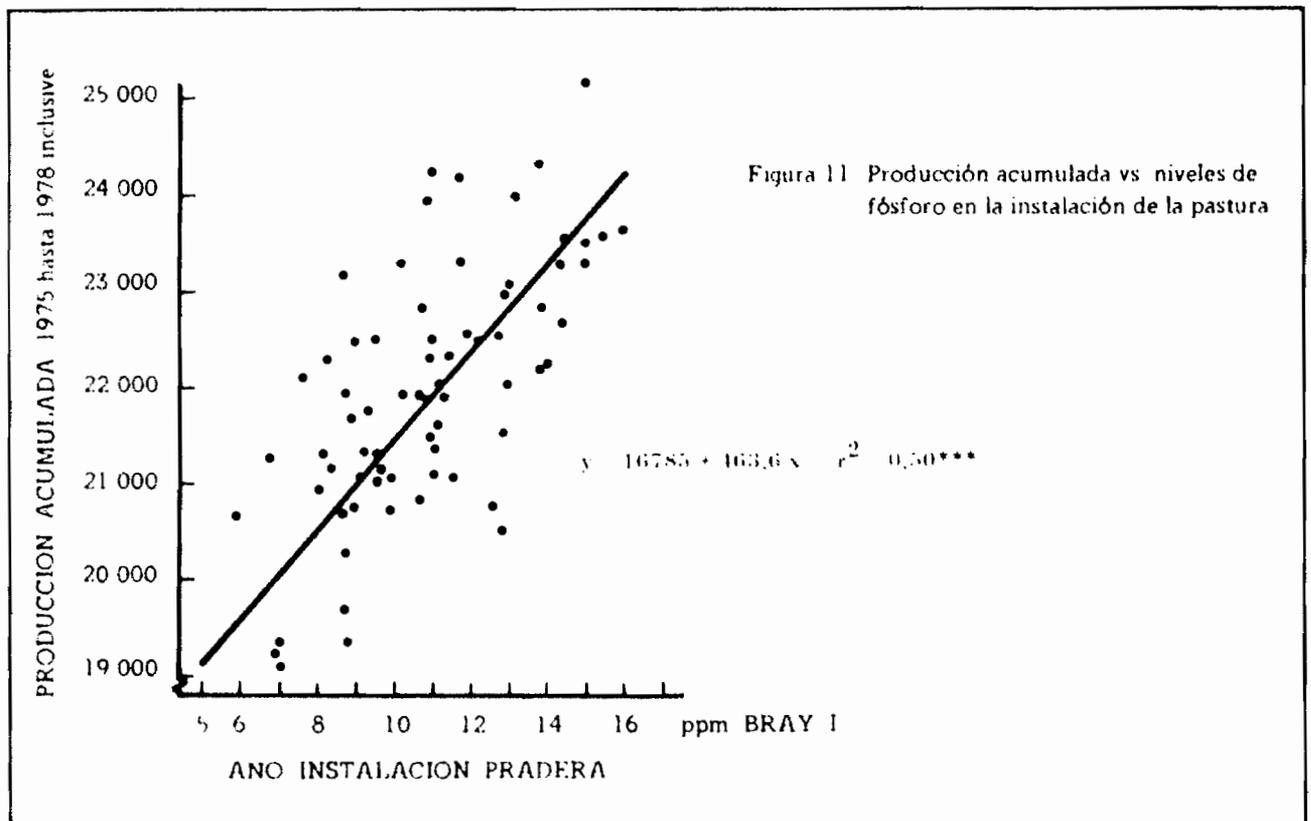
Por último cabe puntualizar que el modelo hidráulico como todo esquema simplifica la realidad, no obstante lo cual pensamos que es útil a los efectos de visualizar las relaciones más importantes.

#### IV. RENDIMIENTO DE LA PASTURA.

##### A. Rendimiento total acumulado.

Esta pastura se sembró en otoño de 1975 con niveles de fósforo muy distintos, debido a la residualidad de los tratamientos recibidos en la etapa agrícola.

La primera relación que se buscó fue la de los valores de fósforo "disponible" Bray I inicial (1975) con la producción total acumulada en los cuatro años de vida de la pradera (Ver Figura 11).



La variable nivel inicial de fósforo "disponible" Bray I fue importante en explicar la variación en producción total acumulada.

Un 50% de la variación en los rendimientos acumulados fue explicada por la variación en niveles de fósforo iniciales.

En otras palabras, la residualidad dejada por la etapa agrícola fue destacable.

En segundo término vemos que, por cada unidad de ppm Bray I mayor en el momento de la siembra significaba 464 kg de Materia Seca adicionales en la vida de la pradera. Esto se puede expresar de otra forma, dado que 11 kg  $P_2O_5$ /ha agregado equivalen a 1 ppm Bray I de incremento cada 50 kg de Superfosfato adicionales al comienzo tendríamos 464 kg por Materia Seca más en la vida de la pradera.

Cabe acotar que esta relación lineal fue encontrada dentro de un rango que no incluye valores de fósforo muy altos (máximo alcanzado 16 ppm) Probablemente si se hubiera trabajado con valores más altos esta relación dejaría de ser lineal para transformarse en una función asintótica o en una función cuadrática

## B. Rendimiento anual.

Es conocida la variación en producción anual que tiene una pradera convencional en su vida, dicho en otras palabras la poca estabilidad

El análisis realizado consistió en ver la tendencia de los rendimientos del de los 75 tratamientos (Ver Figura 12).

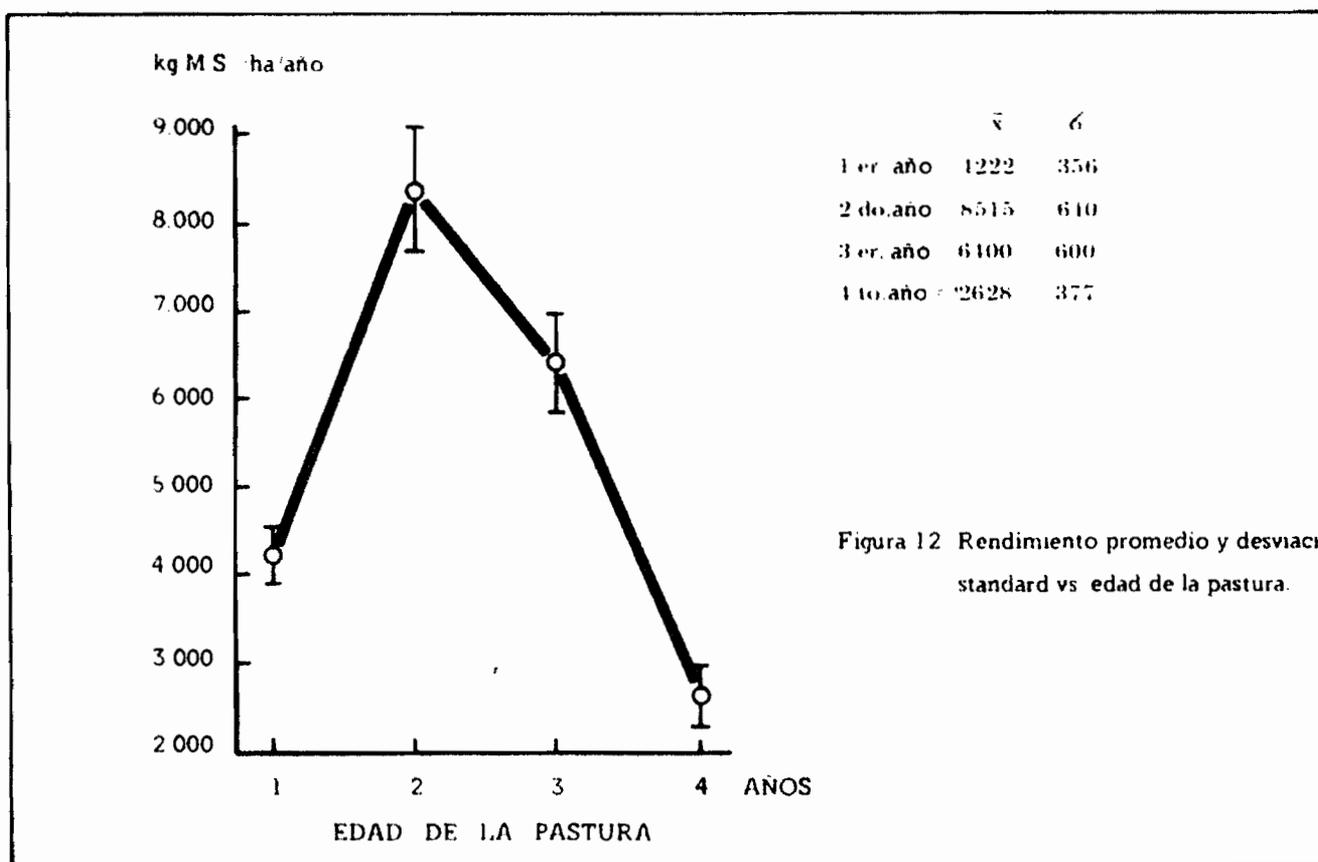


Figura 12 Rendimiento promedio y desviación standard vs edad de la pastura.

Existe un marcado pico de producción el segundo año ( 8.400 kg M.S./ha/año) seguido de un abrupto descenso el tercer y cuarto año. Esto se puede asimilar bien a las tendencias vistas en numerosos ensayos y praderas en producción, por lo tanto se descarta que la explicación esté en las variaciones climáticas entre años.

No interesa la diferencia entre el primer y segundo año, ya que la baja producción del primer año es lógica por el proceso de implantación en que se encuentra la pradera.

Sí es importante poder explicar las causas que determinan la evolución de la pradera desde el segundo año en adelante

Esta pradera fue instalada con la residualidad fosfatada de la etapa agrícola, y sus valores fueron en descenso con el tiempo

Entonces, la pregunta que surge es: ¿cuál es la relación entre los descensos de producción y los descensos de los niveles de fósforo?

La no existencia de un amplio rango de variación en los niveles de fósforo "disponible" en los distintos años, por no existir refertilizaciones, impide la realización de este tipo de análisis.

Lo que sí se puede decir a nivel de observación, es que las tendencias de caída de los rendimientos de la pastura son más abruptas que las curvas de descenso del fósforo. Esto supondría la existencia de otras causas independientes del factor fósforo.

### C. Rendimiento estacional.

Es conocida la variación estacional de la producción de las pasturas y su marcado déficit invernal. Trataremos de analizar aquí el efecto del fósforo en la variación estacional (Ver Cuadro 5).

Cuadro 5. Tasas diarias de crecimiento: kilogramos de Materia Seca por hectárea por día.

CORTE	DIAS	ESTACION	BAJO FOSFORO INICIAL	ALTO FOSFORO INICIAL	o.o DIFERENCIA
2	131	OT. INVIERNO	12.4	18.70	+ 51
3	71	PRIMAVERA	45.12	43.15	- 4
4	162	VERANO	19.06	20.03	+ 5
5	144	OT. INVIERNO	5.3	11.17	+110
6	64	PRIMAVERA	41.57	54.62	+ 31
7	117	VERANO	22.4	26.76	+ 19
8	201	OT. INVIERNO	4.4	8.17	+ 86
9	70	PRIMAVERA	19.3	24.42	+ 27

En términos generales los cortes coinciden con determinadas estaciones. Con la producción por corte y la cantidad de días transcurridos entre cortes se estimó la tasa diaria de crecimiento en kg M.S./ha/día.

Se tomaron dos tratamientos contrastantes: con alto y bajo nivel inicial de fósforo (sin refertilizar).

Dentro de cada uno de los tratamientos se nota una variación importante entre estaciones en las tasas de crecimiento.

En general, el tratamiento de mayor fósforo inicial mostró mayores tasas, pero importa destacar que los mayores incrementos porcentuales en las tasas se dan sistemáticamente en otoño-invierno, variando desde un 50 o/o hasta un 110 o/o de incremento.

Este fenómeno tiene su explicación:

- El suministro de fósforo tiene mayor importancia al principio del ciclo vegetativo que al final. Si inicialmente las plantas tienen un suministro adecuado de fósforo, la producción del fósforo total absorbido es más que proporcional a la Materia Seca producida (1).
- Las observaciones de campo indican que las deficiencias de fósforo son más pronunciadas a bajas temperaturas, y por lo tanto el efecto de la fertilización más notorio (1).

Estos resultados ratifican la recomendación general de fertilización en otoño de las praderas con especies inverna-

les

## V. COMPOSICION BOTANICA.

Ya se analizó la influencia del fósforo sobre la pastura desde un punto de vista cuantitativo. Se intentará estudiar este fenómeno "desde adentro", o sea, mirando el comportamiento del conjunto y de cada especie que lo integra. Lamentablemente no se cuenta con esta información para toda la vida de la pradera.

Se estudiará el séptimo, octavo y noveno corte, que corresponden al último período de vida de la pradera. Nos encontramos en el trecho final de la curva de degradación de la pastura.

Dentro de cada corte se analizó del total de Materia Seca producida cuál era la contribución cuantitativa de cada especie

7mo Corte Este fue desde el 10/XI/77 al 7 III-78 se puede asimilar el verano del 3er año de la pastura. La lluvia acumulada en el período fue de 620 mm

Se tomó como variable independiente el nivel inicial de fósforo al instalar la pastura (1975), y como variables dependientes la producción de cada especie (las malezas se analizan como una especie más) y la del total (Ver Figura 13).

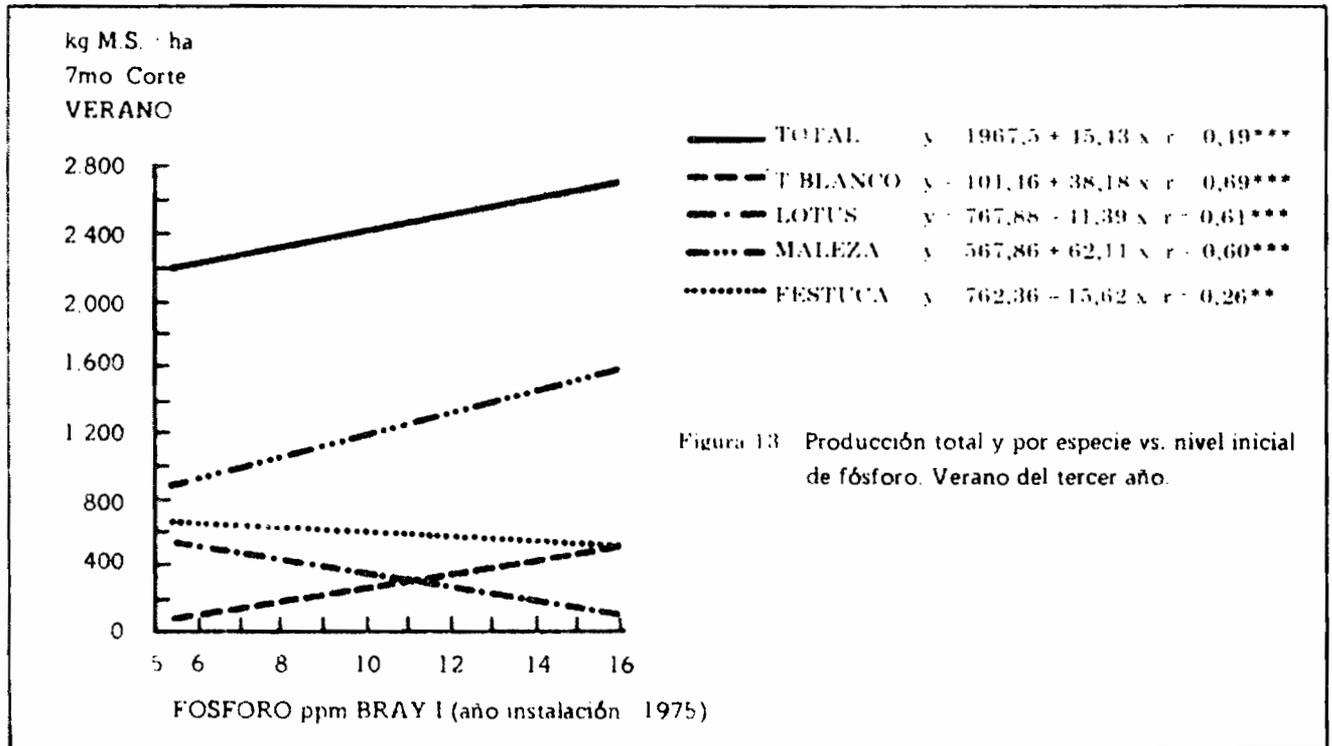


Figura 13 Producción total y por especie vs. nivel inicial de fósforo. Verano del tercer año.

En primer término, cada una de las especies así como la producción total muestran asociaciones significativas con el valor de fósforo inicial (1975). Esto demuestra que existe un efecto residual de la fertilización con fósforo.

El trébol blanco es la especie que muestra la asociación más alta y positiva con el fósforo ( $r = 0,69^{***}$ ).

La maleza (principalmente Cynodon) también muestra una asociación alta y positiva con el fósforo. Es importante tanto en términos absolutos como relativos la alta producción de la maleza. Independientemente del factor fertilidad el verano se muestra como una estación muy apta en el desarrollo de las malezas.

La respuesta positiva de las malezas a fertilidad se podría explicar por

- Respuesta directa positiva al fósforo
- Respuesta indirecta al fósforo  $+ P \longrightarrow + T \text{ blanco} \longrightarrow + N \longrightarrow + \text{Maleza}$
- Combinación de los dos efectos

En las respuestas negativas tenemos a la festuca y al Lotus. La Festuca tiene una asociación débilmente negativa, pudiendo considerarse más o menos estable.

El Lotus tiene una alta asociación pero sorprendentemente negativa. Es sabido que el Lotus individualmente sembrado tiene respuesta positiva al fósforo. La explicación se encuentra en considerarlo en una mezcla de distintas especies en competencia.

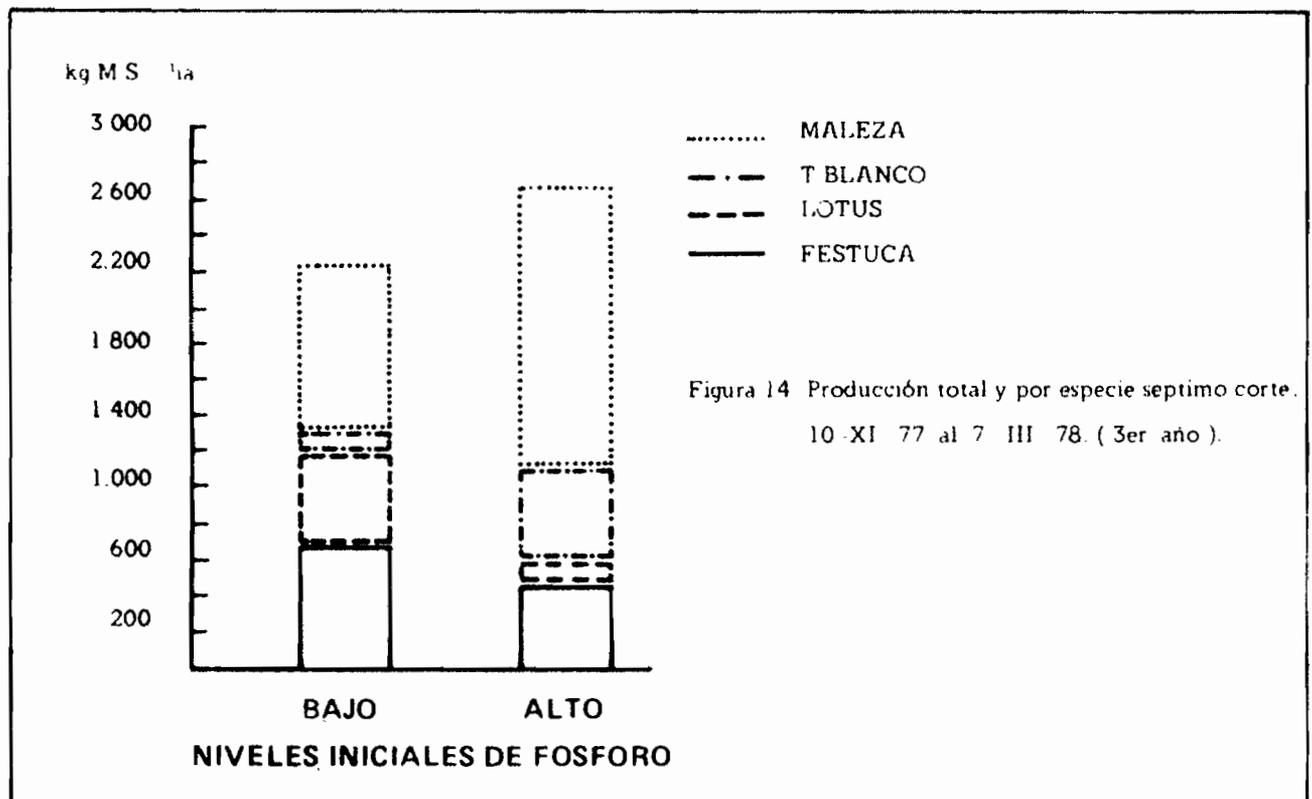
La variación en la composición botánica debido a los distintos niveles de fósforo, no es en general consecuencia de la competencia directa por fósforo.

Dado que el fósforo tiene muy poca movilidad en el suelo, las raíces absorben el fósforo de la solución del suelo suministrado por la fase sólida que está bien cerca de ellas. Por lo tanto, las raíces deben estar muy cerca para que exista competencia directa por fósforo (1).

Al fertilizar se favorece a las especies más exigentes en fósforo, que logran un mayor desarrollo comparativo respecto a las otras especies no tan exigentes, pasando entonces a competir por otros factores de crecimiento.

La respuesta negativa del Lotus sería de carácter indirecto: al aumentar el fósforo el Trébol blanco y/o la maleza hacen un mejor uso de éste, logran mayor desarrollo y deprimen al Lotus al competir por otros factores. Estas mismas tendencias ya han sido reportadas en nuestro país por otros autores (2).

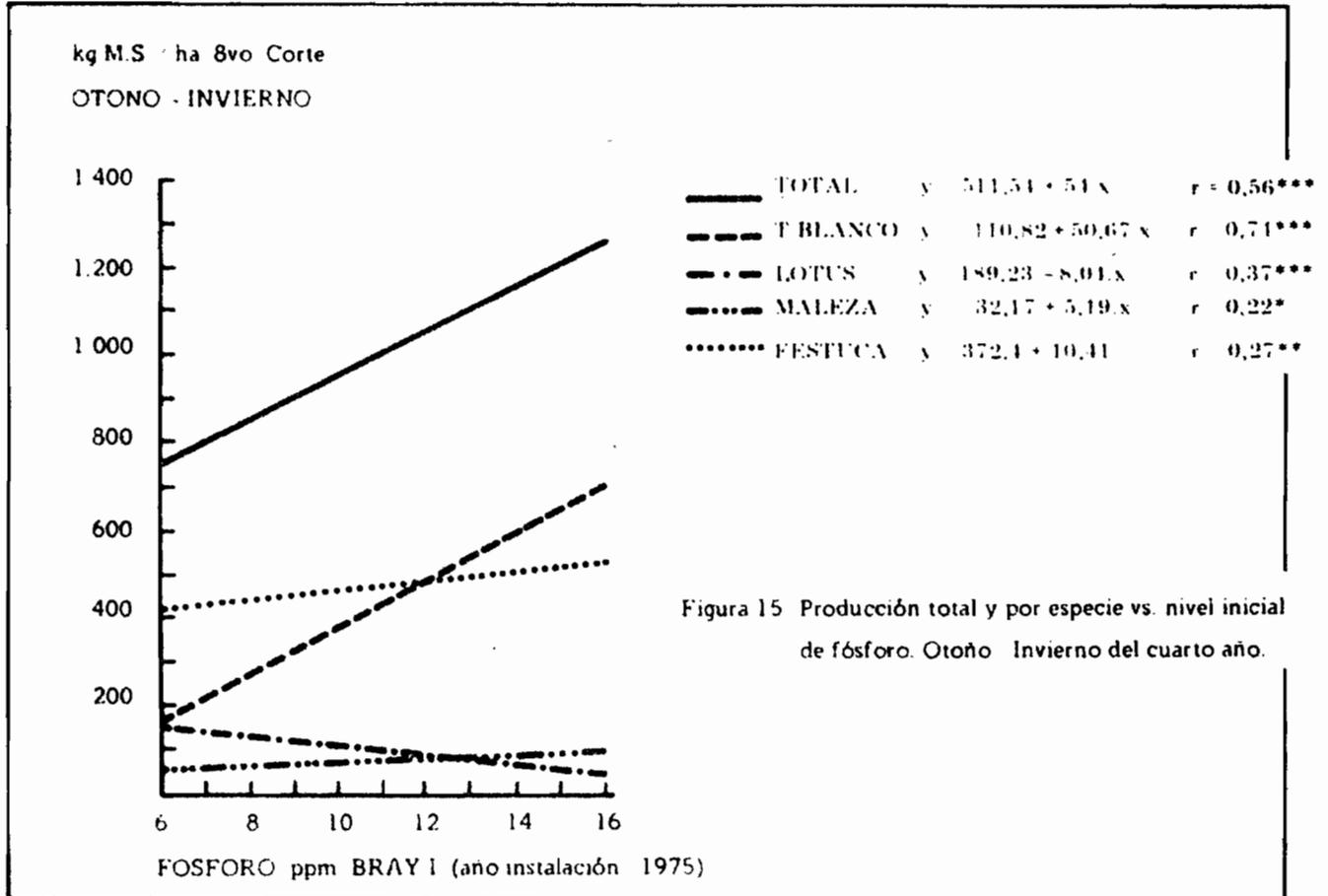
Sintetizamos este corte en dos situaciones contrastantes (Ver Figura 14).



La maleza es importante a baja fertilidad y aumenta al aumentar el fósforo, en forma tal que sola supera a la suma de las especies sembradas.

Las especies sembradas tomadas como conjunto disminuyen su producción, debido a la competencia de las malezas al aumentar el fósforo. Es pobre la competitividad de las especies sembradas frente a las malezas.

8vo Corte. Comprende desde el 7 III al 28 IX '78 lo asimilamos al otoño-invierno del cuarto año de la pastura. Lluvia acumulada 535 mm. Se realizó el mismo análisis. P al momento de instalación como variable independiente vs. producción total y por especie (Ver Figura 15).



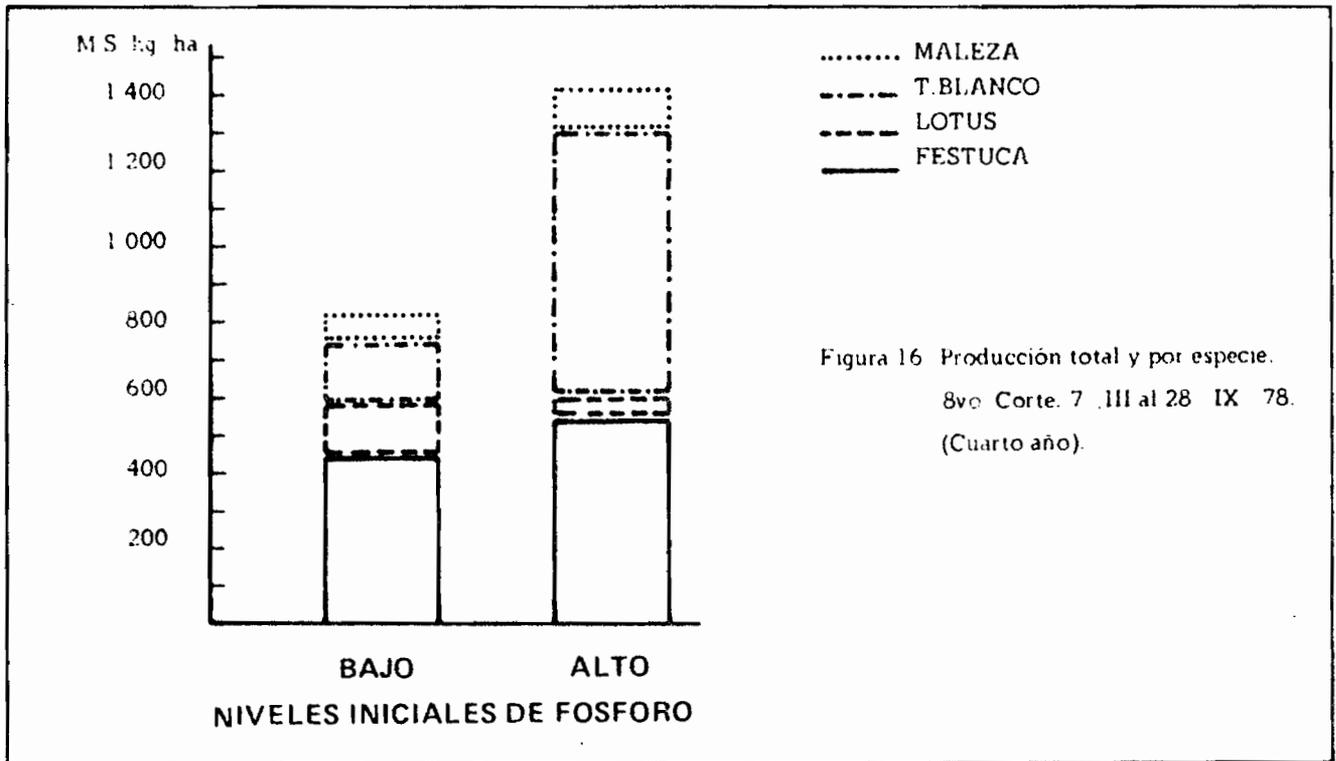
En primer término se ve que la producción total está asociada positiva y muy significativamente a la variable fósforo. Existe efecto residual del fósforo.

Si desglosamos la producción total vemos que el Trébol blanco es la especie más asociada a la variable fósforo ( $r = 0,74^{***}$ ) en forma positiva, a tal punto que es su contribución la que determina la tendencia de la producción total.

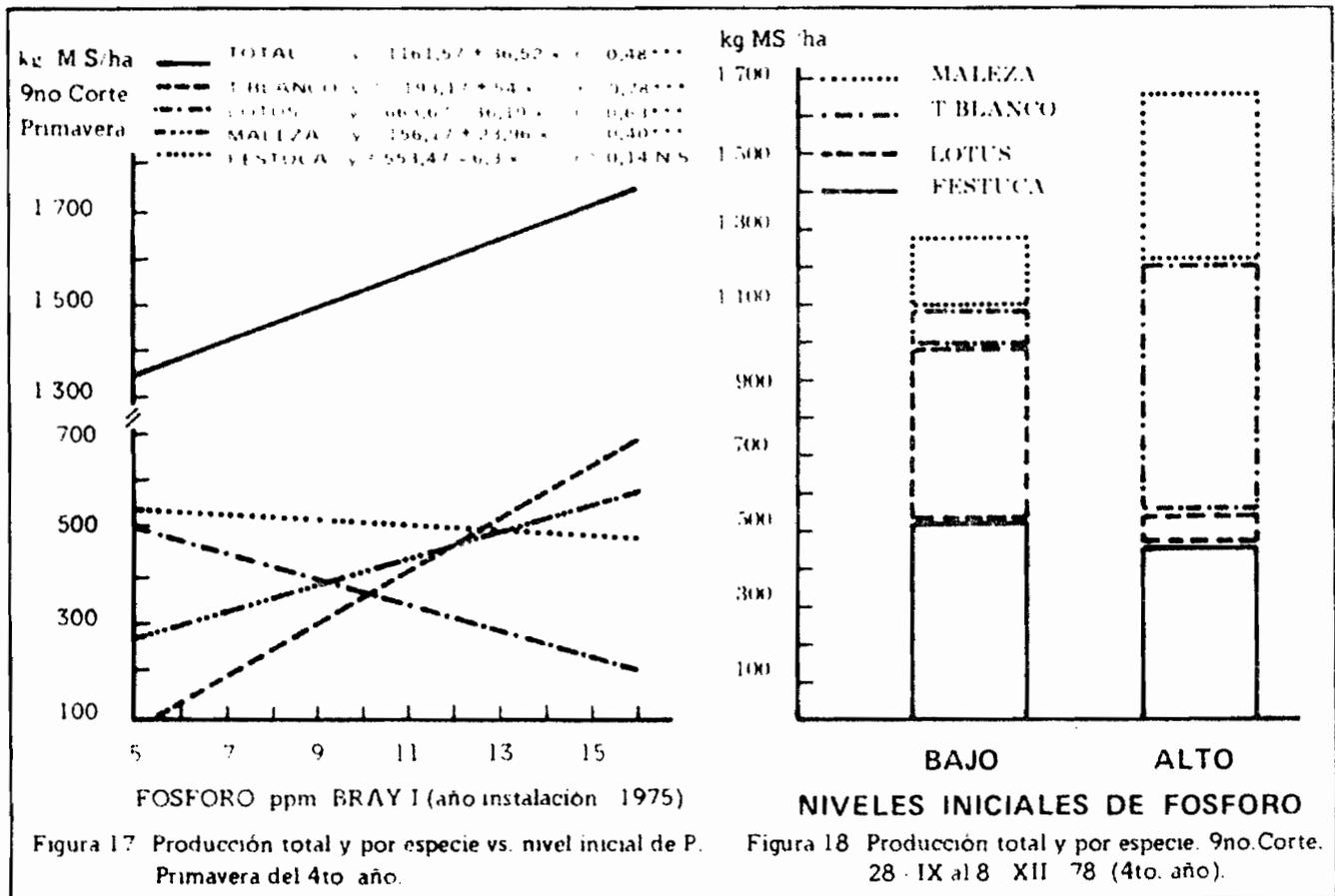
La Festuca al igual que en el corte anterior la podemos considerar más o menos estable.

Importa destacar en comparación con el corte anterior la abrupta pérdida de importancia de las malezas, tanto a bajas como a altas fertilidades iniciales de fósforo. Esto se debe a que las malezas, principalmente Cynodon, son de ciclo estival, expresando su potencial en esta estación.

Sintetizamos este corte en un histograma con dos situaciones contrastantes (Ver Figura 16).



9no Corte Comprende desde el 28/IX al 8 XII/78 corresponde a la cuarta y última primavera. Lluvia acumulada 372 mm (Ver Figuras 17 y 18).



La producción total tiene una asociación positiva y significativa con fósforo, siendo la contribución más importante a esta tendencia la dada por el Trébol blanco y la maleza. La maleza entra a cobrar una importancia mayor con respecto al corte anterior.

El Lotus muestra una asociación fuerte y negativa ya vista en el séptimo corte, que se puede explicar en forma similar.

## VI. CONCLUSIONES GENERALES.

1. A partir del momento que se deja de fertilizar, los valores de fósforo "disponible" alcanzados disminuyen a medida que transcurre el tiempo.  
Las pérdidas de fertilidad son decrecientes, o sea, mayores al principio.  
Mayores son las pérdidas cuanto mayor sea el valor alcanzado.
2. El fósforo "disponible" nativo tiene estabilidad en el tiempo. El sistema se opone a cambios en los niveles naturales de fósforo "disponible" por vía de una reposición lenta desde el "no disponible" hacia el "disponible".
3. Los requerimientos de fósforo de la pastura medidos como consumo ( $\text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ ) son máximos el segundo año y luego decrece.
4. El suelo y sus mecanismos de equilibrio sería el principal agente causal de los descensos de los valores de fósforo "disponible" alcanzado por fertilización.
5. La eficiencia de cada unidad de fósforo agregado en aumentar la disponibilidad en el suelo es aproximadamente constante e independiente del nivel en que se encuentre.
6. La producción total acumulada se explica en un 50 o 0 por la variación del nivel de fósforo en la instalación.
7. La producción anual es variable: máxima el segundo año y luego decae.
8. En la variación estacional el fósforo resulta tener mayor importancia relativa en otoño-invierno.
9. A nivel de especies son las leguminosas las que muestran sistemáticamente los niveles de asociación más altos con la variable fósforo. En primer término el Trébol blanco por asociación positiva por efecto directo. En segundo lugar el Lotus con una asociación negativa por efecto indirecto de competencia.  
La maleza tiene respuesta positiva al fósforo, siendo especialmente importante en verano.

## VII. BIBLIOGRAFIA.

1. BLACK, C. A. Relaciones suelo planta. Editorial Hemisferio Sur, 1975.
2. CASTRO, E., GONZALEZ, I., GUTIERREZ, A., MENDOZA, N. y MORALES, R. Proyecto Regional de la Zona de Basalto. La Estanzuela, Pasturas II, 1973.
3. CASTRO, J. L., ZAMUZ, E. M. de y BARBOZA, S. Fertilización de Pasturas en el Litoral Oeste. CIAAB, La Estanzuela (En Prensa) 1977.
4. CASTRO, J. L., ZAMUZ, E. M. de y OUDRI, N. Guía para la Fertilización de Pasturas. Revista A.I.A. Segunda Época No. 11, 1978.
5. COMITE ECONOMICO CONJUNTO (C.E.C.) DE LA ASOCIACION RURAL DEL URUGUAY Y FEDERACION RURAL. Rentabilidad de la producción pecuaria durante el Ejercicio 1980. Revista de la Federación Rural, Marzo 1981.
6. LA ESTANZUELA, CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS "ALBERTO BOERGER". Fertilización de Pasturas. Boletín de Divulgación No. 5, 1971.

# **EL FOSFORO EN RELACION CON LA PERSISTENCIA Y PRODUCTIVIDAD EN PASTURAS CONVENCIONALES.**

FERNANDO H. SANTIÑAQUE

## **INTRODUCCION**

La escasa persistencia productiva de las pasturas sembradas en nuestro país ha cuestionado la viabilidad económica de esta técnica. Numerosas hipótesis se han manejado para explicar este proceso pero quizás ninguna tenga la relevancia económica de la fertilización fosfatada, ya sea por su alta participación en los costos de instalación y durante la vida de la pastura, como por su efecto directo en la producción. Parece prioritario contestar las interrogantes acerca del rol de la disponibilidad de fósforo en la baja persistencia, así como su capacidad de revertir este proceso y en última instancia, definir las mejores estrategias de fertilización para este tipo de mejoramientos.

Diversos autores en nuestro país han cuantificado la importancia del deterioro productivo de las pasturas convencionales (Cuadro 1) (7).

Carámbula, R.M. et al. (3) señalan que las pasturas mejoradas en el Uruguay generalmente declinan su producción luego del segundo año, aumentando a la vez la aleatoriedad y variabilidad de los rendimientos.

Cuadro 1: Producción y dotación de praderas de distintas edades. 1976/77 y 1977/78. Expresado en porcentaje.

	-----EDAD de la PRADERA en años-----			
	1	2	3	4 y más
Producción / hectárea	89	100	66	47
Dotación / hectárea	86	100	71	51

Fuente: Graña, A. 1976.

Los factores que limitan la productividad en pasturas convencionales que envejecen han sido reportados en varios lugares del mundo. La tendencia de las pasturas convencionales a degradarse ha sido descrita y analizada por varios autores en U.S.A. (1),(8); Inglaterra (6); Francia (9); Alemania (Klapp, 1954, cit. por Voisin, A., 1974); y Australia (Donald, C.M., 1946, cit. por Ahlgren, H.L., 1952).

Llama la atención la coincidencia de algunos resultados de estos trabajos con los obtenidos en nuestras condiciones (Cuadro 2).

Cuadro 2: Rendimiento relativo de pasturas sembradas de diferentes edades. Expresado en porcentaje del rendimiento obtenido en el segundo año (los datos representan promedios de numerosos experimentos).

AÑO de la PASTURA	RENDIMIENTO RELATIVO
2	100,0
3	73,0
4	68,4
5	58,6
6	44,3

Fuente: Adaptado de Klapp, 1954 cit. por Voisin, 1974.

Según Ahlgren, H.L., (1) las razones por las cuales existe la tendencia a disminuir los rendimientos con la edad no están totalmente estudiadas.

Las siguientes causas han sido citadas por varios investigadores como posibles factores contribuyentes:

1. Gradual eliminación de las especies más productivas y su reemplazo por especies menos productivas.
2. Deficiencia de oxígeno en el suelo.
3. Exceso de CO<sub>2</sub> en el suelo.
4. Secreciones tóxicas.
5. Deficiencia de nitrógeno; según Black, C.A. (2) esto ocurre cuando la pastura se ha afirmado y queda eliminado el efecto del laboreo en el aumento de la susceptibilidad del nitrógeno del suelo a la mineralización.
6. Escasa disponibilidad de fósforo y Ph desfavorable.
7. Aumento de la compactación cerca de la superficie.
8. Acumulación de materia orgánica sin descomponer o parcialmente descompuesta.
9. Variación de las condiciones físicas del suelo a lo largo de la vida de la pastura.
10. No adecuar la defoliación (pastoreos) a las características morfológicas y fisiológicas de las especies que integran la pastura.

Según Davies, W (6) habría una evolución de las pasturas sembradas convencionales, que determina que adquieran las características de la vegetación natural de acuerdo con el suelo y el clima de cada región. La vegetación natural, ya sea de pradera o bosque, tiene tendencia a regenerarse una vez que el laboreo la destruyó.

Dicho proceso o transformación es generalmente acompañado de una reducción del rendimiento y calidad del forraje, y los estudios realizados en áreas de pasturas muestran que la producción no puede ser mantenida a altos niveles por tiempo indefinido sin arar y volver a sembrar la pastura (1).

Davies, W. (6) señala que la vegetación natural se desarrolla con la influencia combinada de factores edáficos y climáticos, pero cuando se introducen factores "bióticos" (acción del pastoreo, laboreo, fertilización, etc.) los tipos de vegetación generalmente no retienen su estructura.

En este sentido, dicho autor plantea que con suficientes conocimientos de los factores involucrados, el hombre puede cambiar el tipo de vegetación y estabilizar la comunidad vegetal próxima a un tipo deseado.

De lo expuesto, surge la importancia de conocer la relación entre aquellos factores que afectan el comportamiento y productividad de las pasturas (defoliación, especies y variedades, métodos de implantación, fertilización, etc.) y la degradación de las mismas.

El nivel de fósforo disponible en el suelo durante la vida de la pradera es uno de los factores involucrados, y es controlable a través de la fertilización.

A los efectos de poder estudiar el papel de la fertilización con fósforo en la degradación de las pasturas convencionales, fue de interés analizar datos de producción de pasturas en los cuales estuviera cuantificado el nivel de fósforo disponible para diferentes situaciones de fertilización durante la vida de la pradera.

Para lograr este objetivo, se recurrió a reanalizar experimentos de fertilización de pasturas convencionales, que incluyeran diferentes dosis iniciales de fósforo y refertilizaciones, de tal forma que se obtuviera para cada edad de la pastura un rango amplio de valores de fósforo disponible y los rendimientos de forraje correspondientes a esos niveles.

Estos experimentos forman parte de un trabajo de fertilización de pasturas en seis suelos del Litoral Oeste de Uruguay (4). En el mismo se han presentado las principales determinaciones en las cuales se basa el actual esquema de recomendaciones que se plantea en la Guía de Fertilización de Pasturas (5).

En este trabajo se presentan resultados de fertilización con fósforo de una mezcla forrajera integrada por: Festuca, Trébol blanco y Trébol subterráneo. Se estudian, entre otros aspectos, la respuesta de la mezcla a diferentes dosis iniciales, con y sin refertilización, en diferentes suelos.

Se considera el efecto de los tratamientos de fertilización en la producción anual de la pastura desde el segundo año al quinto año de la misma.

Los tratamientos incluyen seis niveles iniciales de fósforo que van de 40 kg/ha hasta los 240 kg/ha de  $P_2O_5$ .

A su vez, cada uno de estos niveles iniciales se consideró con y sin refertilización anual con 40 kg/ha de  $P_2O_5$ .

## II. ANALISIS ORIGINAL.

Se presentarán, en primer lugar, los resultados y conclusiones que surgen del experimento tal como fue analizado por sus autores, considerando uno de los seis suelos estudiados (Brunosol Subéutrico Lúvico sobre Basamento Cristalino).

En la Figura 1, se presentan las curvas de respuesta a tres niveles iniciales de fósforo con superfosfato, en las diferentes edades de la pastura, con y sin refertilización.

Los datos se refieren a rendimientos en materia seca, expresados en porcentaje del rendimiento máximo de cada edad.

En el segundo año de vida de la pradera los rendimientos que alcanzan el 90 o/o del máximo se obtienen con dosis de aproximadamente 120 kg/ha de  $P_2O_5$  (600 kg de Super aproximadamente).

Se observa poca respuesta a la refertilización en esta edad, excepto en los niveles bajos de fertilización inicial.

En edades sucesivas aumenta progresivamente la respuesta a la refertilización y tiende a desaparecer el efecto de la dosis inicial en los tratamientos refertilizados.

De acuerdo con lo expresado, con aplicaciones iniciales de 120 kg/ha de  $P_2O_5$  y refertilizando anualmente, sería posible mantener la producción de la pastura en un 90 o/o del máximo rendimiento alcanzado en cada edad.

Esto representaría 280 kg de  $P_2O_5$  en toda la vida de la pradera.

Disponibilidad de fósforo en el suelo y producción de forraje.

Los diferentes tratamientos determinan diferentes niveles de fósforo disponible que habrá en cada edad de la pastura. Estos niveles se midieron anualmente antes de cada refertilización.

Con el objetivo de relacionar el nivel de fósforo disponible con la producción de la pastura se estableció en primer lugar la relación entre los tratamientos de fertilización y la disponibilidad de fósforo en el suelo. Así es posible saber el nivel de fósforo del suelo en cada edad de la pastura. Esto se logra conociendo la relación P agregado - P disponible (E.F.) y P disponible - años desde su aplicación (T.D.).

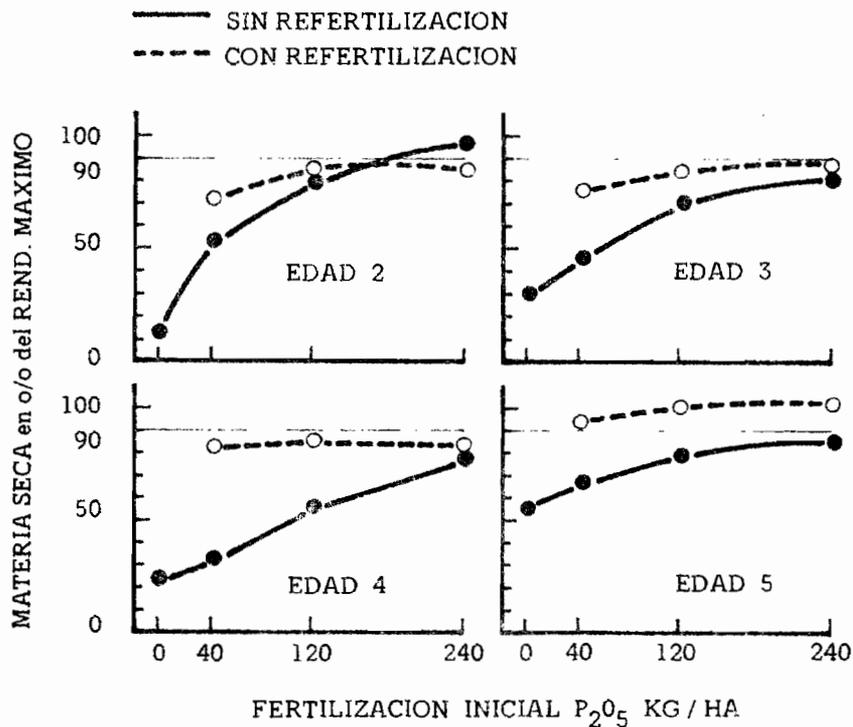


Figura 1: Respuesta a las dosis iniciales y refertilizaciones para los distintos años. Rendimientos en materia seca promedio de distintos años de implantación expresados como porcentaje del rendimiento máximo.

SUELO I. PRADERA PARDA SOBRE CRISTALINO (BRUNOSOL SUBEUTRICO LUVICO)

(Adaptado de CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M. de y BARBOZA, S. 1976).

Con estos datos es posible establecer el nivel de fósforo disponible que permita alcanzar y mantener la producción de la pastura en el 90 o/o del máximo rendimiento alcanzado en cada edad.

Este nivel se lo definió como "Máximo" y para el suelo que se está considerando es 30 ppm (Resinas), o sea, que manteniendo este nivel en el suelo es posible obtener un 90 o/o del rendimiento máximo expresado en materia seca.

Por otra parte, de los datos de composición botánica se dedujo que nivel de fósforo disponible que permitió una buena implantación y sobrevivencia de las leguminosas fue bastante menor que el nivel máximo. A este valor se lo define como nivel "Mínimo" y para este suelo fue de 15 ppm (Resinas).

El nivel mínimo y máximo delimitan un rango de valores de fósforo disponible dentro del cual es posible manejar la pastura sin riesgo de perderla, pero teniendo presente que cuanto más se aparte la disponibilidad de fósforo del nivel máximo, también se aparta el rendimiento del 90 o/o de la máxima producción alcanzada en cada edad.

Es evidente que la determinación del nivel máximo para los diferentes suelos, es muy importante porque condiciona la cantidad de fertilizante necesario para alcanzarlo y mantenerlo.

El análisis expuesto determina el nivel máximo considerando rendimientos porcentuales o relativos a la máxima producción de M.S. alcanzada en cada edad de la pastura.

### III. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE RENDIMIENTO ABSOLUTO (kg M.S./ha).

Consistió en considerar el efecto de los mismos seis tratamientos de fertilización (40, 120, 240 kg/ha de  $P_2O_5$  iniciales con y sin refertilización con 40 kg/ha de  $P_2O_5$ ) en la producción anual de la pastura expresada en valor absoluto (kg M.S./ha).

Esto se hizo a partir de las ecuaciones de respuesta.

Así se obtuvo para cada tratamiento una curva de producción anual (Figura 2) desde el segundo año al quinto año de vida de la pastura.

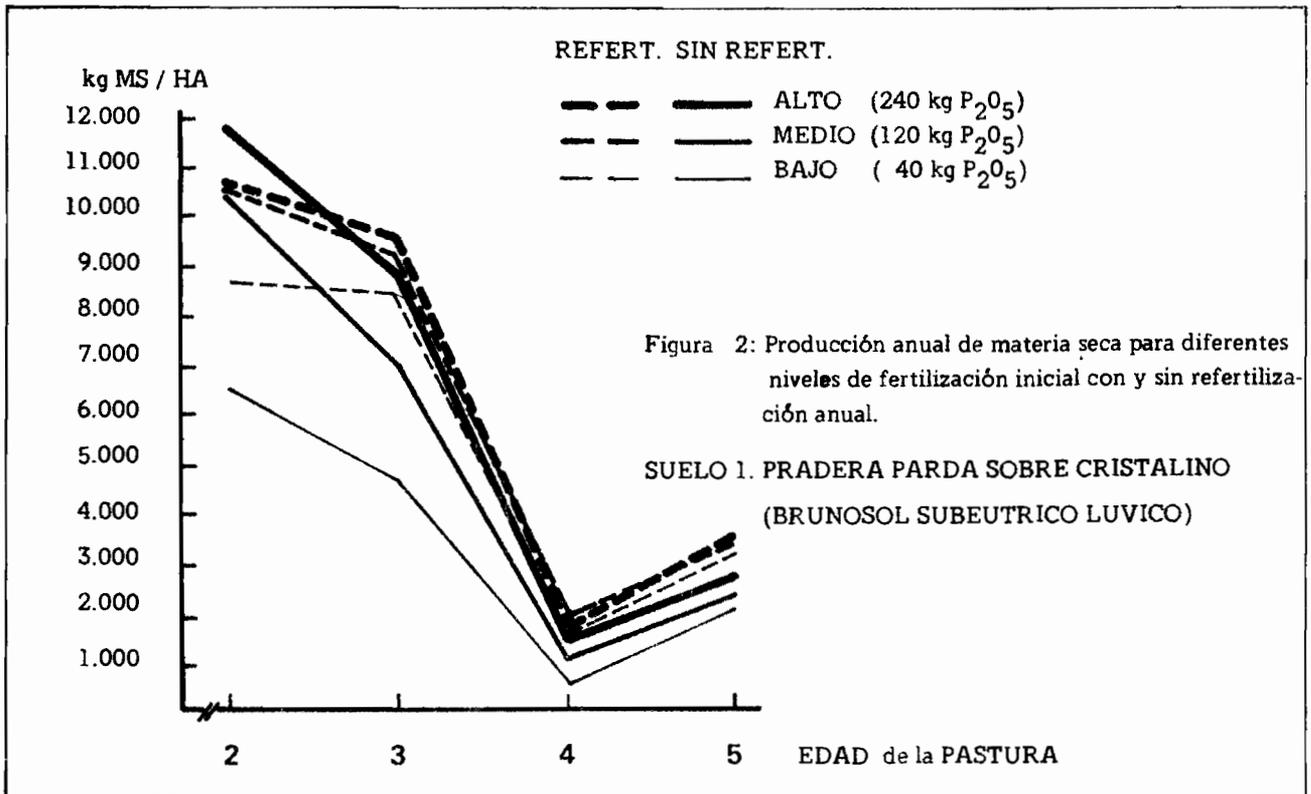


Figura 2: Producción anual de materia seca para diferentes niveles de fertilización inicial con y sin refertilización anual.

SUELO 1. PRADERA PARDA SOBRE CRISTALINO  
(BRUNOSOL SUBEUTRICO LUVICO)

Las líneas enteras representan los tres tratamientos que no fueron refertilizados y las líneas punteadas aquellos que fueron refertilizados todos los años.

Las principales conclusiones que surgen de estos resultados se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Todos los tratamientos presentan la misma tendencia en cuanto a disminuir la producción a partir del segundo año, aún aquellos que incluyeron los más altos niveles de fertilización, como 240 kg/ha de  $P_2O_5$  y refertilizaciones anuales, lo que equivaldría a utilizar aproximadamente 2.000 kg de Superfosfato en toda la vida de la pradera.
- Al cuarto o quinto año la producción de la pastura en promedio es similar a la de una pastura natural fertilizada sobre el mismo suelo.
- Si bien hay tratamientos que producen más que otros en las distintas edades, no se evita la disminución en la producción alcanzada en los primeros años de la pastura.
- La variabilidad en la producción anual entre los tratamientos disminuye cuando la pastura envejece. En este sentido se observa que las mayores diferencias en producción en el cuarto y quinto año son del orden de los 1.000 kg de M.S. frente a diferencias de aproximadamente 5.000 kg/ha en el segundo y tercer año.

- A medida que la pastura envejece los tratamientos refertilizados (líneas punteadas) producen más que los que no fueron refertilizados, aunque la diferencia en rendimiento es pequeña.

#### a. Disponibilidad de fósforo en el suelo.

Se estimó la evolución del fósforo disponible correspondiente a cada uno de los seis tratamientos de fertilización. Se obtuvieron seis valores de fósforo disponible para cada edad de la pastura, correspondientes a cada tratamiento.

En los tratamientos que no recibieron refertilizaciones, los niveles de fósforo disponible en los distintos años es atribuible al efecto residual del fósforo agregado en la fertilización inicial. Por lo tanto los valores van disminuyendo con el tiempo desde la aplicación.

En aquellos tratamientos que recibieron refertilizaciones, el nivel de fósforo disponible en los diferentes años proviene del fósforo residual y del agregado en cada refertilización.

De esta forma, los diferentes tratamientos se expresan como niveles de fósforo disponible en cada edad de la pastura.

#### b. Funciones de respuesta en cada edad de la pastura.

Relacionando los niveles de fósforo disponible con la producción anual de materia seca correspondiente a cada tratamiento, se obtuvieron curvas de respuesta para cada edad de la pastura (Figura 3).

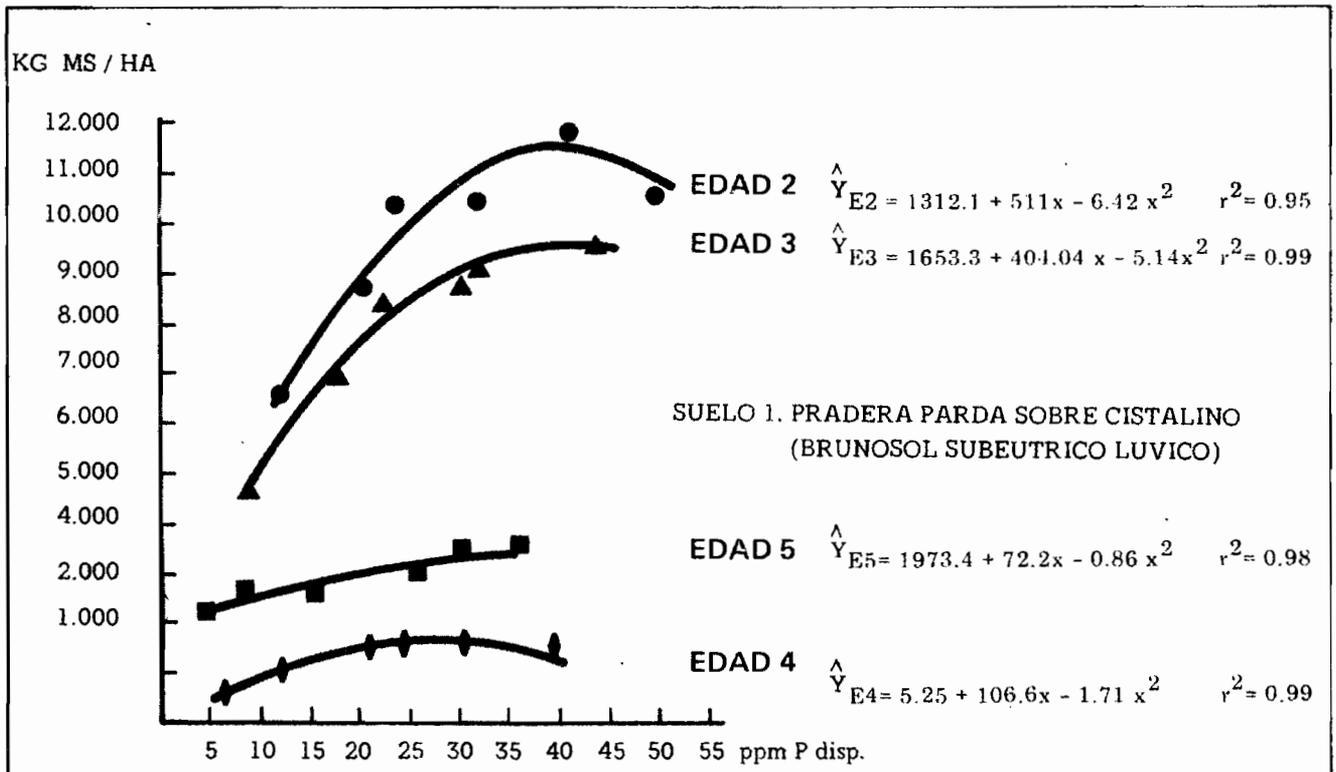


Figura 3: Respuesta de la producción anual de materia seca al nivel de P disponible en el suelo en distintas edades de la pastura.

Se observa que la respuesta de la pastura difiere mucho con la edad que se considere. En términos generales, ésta disminuye a medida que la pastura envejece.

A los efectos de cuantificar la respuesta para cada edad, se calculó el incremento en producción de materia seca provocado por el aumento en 1 ppm en la disponibilidad de P en el suelo en diferentes rangos de la curva de respuesta, desde el nivel mínimo (15 ppm) hasta el nivel máximo (30 ppm), a los efectos de estudiar la respuesta dentro de los límites establecidos por la Guía de Fertilización de Pasturas (5).

Estos resultados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Eficiencia del incremento en fósforo disponible por edad de la pastura.

Rango ppm P disp.	kg de Materia Seca/ppm fósforo disponible			
	E2	E3	E4	E5
15 - 20	286	224	47	42
20 - 25	222	173	30	34
25 - 30	158	121	13	25
$\bar{x}$	222	173	30	34

Los datos corresponden a los kilos de materia seca que se obtienen al aumentar 1 ppm el nivel de fósforo disponible en el suelo en las distintas edades y considerando tres rangos de valores de fósforo disponible (15 - 20, 20 - 25 y 25 - 30 ppm).

Si se considera una misma edad, la respuesta disminuye a medida que se incrementa el nivel de fósforo disponible. Así, en la edad 2 el aumento en 1 ppm en el rango de 15 a 20 ppm produce un aumento de 286 kg de materia seca, el mismo aumento de 1 ppm entre 20 y 25 ppm y entre 25 y 30 ppm produce un aumento de 222 y 158 kg de materia seca, respectivamente. Es decir, que a medida que aumenta la disponibilidad de fósforo en el suelo los incrementos en producción van siendo menores.

Por otra parte, de la comparación de la respuesta entre las diferentes edades, se observa que las edades 2 y 3, muestran la mayor eficiencia para utilizar el fósforo ya que para cada ppm que aumenta la disponibilidad de fósforo la pastura aumenta 222 y 173 kg de materia seca por hectárea en promedio de los tres rangos estudiados.

En contraste con ello, en las edades 4 y 5 el aumento en producción de forraje es de 30 y 34 kg por hectárea de materia seca.

De acuerdo con lo expuesto, trabajar el segundo y tercer año de la pastura en el nivel mínimo (15ppm) (Figura 3) en lugar del máximo (30 ppm), representa una pérdida en producción de forraje de aproximadamente 3.000 kg de materia seca. En cambio, hacer lo mismo en el cuarto y quinto año representa una disminución de 500 kg aproximadamente.

Esto significa que trabajar a niveles bajos de fósforo disponible en el segundo y tercer año de la pastura se traduce en una mayor pérdida de producción, que la que ocurre en edades menos productivas de la pastura como son el cuarto y quinto año.

### C. Composición Botánica.

En los primeros años hubo predominio de T. blanco disminuyendo en años sucesivos, siendo sustituido por gramíneas naturales.

El porcentaje de T. blanco disminuyó bruscamente de un año para otro en todos los tratamientos de fertilización, aunque la disminución fue menor a medida que los niveles de fósforo empleados fueron mayores.

O sea que hubo tratamientos que siempre mantuvieron una proporción considerable de T. blanco (no menor del 40% del área cubierta) y aún así su producción total disminuyó a partir del 2do. año (Figura 2).

Probablemente la disminución del trébol blanco con la edad de la pastura contribuya a limitar la respuesta al fósforo a medida que la pastura envejece (Figura 3) conjuntamente con otros factores que ya se mencionaron (propiedades físicas, acumulación de materia orgánica sin descomponer, etc.) los cuales provocarían condiciones poco favorables para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

#### IV. CONCLUSIONES.

- Existe interacción entre la respuesta al fósforo y la edad de la pastura.
- La menor respuesta observada en el cuarto y quinto año demuestra que cuando la pastura envejece existen otros factores limitantes de la producción por los cuales el incremento en el nivel de fósforo disponible no produce aumentos en la producción de materia seca como los observados en los primeros años de la pradera.
- Los diferentes ciclos anuales de la pastura, o sea, las diferentes edades, poseen un potencial de producción diferente y en este caso decreciente. Esto se podría asimilar a considerar cada edad de la pastura como un cultivo diferente en cuanto a su productividad potencial y requerimientos de fósforo.
- Los aspectos enunciados sugieren que podría ser más adecuado aumentar la disponibilidad de fósforo en el suelo, cuando la pastura hace una utilización eficiente del nutriente. De acuerdo con ello, parecería lógico que la disponibilidad de fósforo en el suelo en los distintos años de la pastura siguiera la misma tendencia que la producción de forraje.

Es necesario puntualizar que todo el análisis presentado se basa en resultados de uno solo de los seis suelos estudiados por Castro, J.L. *et al.*, (4) y se lo seleccionó especialmente debido a que la producción anual de la pastura en este experimento seguía la tendencia general de degradación a partir del segundo año señalada por Carámbula, M. *et al.*, (3).

En este sentido se debe señalar que los resultados de los cinco suelos restantes del trabajo no se ajustaron a la tendencia mencionada, y el efecto de la edad de la pastura en la producción anual fue variable en los distintos suelos.

A los efectos de poder analizar conjuntamente la información de los diferentes suelos y sacar conclusiones generales, los autores expresaron las respuestas en materia seca para cada edad de la pastura y suelo como porcentaje del máximo rendimiento alcanzado.

Por lo tanto, las consideraciones efectuadas en el presente análisis en cuanto a la respuesta al fósforo en las distintas edades es estrictamente válido para la fertilización de pasturas cuya producción anual sigue la tendencia general descrita.

En situaciones que se aparten de dicha tendencia, la fertilización deberá tener en cuenta el estado particular de la pastura así como los niveles de fósforo disponible en el suelo.

Como conclusión final, es interesante mencionar que la orientación de la investigación en fertilización de pasturas ha estado dirigida a superar la limitación que impone a la producción de forraje el bajo nivel de fósforo de los suelos del país. Esto supone elevar y mantener dicho nivel.

Sin embargo, queda claro que la aplicación de este concepto es posible si se trata de fertilizar un tapiz de pastura estable, que responda al agregado del nutriente como para que justifique mantener un nivel determinado en el suelo.

## V. BIBLIOGRAFIA.

1. AHLGREN, H.L., Comparisons of the productivity of permanent and rotation pasture on plowable land. VI th. International Grassland Congress, 1. 356-362. Pennsylvania. 1952.
2. BLACK, C.A. Relaciones suelo-planta. N.Y. Ed. Hemisterio Sur. 866 pp. 1975.
3. CARAMBULA, M.; MILLOT, J.C. y GARCIA, J. Producción forrajera sobre suelos profundos del litoral. 2da. Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Sec. P:16. 1979.
4. CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M.de y BARBOZA, S. Fertilización de pasturas en el Litoral Oeste de Uruguay. C.I.A.A.B. La Estanzuela (En prensa). 1977.
5. CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M.de y OUDRI, N. Guía para Fertilización de Pasturas. Revista de la A.I.A. Segunda Epoca No. 11, pp. 3-10. 1978.
6. DAVIES, W. The grass crop. its development, use and maintenance. Londres, Ed. Spon Ltd. 318 pp. 1954.
7. GRAÑA, A. Evaluación de la producción de leche de distintos forrajes. FUCREA. 10a. Jornada Nacional de Porteras Abiertas. No. 36 pág. 9. 1978.
8. HARLAN, J.R. Theory and Dynamics of Grassland Agriculture. New Jersey, Ed. D.Van Nostrand Company, Inc. 281 pp. 1956.
9. VOISIN, A. Dinámica de los pastos. París. Ed. Tecnos. 452 pp. 1974.

# **FERTILIZACION INICIAL Y ANUAL DE PASTURAS CONVENCIONALES EN LA ZONA NORESTE DEL URUGUAY.**

MANUEL AROCENA  
MARIO ALLEGRI  
ENRIQUE CASTRO  
FRANCISCO FORMOSO

## **RESUMEN**

Se instalaron ensayos de fertilización de pasturas convencionales (mezclas con trébol blanco o trébol subterráneo, Lotus y Phalaris) en tres suelos de la zona Noreste del Uruguay: en un suelo de pradera arenosa, en una pradera parda y en una pradera negra. Se estudió la respuesta a la fertilización inicial y anual con fosfatos. Los tratamientos incluyeron niveles de 0 a 160 kg/ha de  $P_2O_5$  iniciales y de 0 a 45 kg/ha de  $P_2O_5$  anuales.

La evaluación se realizó por cortes determinándose el rendimiento de forraje, la composición botánica y anualmente antes de la fertilización el fósforo en el suelo.

Se encontró respuesta a la fertilización inicial hasta el nivel 80 kg de  $P_2O_5$  en el suelo arenoso, en el suelo pardo y en el suelo negro se encontró respuesta hasta la máxima dosis aplicada. La fertilización anual resultó efectiva en los tres suelos; máxima respuesta al agregado de 20 unidades en la pradera parda, intermedia en la pradera arenosa y menor en la pradera negra. La aplicación de fósforo resultó en aumentos en el porcentaje de leguminosas en los años inmediatos a la aplicación, siendo luego sustituidos por gramíneas implantadas y posteriormente por gramíneas nativas y malezas.

Se encontró relación lineal entre el fósforo agregado y fósforo en el suelo. El contenido de fósforo en el suelo decreció rápidamente con el tiempo desde la aplicación. La velocidad de descenso del fósforo en el tiempo resultó independiente del nivel de  $P$  aplicado.

## **INTRODUCCION**

La implantación y desarrollo de las pasturas convencionales requiere una alta disponibilidad de nutrientes. El fósforo es un elemento fundamental en la nutrición de las pasturas, siendo deficitario su contenido en todos los suelos de la zona. La extracción del fósforo por los cultivos representa una parte muy pequeña del contenido del fósforo en el suelo. La remoción es aún menor en condiciones de pastoreo, ya que más del 88% del fósforo contenido en el forraje es devuelto con las deyecciones animales (14).

La necesidad de proveer información acerca de los requerimientos de fósforo en las pasturas convencionales de la zona determinó la realización de tres experimentos, encuadrados dentro del plan regional de investigación de pasturas en el noreste. Los objetivos de los mismos fueron:

- a. Determinar niveles de fósforo para el establecimiento de pasturas convencionales.
- b. Establecer niveles de fósforo para el mantenimiento de las mismas.
- c. Suministrar información que contribuya a una futura calibración de los valores de análisis.

## II. MATERIALES Y METODOS.

El experimento fue instalado en tres suelos característicos de la zona noreste a saber: pradera arenosa gris amarillenta (Luvisol ocreo, abruptico) unidad Tacuarembó; pradera parda media sobre Yaguarí (Brunosol subeútrico típico) unidad Arroyo Blanco; y pradera negra sobre sedimentos Pelíticos grises (Vertisol háptico) unidad Paso Cohelo (4). Algunos datos analíticos de los lugares de ensayo se presentan en el Cuadro 1.

Los ensayos fueron instalados el 9 - 5 - 70, 13 - 5 - 71 y el 20 - 5 - 71 respectivamente. La evaluación se continuó por cuatro años en el suelo de pradera parda y por 3 años en los otros dos suelos.

La pastura utilizada en el ensayo de areniscas de Tacuarembó estuvo compuesta por: Trifolium subterraneum (var. Yarloop) Lotus corniculatus (var. San Gabriel) y Phalaris tuberosa (var. El Gaucho). En los ensayos instalados en la pradera parda y en el vertisol se utilizó Trifolium repens (var. Bayucúa) en vez de Trifolium subterraneum.

Cuadro 1: Datos analíticos para algunas características químicas de los suelos estudiados.

	pH en agua	Materia Orgánica o/o	Fósforo disponible Bray P - 1 ppm
PRADERA ARENOSA (Tacuarembó)	5,3	2,7	2,9
PRADERA PARDA (Las Toscas)	5,3	4,3	2,9
PRADERA NEGRA (Paso de Cohelo)	5,3	7,9	3,5

Las densidades de siembra fueron respectivamente de 5, 3, 9 y 15 kg/ha de semilla ajustada al 100% de germinación, para el Trifolium subterraneum, Trifolium repens, Lotus corniculatus y Phalaris tuberosa. El tamaño de las parcelas fue de 2 x 5 metros dispuestas en un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones, en donde la parcela mayor correspondía a la fertilización inicial. Los tratamientos surgieron de la inclusión de cinco dosis de fertilización inicial: 0, 20, 40, 80 y 160 kg de  $P_2O_5$ /ha y de cuatro dosis de fertilización anual: 0, 15, 30 y 45 kg de  $P_2O_5$ /ha. La fuente de fosfato usada fue superfosfato (21 - 23%).

Se evaluó el rendimiento de forraje por medio de cortes efectuados en la faja central de la parcela, utilizando una segadora automotriz Gravelly con 1 metro de ancho de corte. Los cortes se llevaron a cabo cuando la pastura alcanzaba la altura de 12 - 15 centímetros; la altura del rastrojo fue mantenida a 2 centímetros por medio de una guadañadora rotativa Gravelly.

El forraje cosechado era devuelto a la parcela.

La necesidad de proveer información acerca de los requerimientos de fósforo en las pasturas convencionales de la zona determinó la realización de tres experimentos, encajados dentro del plan regional de investigación de pasturas en el noreste. Los objetivos de los mismos fueron:

- a. Determinar niveles de fósforo para el establecimiento de pasturas convencionales.
- b. Establecer niveles de fósforo para el mantenimiento de las mismas.
- c. Suministrar información que contribuya a una futura calibración de los valores de análisis.

## II. MATERIALES Y METODOS.

El experimento fue instalado en tres suelos característicos de la zona noreste a saber: pradera arenosa gris amarillenta (Luvisol ocriceo, abruptico) unidad Tacuarembó; pradera parda media sobre Yaguarí (Brunosol subeútrico típico) unidad Arroyo Blanco; y pradera negra sobre sedimentos Pelíticos grises (Vertisol háptico) unidad Paso Cohelo (4). Algunos datos analíticos de los lugares de ensayo se presentan en el Cuadro 1.

Los ensayos fueron instalados el 9 - 5 - 70, 13 - 5 - 71 y el 20 - 5 - 71 respectivamente. La evaluación se continuó por cuatro años en el suelo de pradera parda y por 3 años en los otros dos suelos.

La pastura utilizada en el ensayo de areniscas de Tacuarembó estuvo compuesta por: Trifolium subterraneum (var. Yarloop) Lotus corniculatus (var. San Gabriel) y Phalaris tuberosa (var. El Gaucho). En los ensayos instalados en la pradera parda y en el vertisol se utilizó Trifolium repens (var. Bayucúa) en vez de Trifolium subterraneum.

Cuadro 1: Datos analíticos para algunas características químicas de los suelos estudiados.

	pH en agua	Materia Orgánica o/o	Fósforo disponible Bray P - 1 ppm
PRADERA ARENOSA (Tacuarembó)	5,3	2,7	2,9
PRADERA PARDA (Las Toscas)	5,3	4,3	2,9
PRADERA NEGRA (Paso de Cohelo)	5,3	7,9	3,5

Las densidades de siembra fueron respectivamente de 5, 3, 9 y 15 kg/ha de semilla ajustada al 100% de germinación, para el Trifolium subterraneum, Trifolium repens, Lotus corniculatus y Phalaris tuberosa. El tamaño de las parcelas fue de 2 x 5 metros dispuestas en un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones, en donde la parcela mayor correspondía a la fertilización inicial. Los tratamientos surgieron de la inclusión de cinco dosis de fertilización inicial: 0, 20, 40, 80 y 160 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha y de cuatro dosis de fertilización anual: 0, 15, 30 y 45 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. La fuente de fosfato usada fue superfosfato (21 - 23%).

Se evaluó el rendimiento de forraje por medio de cortes efectuados en la faja central de la parcela, utilizando una segadora automotriz Gravelly con 1 metro de ancho de corte. Los cortes se llevaron a cabo cuando la pastura alcanzaba la altura de 12 - 15 centímetros; la altura del rastrojo fue mantenida a 2 centímetros por medio de una guadañadora rotativa Gravelly.

El forraje cosechado era devuelto a la parcela.

Se efectuaron determinaciones de composición botánica, utilizando la técnica del punto cuadrado total (8).

Anualmente fueron determinados los contenidos de fósforo en cada una de las parcelas por la técnica Bray No.1 (3) y por el método de resinas de intercambio catiónico (16).

Se ajustaron regresiones lineales y cuadráticas (15) entre producción de forraje y dosis de fertilización inicial para cada uno de los niveles de fertilización anual.

Se establecieron relaciones entre el contenido de fósforo en el suelo, la aplicación de fertilizante fosfatado y la producción de forraje.

### III. RESULTADOS Y DISCUSION.

#### Producción de forraje.

En el Cuadro 2, se presenta un resumen de los análisis de variancia, las medias y los coeficientes de variación para los tres suelos estudiados.

Cuadro 2: Análisis de variancia para la producción total de materia verde de praderas convencionales durante tres años (Pradera arenosa y Pradera negra) y cuatro años (Pradera parda), en tres suelos de forraje de pasturas convencionales, con fertilización inicial y anual con superfosfato en tres suelos de la zona Noreste.

Fuente de variancia	gl	Prad. Arenosa (Tbó.)		Prad. Parda (Las Toscas)		Prad. Negra (Paso de Cohelo)	
		CM	F	CM	F	CM	F
Fertilización inicial	4	265.523	3.14 NS	786.97	5.95*	1441.7	10.3**
Bloques	2	135.36	1.60 NS	743.122	5.61*	172.4	1.24 NS
Error A	8	84.426		132.356		138.7	
Sub total	14	143.387		406.641		515.8	
Fertilización anual	3	583.24	23.82**	708.79	29.25**	140.1	10.2**
Interacción F.inic. x F. anual	12	13.09	< 1 NS	64.857	2.68*	19.4	1.42 NS
Error B	30	24.485		24.233		13.6	
Total	59	78.79		249.93		140.4	
* P < 0.05	$\bar{x}$	43.575		76.451		43.071	
** P < 0.01	C.var.	11.31		13.82		11.77	

Las ecuaciones de regresión y los valores de  $R^2$  para producción de forraje y kilogramo de  $P_2O_5$  por hectárea aparecen en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Ecuaciones de regresión y  $R^2$  entre producción de forraje y kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea aplicado en tres suelos de la zona noreste.

SUELO	FERTILIZACION ANUAL	ECUACION	$R^2$
Prad. Arenosa Gris Am. (Tacuarembó)	0	$\hat{y} = 26.753 + 0.2658 x - 0.0010068 x^2$	0.991
Prad. Arenosa Gris Am. (Tacuarembó)	15 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 35.820 + 0.2080 x - 0.000959 x^2$	0.993
Prad. Arenosa Gris Am. (Tacuarembó)	30 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 39.310 + 0.27339 x - 0.001393 x^2$	0.999
Prad. Arenosa Gris Am.	45 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 45.538 + 0.1847 x - 0.000915 x^2$	0.906
Prad. Parda Media (Las Toscas)	0	$\hat{y} = 54.225 + 0.358028 x - 0.0010009 x^2$	0.923
Prad. Parda Media (Las Toscas)	15 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 64.888 + 0.159832 x - 0.00014671 x^2$	0.761
Prad. Parda Media (Las Toscas)	30 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 78.533 + 0.10883052 x - 0.0003063 x^2$	0.946
Prad. Parda Media (Las Toscas)	45 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 84.9 + 0.22744665 x - 0.00076204 x^2$	0.992
Pradera Negra (Paso de Cohelo)	0	$\hat{y} = 28.424 + 0.174625 x$	0.975
Pradera Negra (Paso de Cohelo)	15 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 31.850 + 0.17475 x$	0.964
Pradera Negra (Paso de Cohelo)	30 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 32.078 + 0.30975 x - 0.0008182 x^2$	0.898
Pradera Negra (Paso de Cohelo)	45 kg de $P_2O_5$ /ha	$\hat{y} = 36.008 + 0.159875 x$	0.970

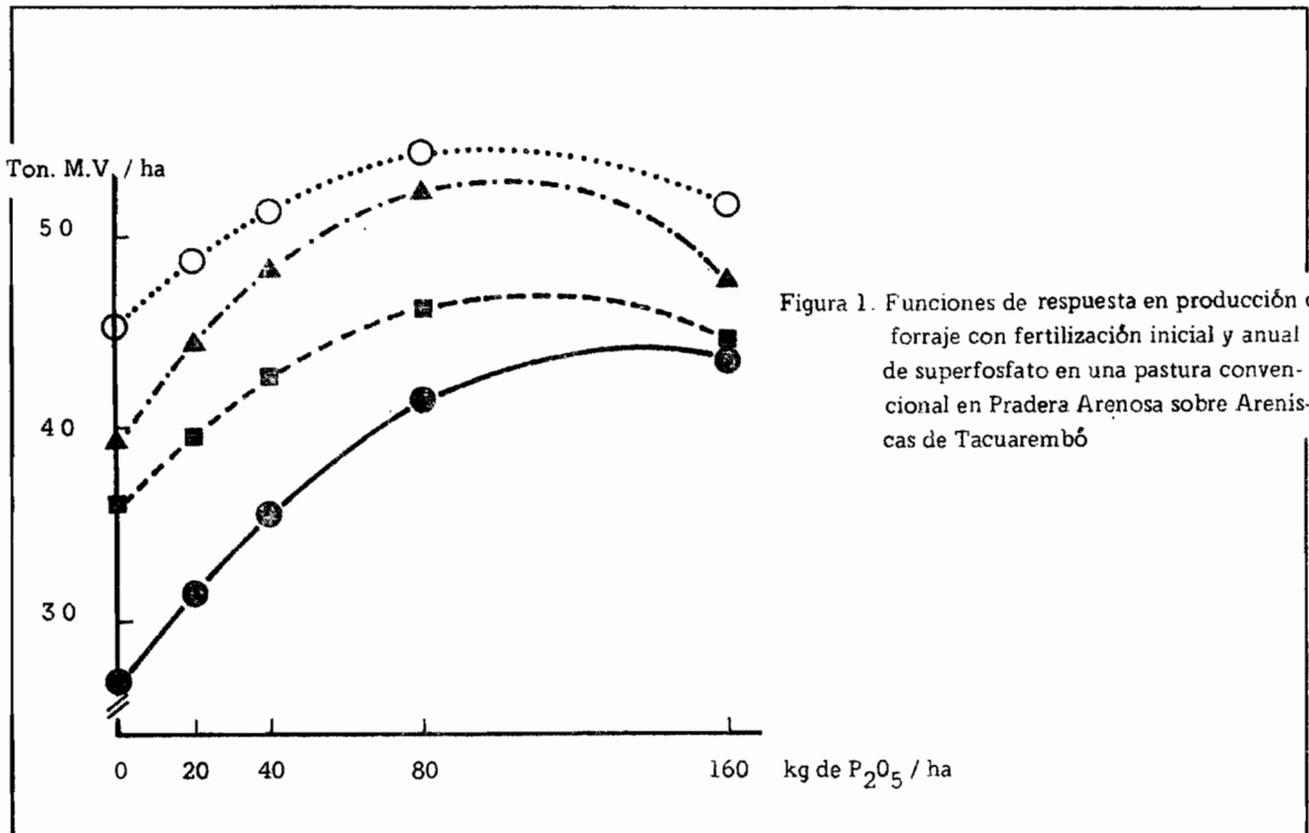
En el Cuadro 4, se presentan los promedios de rendimiento de forraje para la fertilización anual y los valores de mínima diferencia significativa al 5 o/o de probabilidad (MSD = 0.05).

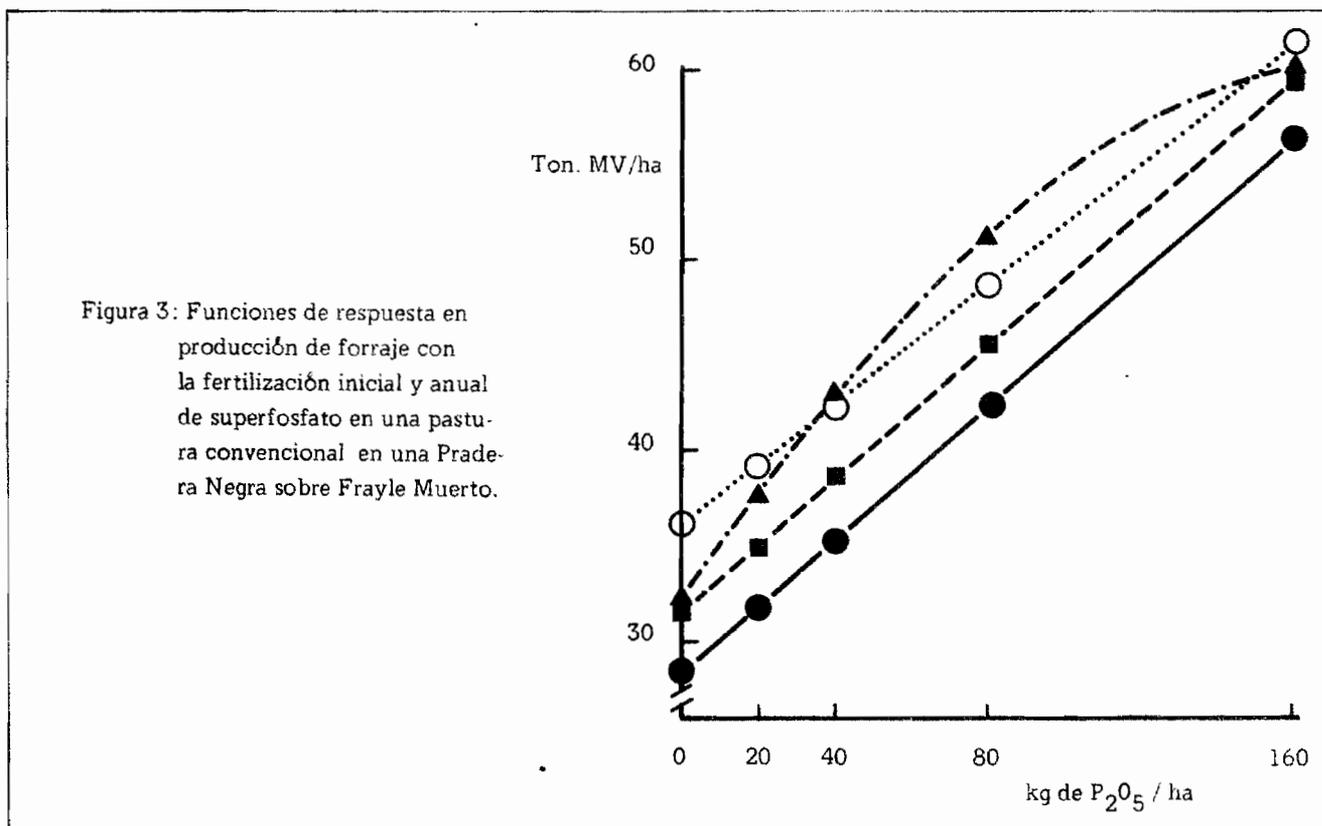
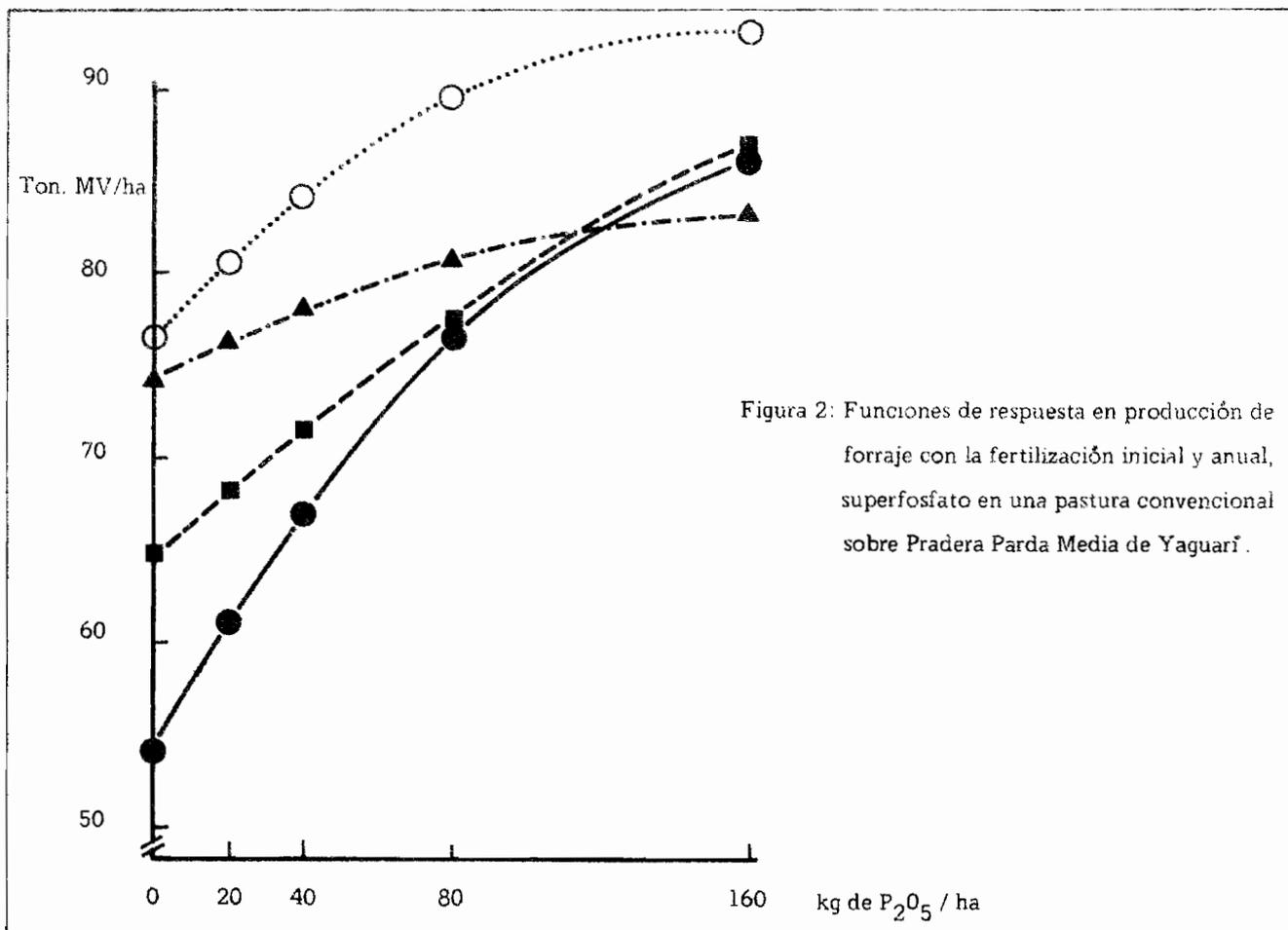
Cuadro 4: Promedios de rendimiento de forraje para la fertilización anual y valores de las mínimas diferencias significativas entre dosis de fertilización anual de fosfato.

SUELO	DOSIS INICIAL	DOSIS ANUAL *				MDS (0.05)
		0	15	30	45	
Pradera Arenosa (Tacuarembó)	Promedio	35.860 a	41.780 ab	46.240 ab	50.400 c	8.250
Pradera Parda (Las Toscas)	Optimo	78.160 a	73.783 a	83.360 a	92.190 b	8.208
Pradera Negra	Promedio	38.880 a	42.740 ab	45.090 b	45.580 b	6.149

\* Los valores seguidos de la misma letra no difieren significativamente.

En las Figuras: 1, 2 y 3, se grafican las regresiones obtenidas entre kilogramos de fosfato aplicados a la instalación y toneladas de materia verde para las distintas dosis de fertilización anual.





En el suelo de pradera arenosa, la respuesta a la fertilización inicial resultó no significativa al nivel 0.05 ( $F_0, 3.14 < F_{0.05}, 3.84$ ) pero sí resultó significativa al nivel 0.10. Se encontró respuesta significativa ( $P < 0.01$ ) a la fertilización anual. No se encontró interacción significativa ( $P < 0.05$ ) entre la fertilización inicial y anual. Se ajustaron regresiones cuadráticas entre forraje verde obtenido y fósforo aplicado, para cada uno de los niveles de fertilización anual estudiados. La fertilización anual resultó en aumentos significativos ( $P < 0.05$ ) en producción de forraje.

La respuesta obtenida en este suelo puede ser atribuida al bajo contenido de fósforo y a la rápida tasa de disminución del fósforo asimilable en el suelo, en los dos o tres años inmediatamente siguientes a la aplicación de fosfatos (10) (11). La fijación del fósforo en suelos ácidos a través de compuestos de Fe y Al puede afectar severamente la disponibilidad de P en el suelo (7). El contenido de aluminio intercambiable presenta una gran variación (0 a 1.6 Meq/100gr.) en el horizonte superficial en algunos suelos arenosos de la zona (12). Los altos valores de aluminio encontrados posibilitarían la fijación del fósforo. Las respuestas cuadráticas también podrían atribuirse a factores distintos del fósforo, que limitan la respuesta a este nutriente (12).

El déficit de elementos secundarios o micronutrientes si bien no es descartable, datos no publicados (1) indican la falta de respuesta a la aplicación de Ca, Mg, K, B, Mo y Cu en pasturas convencionales implantadas en los suelos arenosos estudiados (13). La fertilización fosfatada en suelos sobre Cretáceo, resultó en respuesta en producción de forraje hasta la máxima dosis de fertilización inicial utilizada de 240 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea (6). La dosis óptima de fertilización inicial definida como aquella que produce el 90 o/o del máximo rendimiento (6), fue para este suelo de 80 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea. La dosis óptima de fertilización anual correspondió a 30 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea (Cuadro 4).

En el suelo de pradera parda se encontró respuesta significativa ( $P < 0.05$ ) a la fertilización inicial y anual ( $P < 0.01$ ). Se encontró interacción significativa ( $P < 0.05$ ) entre fertilización inicial y anual. Se ajustaron regresiones cuadráticas entre forraje verde y kilogramo de  $P_2O_5$  aplicado para cada uno de los niveles de fertilización anual. Las respuestas presentan pendientes decrecientes a medida que aumenta la dosis de fertilización anual.

Reynaert y Castro (12) en dos suelos de pradera parda sobre Yaguari, obtuvieron respuestas exponenciales a la aplicación inicial de superfosfato con  $R^2$  de 97 y 99 respectivamente. La fertilización inicial óptima fue de 80 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea.

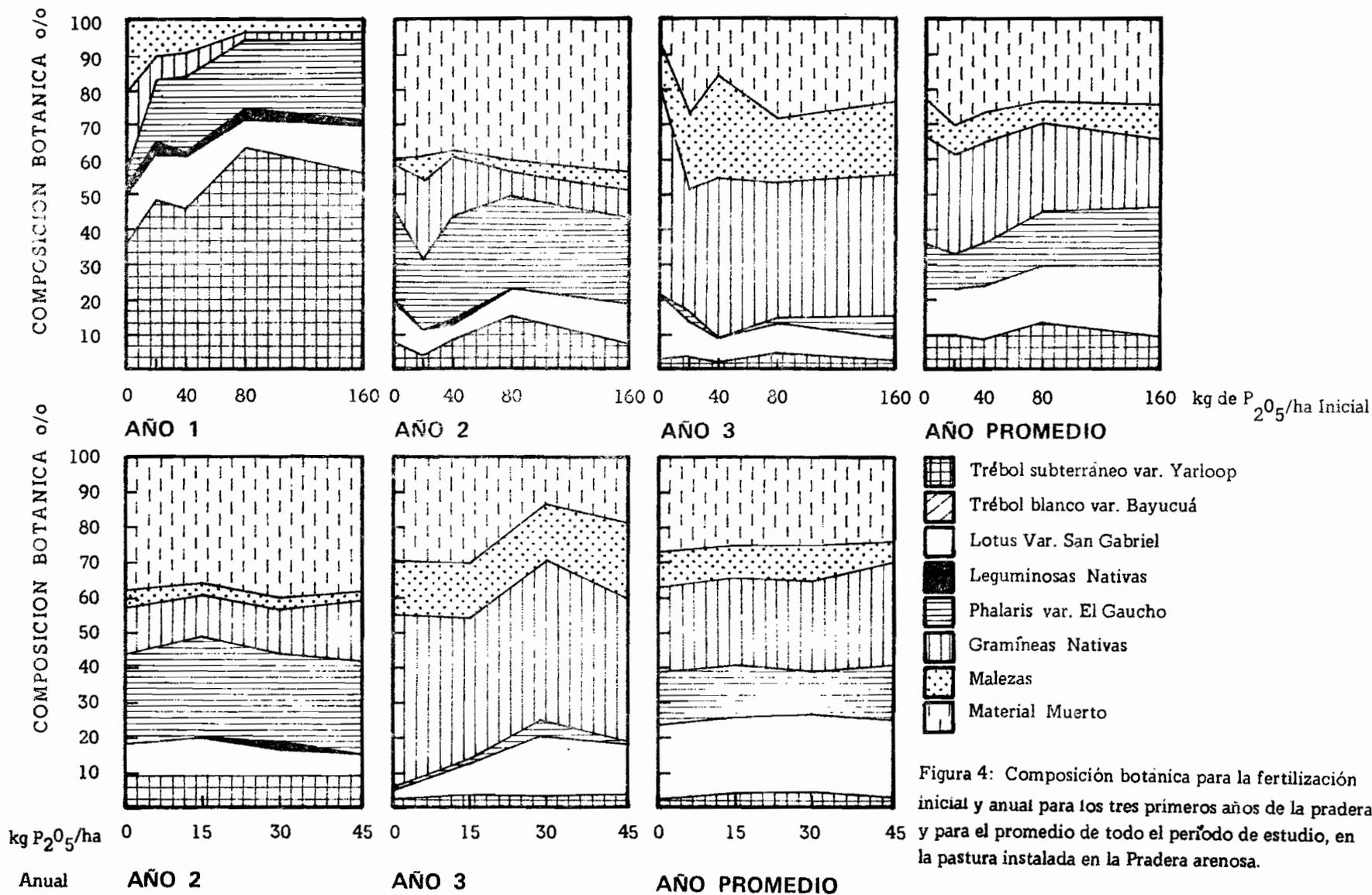
La fertilización anual para el nivel óptimo inicial resultó en aumentos significativos ( $P < 0.05$ ) hasta el máximo nivel empleado (45 kilogramos de  $P_2O_5$ ) (Tabla 4).

En el suelo de pradera negra se encontró respuesta significativa ( $P < 0.01$ ) a la fertilización inicial y anual, aunque para esta última la magnitud de la respuesta es sensiblemente menor a las obtenidas en los otros dos suelos. No se encontró interacción significativa entre fertilización inicial y anual. La relación entre el fosfato aplicado y el forraje verde obtenido resultó en regresiones lineales para las dosis 0,15 y 45 kilogramos de  $P_2O_5$  anuales, mientras que para la dosis de 30 kilogramos de  $P_2O_5$  anuales se ajustó una función cuadrática. Las respuestas lineales obtenidas en este suelo podrían ser debidas al bajo contenido de fósforo en el suelo (Cuadro 1). Sin embargo parece razonable atribuir esta respuesta atípica a la pobre implantación de las especies sembradas (especialmente trébol blanco). Reynaert y Castro (12) en un grumosol gris sobre Frayle Muerto determinaron que el máximo en producción de forraje se alcanzó con 90 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea.

La fertilización inicial óptima obtenida en este trabajo fue de 125 kilogramos de  $P_2O_5$ . La dosis óptima de fertilización anual correspondió a 15 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea (Cuadro 4).

### Composición botánica.

Las Figuras: 4, 5 y 6 muestran las variaciones en la composición botánica en los tres suelos estudiados. La composición botánica varía con el suelo, la edad de la pastura y en menor grado con la fertilización. En los tres suelos se observa un descenso en el porcentaje de leguminosas con la edad de la pastura.



PRADERA ARENOSA (TACUAREMBO).

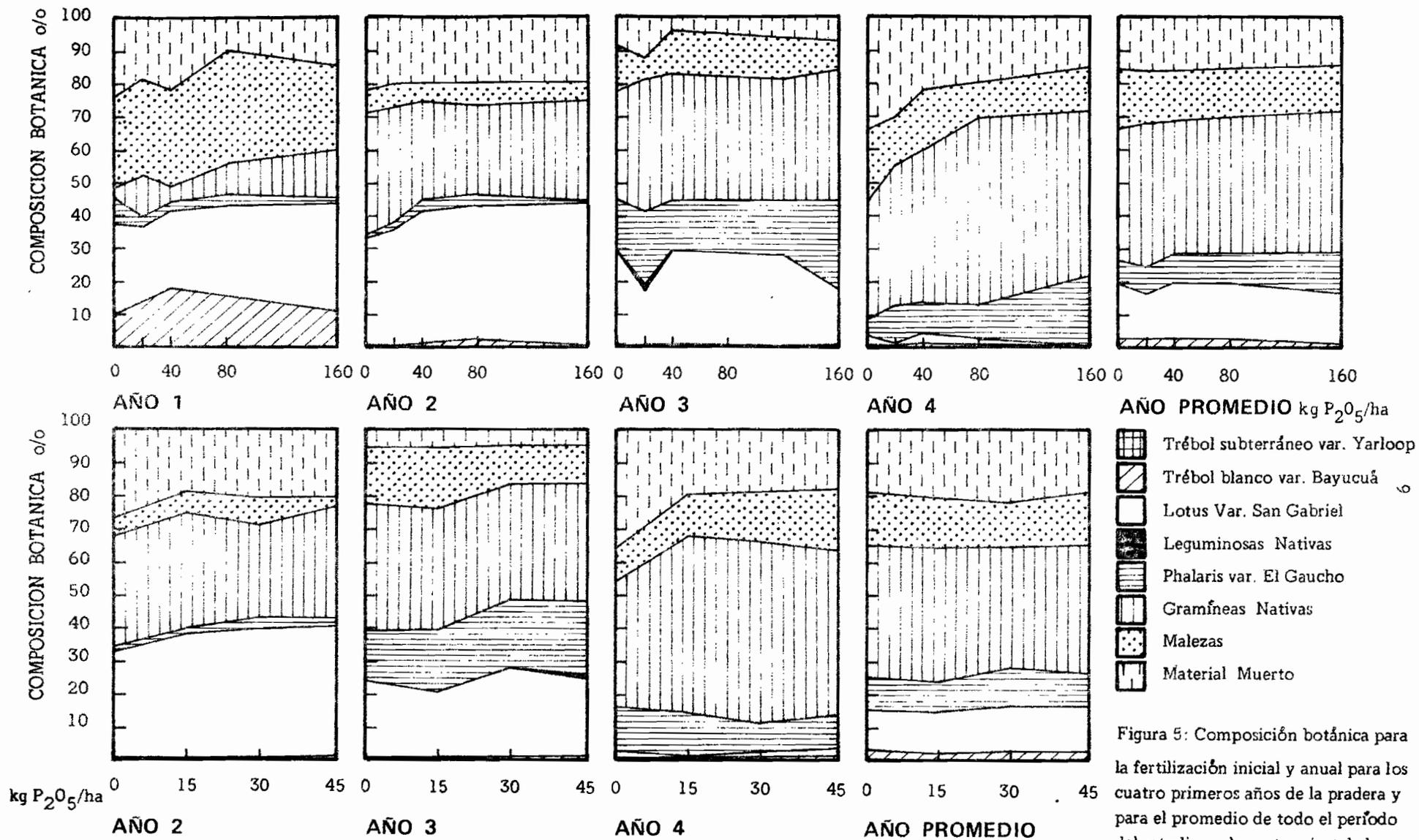


Figura 5: Composición botánica para la fertilización inicial y anual para los cuatro primeros años de la pradera y para el promedio de todo el período del estudio en la pradera instalada en la Pradera Parda.

PRADERA PARDA (LAS TOSCAS).

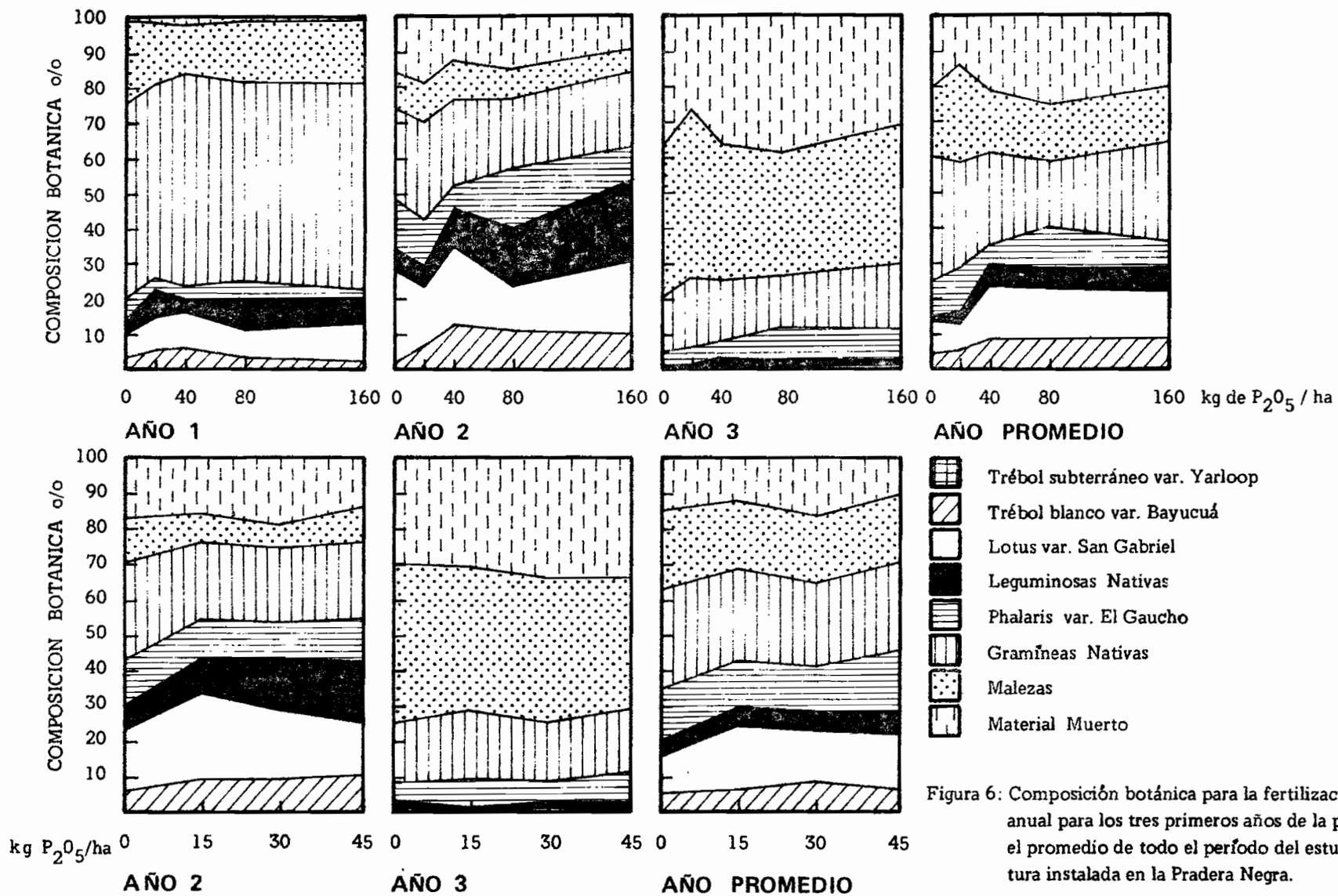


Figura 6: Composición botánica para la fertilización inicial y anual para los tres primeros años de la pradera y para el promedio de todo el período del estudio en la pastura instalada en la Pradera Negra.

En el suelo arenoso, la proporción de leguminosas fundamentalmente trébol subterráneo aumenta con la fertilización inicial, el primer año. El trébol subterráneo disminuye intensamente en el segundo año, siendo mínima su proporción en la pastura en el tercer año. El porcentaje de *Phalaris* aumenta con la fertilización inicial en los dos primeros años. El porcentaje de malezas en el primer año disminuye con la fertilización inicial.

La fertilización anual resulta en un aumento de la proporción de lotus en el tercer año de la pastura.

En el suelo de pradera parda, se observa un aumento en el porcentaje de leguminosas, fundamentalmente lotus, con la fertilización anual en los dos primeros años de la pastura. El porcentaje de *Phalaris* aumenta en los dos años siguientes.

El trébol blanco muestra una abrupta disminución después del primer año.

Con la fertilización anual se obtiene una evolución similar en donde el aumento en la proporción de leguminosas es seguido por un incremento del porcentaje de *Phalaris*.

En la pradera negra la fertilización resulta en un aumento en el porcentaje de lotus y leguminosas nativas tréboles cartetilla y polimorfo, sobre todo en el segundo año.

El porcentaje de *Phalaris* también aumenta con la fertilización.

En este suelo, el trébol blanco desaparece después del segundo año, mientras que la proporción de malezas muestra un aumento en el tercer año.

La fertilización anual afecta la composición botánica de manera similar. La proporción de lotus y leguminosas nativas aumenta con la dosis de fertilizante en el segundo año. En el tercer año disminuyen las leguminosas siendo sustituidas por malezas.

Una tendencia similar fue encontrada en los experimentos de fertilización de pasturas en la zona suroeste. Allí las leguminosas que predominan en los primeros años de la pastura son sustituidas por gramíneas o malezas. Ello sería debido a factores de manejo, condiciones climáticas y aumento de la agresividad de las malezas y gramíneas al aumentar la fertilidad (5).

La desaparición del trébol podría, después del segundo año ser mayor en las pasturas fertilizadas con altas dosis iniciales de superfosfato. El factor determinante del cambio sería el aumento de fertilidad (2).

En el presente experimento la clara tendencia a la disminución de las leguminosas en los tres suelos, es atribuida parcialmente al corte mecánico, con la devolución del forraje a la parcela.

En el caso particular de las praderas parda y negra también puede haber influido la sequía ocurrida en el verano inmediato a la instalación.

El vigor de las especies invasoras (gramíneas en las praderas parda y arenosa y malezas en la pradera negra) incrementado por la fertilidad da lugar a los fenómenos anteriormente anotados.

#### IV. FOSFORO EN EL SUELO.

En las Figuras: 7, 8 y 9 se presenta las regresiones entre aplicaciones iniciales de fosfato, fósforo en el suelo y producción al año de la aplicación.

Las tendencias fueron similares en los tres suelos estudiados.

Se encontró relación lineal entre fósforo agregado y contenido de fósforo en el suelo en cada tratamiento con coeficientes de determinación de 0.94, 0.98, 0.99 para el suelo arenoso, el suelo de pradera parda y el suelo de pradera negra respectivamente. Las pendientes fueron respectivamente de 0.066, 0.130 y 0.087, lo que significa que el contenido en fósforo en el suelo en partes por millón aumenta entre 0.66 y 1.3 por cada 10 kilogramos de  $P_2O_5$  agregado.

Relaciones similares hasta la máxima dosis ensayada en este estudio (160 kg de  $P_2O_5$ /ha) fueron encontradas en varios suelos de la zona suroeste del país (9) (6).

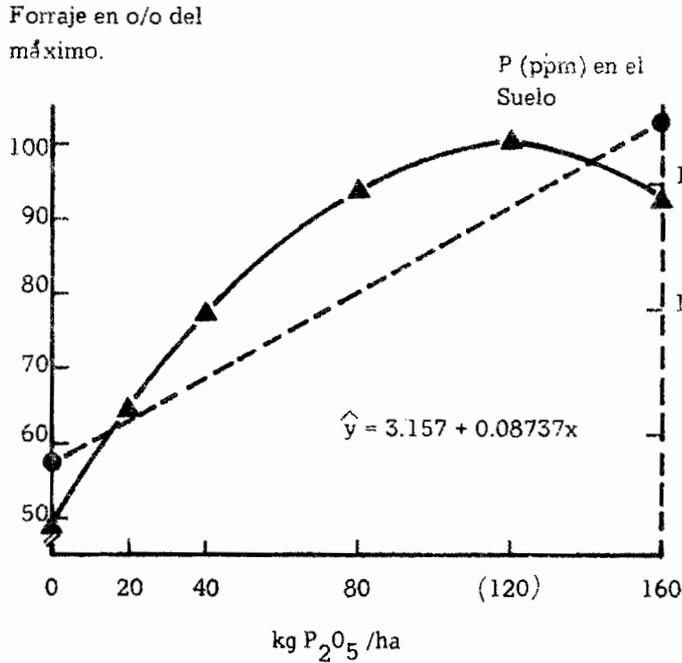


Figura 7: Relaciones entre niveles iniciales de fosfato (kg  $P_2O_5$  /ha) fósforo en el suelo (ppm P Bray I) y rendimiento de forraje (kg M.V./ha) en porcentaje del máximo en el primer año en Pradera Negra.

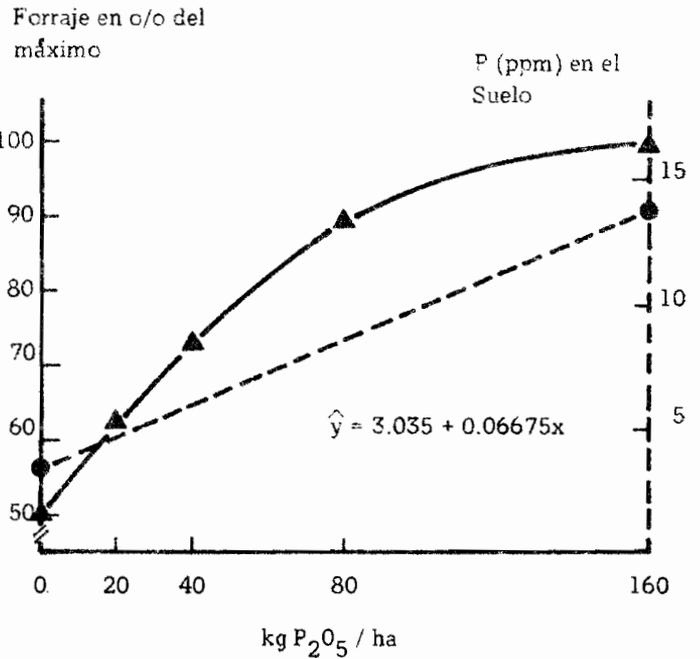


Figura 8: Relaciones entre niveles iniciales de fosfato (kg  $P_2O_5$  /ha) fósforo en el suelo (ppm P Bray I) y rendimiento de forraje (kg M.V./ha) en porcentaje del máximo en Pradera Arenosa.

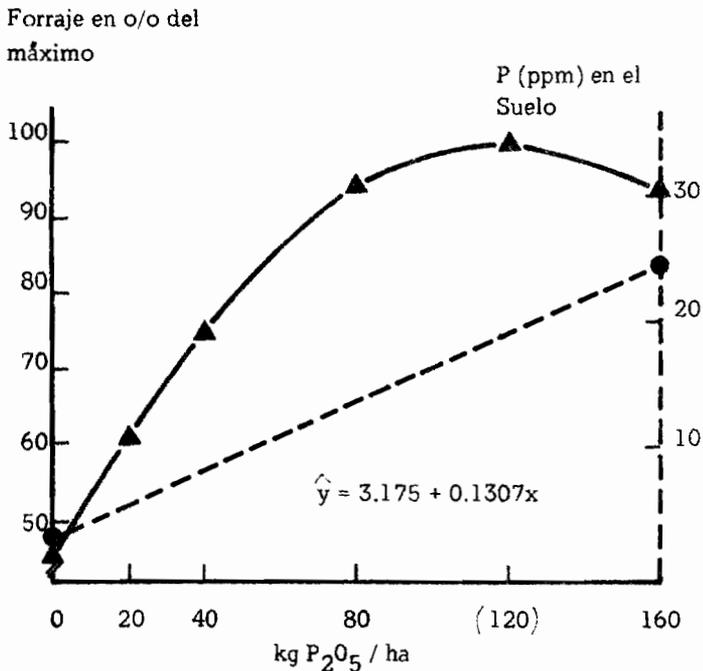


Figura 9: Relaciones entre niveles iniciales de fosfato (kg  $P_2O_5$  /ha) fósforo en el suelo (ppm Bray I) y rendimiento de forraje (kg M.V./ha) en porcentaje del máximo en el primer año en Pradera Parda.

La función de respuesta en producción de forraje a la aplicación de fosfato en el año de la implantación presenta un máximo a partir del cual los aumentos de fósforo en el suelo no se corresponden con la producción de forraje.

Las dosis óptimas de fosfato para producción de forraje en el año de la implantación fueron de 100, 120 y 156 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea, para el suelo de pradera parda, pradera negra y pradera arenosa respectivamente.

En base a los valores de análisis de fósforo en el suelo en los años siguientes a la aplicación se estudió la relación entre fósforo disponible y la edad de la pastura.

Habiéndose encontrado diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) para el contenido de fosforo en el suelo entre años después de la aplicación, para las dosis de fosfato aplicadas y para las interacciones dosis por años y lugares por años. El efecto principal de lugares fue no significativo (Cuadro 5).

Cuadro 5: Análisis de variancia para fósforo residual, para un período de tres años, en pasturas convencionales, de tres suelos de la zona Noreste.

FUENTE DE VARIANCIA	gl	SC	CM	F
Bloques	6	49.8874	8.3248	1.409
Lugar	2	21.530	10.765	1.822 NS
Lugar x dosis	8	41.502	5.188	<1 NS
Lugar x años	4	116.775	29.173	4.938 **
Lugar x dosis x años (error a)	16	93.367	5.835	
Dosis	4	816.47	204.118	34.55 **
Error b	24	133.1614	5.548	
Años	2	1130.748	565.374	95.712 **
Dosis x años	8	601.662	75.208	12.732 **
Error c	60	364.2683	6.070	
Total	134	3376.432	25.1972	
Error combinado	100	590.712	5.907	

\*  $P < 0.05$

\*\*  $P < 0.01$

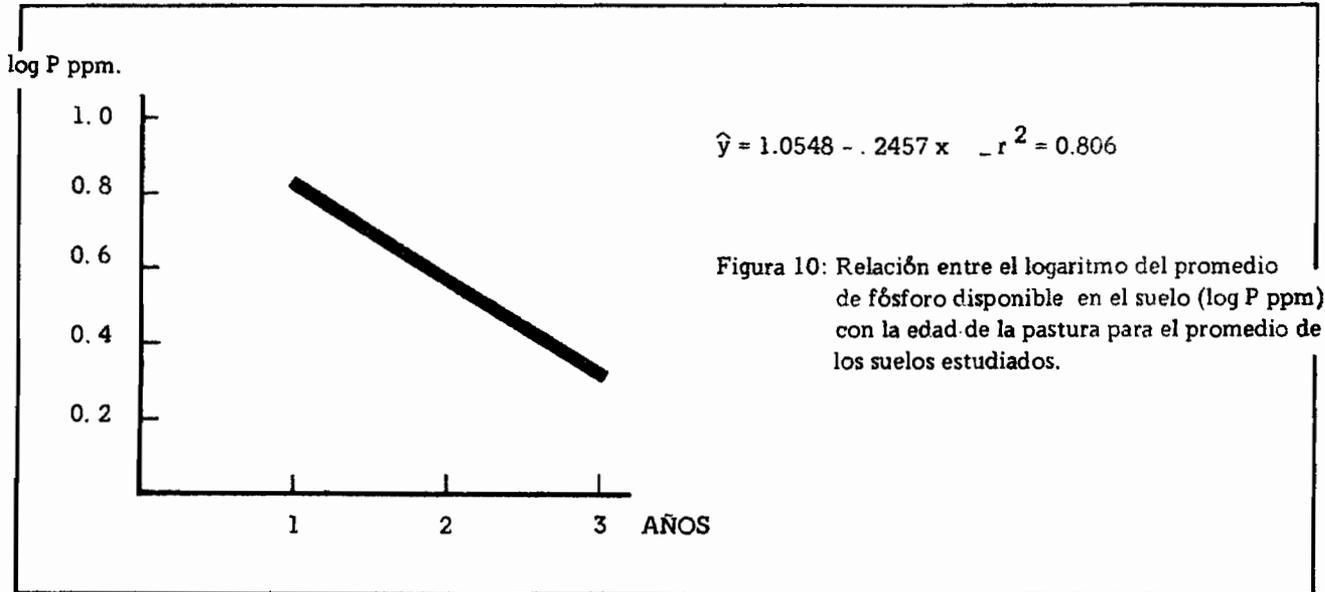
Como puede apreciarse en el Cuadro 6, no se encontraron diferencias significativas entre las pendientes de las regresiones establecidas entre fósforo en el suelo y el tiempo transcurrido después de la aplicación para cada una de las dosis de fosfato aplicadas.

Cuadro 6: Prueba F. para la comparación de pendientes de las regresiones entre el log. del fósforo residual y el tiempo transcurrido después de la aplicación, para cada una de las dosis de fosfato aplicadas, para el promedio de los suelos estudiados.

FUENTE DE VARIANCIA	gl	SC	CM	F
Regresión común	1	0.60368	0.60368	
Diferencia	4	0.020998	0.005249	<1 NS
Error	5	0.17223	0.034446	

La tasa de inmovilización resultó independiente del tipo de suelo y del nivel de aplicación, lo que concuerda con los resultados obtenidos en varios suelos de la zona suroeste (6).

En la Figura 10, se presentan los logaritmos del promedio de fósforo disponible en el suelo, del testigo y de los tratamientos sin fertilización anual, en los años siguientes a la aplicación.



La relación resultó en una regresión lineal con una pendiente de 0.25 con un  $r^2$  de 0.81. Trabajos realizados en Australia (NS Wales) indican que la máxima declinación de fósforo en el suelo ocurre entre el primero y segundo año después de la aplicación (10).

## V. CONCLUSIONES.

Los tres suelos estudiados, con niveles muy bajos en fósforo mostraron importantes respuestas al agregado de este elemento. Aún cuando hubo aumento lineal en fósforo en el suelo, al año de la aplicación, la producción de forraje presenta aumentos decrecientes hasta alcanzar un máximo. Las dosis óptimas de fosfato utilizado para la producción de forraje acumulado para el período de evaluación, fueron 80, 80 y 125 kilogramos de  $P_2O_5$  por hectárea, para el suelo de pradera parda, para la pradera arenosa y para la pradera negra respectivamente.

En relación a la fertilización anual, los tres suelos también mostraron respuesta a la producción de forraje hasta el nivel 15, 30 y 45 en la pradera negra, la pradera arenosa y la pradera parda respectivamente.

La necesidad de las aplicaciones anuales está relacionada con la marcada caída en los valores de fósforo disponible en el suelo, en el segundo año siguiente a la aplicación.

En composición botánica se encontró una tendencia al aumento de leguminosas con la fertilización inicial que estimula el aumento de la frecuencia de *Phalaris* en los años siguientes.

Posteriormente, la agresividad de las gramíneas y la invasión de malezas determinan un descenso en la proporción de leguminosas.

De los resultados surge la ventaja de la aplicación fraccionada de fósforo durante el período de producción de las praderas convencionales. Esto concuerda con los resultados experimentales de suelos arenosos y pesados de la zona suroeste del país.

## VI. BIBLIOGRAFIA

1. ALLEGRI, M.; AROCENA, M. y CASTRO, E. Determinación de requerimientos en macro y micronutrientes en pasturas implantadas en suelos arenosos. (Datos no publicados).
2. ANDERSON, A.J.; Mc LACHLAN, K.D. The residual effect of phosphorous on soil fertility and pasture development on acid soils. *Aust. J. Agric. Res.* 2, 377 - 400. 1951.
3. BRAY, R.H. and KURTZ, L.T. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Science* 59: 39 - 45. 1945.
4. CARTA DE RECONOCIMIENTO DE SUELOS DEL URUGUAY. DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976.
5. CASTRO, J.L. Fertilización de Pasturas. Avances en Pasturas IV Tomo I. M.A.P., C.I.A.A.B. 1976.
6. CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M.de y BARBOZA, S. Fertilización de Pasturas en el Litoral Oeste del Uruguay. pp.43. 1977.
7. HEMWALL, J.B. Phosphorous fixation by soils. *Advances in Agronomy*. Vol. 9. 95 - 111. 1957.
8. LEVY, E.B.; MADDEN, E.A. The point method of pastures analysis, *New Zealand J.Agric.* 46 - 267 - 279. 1933.
9. LA ESTANZUELA. Fertilización de Pasturas. Boletín de Divulgación No. 5. pp. 40. 1971.
10. Mc LACHLAN, K.D. Soil phosphorous and pasture responses to a current application of superphosphate. *Aust. J. Exp. Agric. Animal Husb.* 3. 184 - 189. 1963.
11. Mc LACHLAN, K.D. and NORMAN, C.W. Effect of previous superphosphate applications on the pasture environment and the response by pasture to a current dressina. *Aust. J. of Agric. Research* 13. 1962.
12. REYNAERT, E.E. y CASTRO, J.L. Eficiencia relativa de tres fertilizantes fosfatados en la fertilización de pasturas. La Estanzuela, C.I.A.A.B. Boletín Técnico No. 7. pp.24. 1968.
13. SACCO, G. y FALCO, L. Estudio Semidetallado de Suelos. pp. 24. Estación Experimental Del Norte. M.A.P., CIAAB. Dirección de Suelos y Fertilizantes. 1975.
14. SEARS, P.D.; GOODALL, V.C.; NEWBOLD, R.P. The effect of sheep droppings on yield, botanical composition and chemical composition of pasture. II. Results for the grass 1942-44 and final summry of the trial. *New Zealand Journal of Science and Technology* 30. 231 - 250. 1948.
15. SNEDECOR, G.; COCHRAN, W. *Statistical Methods*. Sixth Edition. pp. 593. Ames IOWA. 1967.
16. ZAMUZ, E.M.de y CASTRO, J.L. Evaluacion de Métodos de Análisis de Suelo para determinar fósforo asimilable. Boletín Técnico No. 15. pp. 15. M.A.P. C.I.A.A.B. 1974.

# **ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE POLITICAS DE FERTILIZACION DE PASTURAS.**

ALEJANDRO E. MORON

## **INTRODUCCION**

La discusión que se plantea a continuación surge de relacionar las conclusiones de varios trabajos de investigación en el área de pasturas (fertilización, persistencia, etc.), no de una investigación específica sobre las políticas de fertilización.

Por lo tanto, las consideraciones aquí planteadas están sujetas a la rectificación o ratificación que le dará la realización de ensayos específicos al respecto. Estos constituyen futuras líneas de investigación.

## **II. DISCUSION.**

Existen diferencias entre suelos en la dinámica del fósforo.

Esto se refleja en la variación de los parámetros que caracterizan esta dinámica: Equivalente Fertilizante, Tasa de Descenso y Niveles Mínimos y Máximos del P disponible que se deben alcanzar.

A su vez existen diferencias entre suelos en los mejoramientos posibles de realizar (Convencional, Cobertura, Campo Natural Fertilizado, etc.).

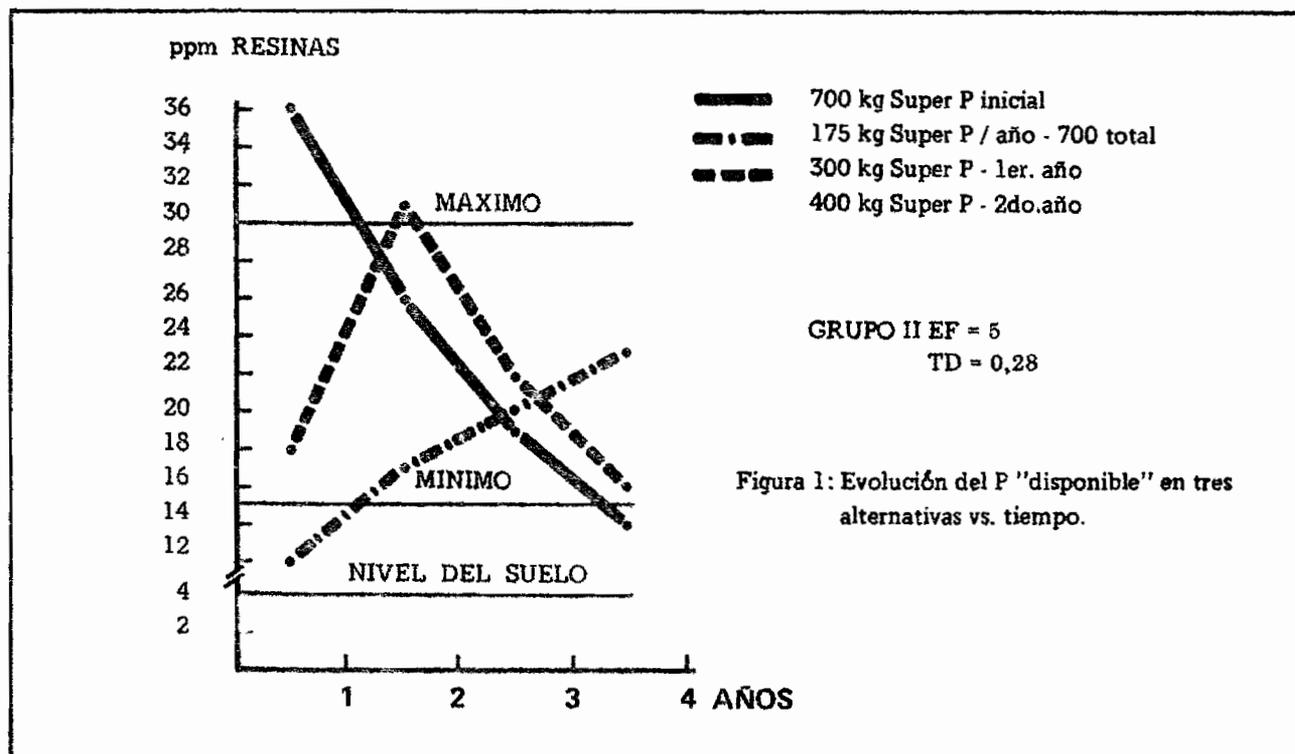
La Guía de Fertilización de Pasturas clasifica a los suelos del país en tres Grupos. Como ejemplo se analizarán, en primer término, para el Grupo II de Suelos (texturas medias, PH = 5,5 a 6, praderas pardas) distintas políticas o estrategias de fertilización, que nos conducen a disponibilidad de fósforo variables y en algún caso contrastantes durante la vida de la pastura.

De acuerdo con el tipo de mejoramiento de pasturas que se considera y su respectivo comportamiento en términos generales, veremos que disponibilidad de fósforo sería la deseada para lograr la máxima eficiencia en el uso del insumo fertilizante.

## GRUPO II DE SUELOS

- Nivel natural : 4 ppm fósforo disponible.
- Total de fósforo a consumir en cuatro años: 700 kg de Superfosfato
- Políticas de Fertilización: a. 700 kg de Superfosfato en la instalación.  
b. 175 kg de Superfosfato por año.  
c. 300 kg de Superfosfato el primer año  
400 kg de Superfosfato el segundo año.

En la Figura 1, se muestra la evolución de las tres alternativas en el período de 4 años. Se pone como referencia los niveles mínimos (15 ppm) y máximos (30 ppm) establecidos por la Guía de Fertilización de Pasturas.



Analizaremos estas disponibilidades para dos situaciones:

a. Situación Inestable.

Asimilamos la situación inestable al comportamiento de las pasturas convencionales en nuestro país que muestran en términos generales un pico de producción al segundo año con una posterior degradación y descenso de los niveles productivos. Este comportamiento es, en gran medida, independiente del fósforo. Existen otros factores que están determinando las caídas de los niveles productivos. Una alternativa sería aceptar esta situación como un hecho inevitable y adaptar la fertilización.

Parece claro que para esta situación aplicar 175 kg de Superfosfato por año y por hectárea no sería lógico, ya que la disponibilidad de fósforo sería prácticamente inversa a la curva de producción de las pasturas. Trabajaríamos con niveles por debajo del mínimo en la implantación (riesgo): en el segundo año de máxima producción y respuesta a la fertilización tendríamos niveles de disponibilidad bajos, y por último vemos que la máxima disponibilidad sería en el cuarto año cuando en general la pastura se encuentra en gran medida degradada y presenta poca respuesta a la fertilización.

La alternativa de fertilizar con 700 kg de Superfosfato en la implantación nos daría niveles muy altos el 1er. año donde son medias a bajas las respuestas y requerimientos.

Diferir parte del fertilizante para el 2do. año parecería lógico ya que de ahí en adelante estaríamos con una disponibilidad superior de la que lograríamos con todo el P en la implantación.

La alternativa de fraccionamiento entre el 1er. y 2do. año nos muestra una disponibilidad de fósforo en los distintos años que se asemeja bastante a las tendencias de las curvas de producción y de extracción o consumo de fósforo de parte de la pastura.

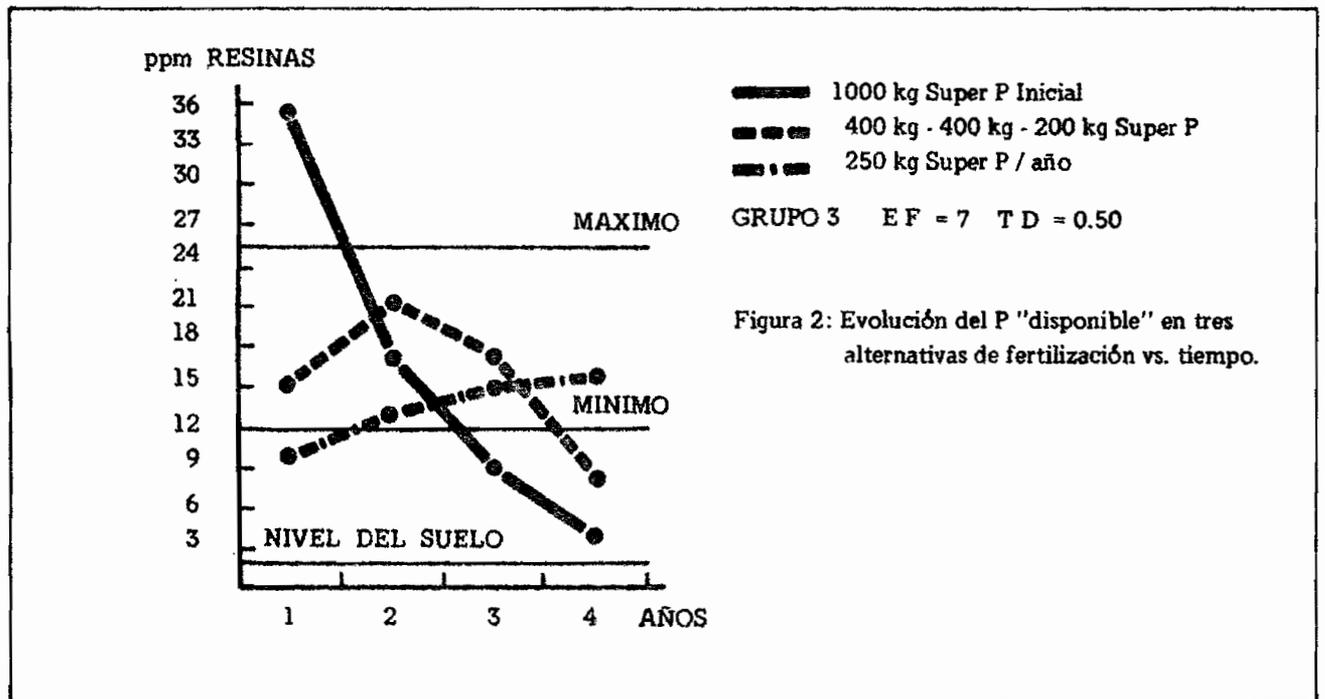
En esta alternativa el momento de máximos requerimientos y respuestas sería coincidente con el de máxima disponibilidad de fósforo en el suelo.

En la alternativa C de las políticas de fertilización parte del fósforo es colocado en cobertura.

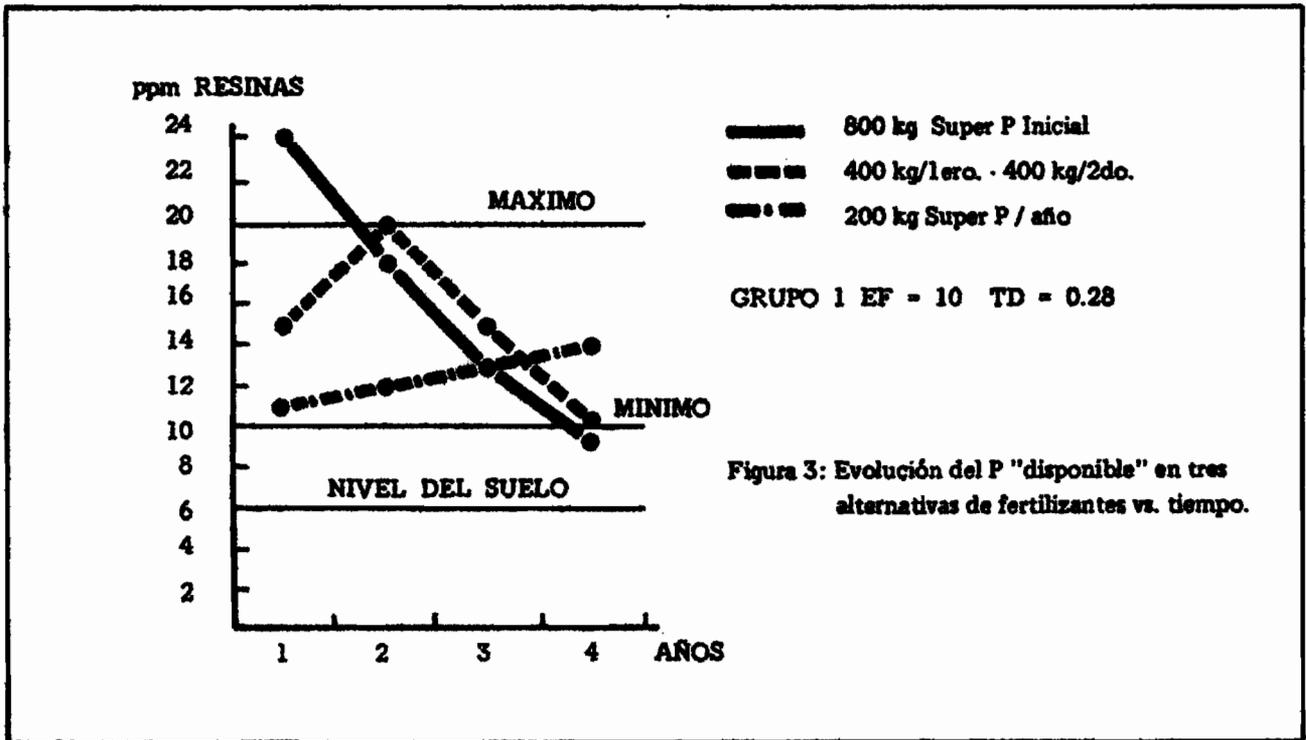
Queda planteada la duda acerca de la eficiencia del fósforo en cobertura. Dada la poca movilidad del fósforo, las aplicaciones en cobertura determinan que la disponibilidad del nutriente se concentre en los primeros centímetros del perfil del suelo. Cuanto más superficial sea el sistema radicular (Trébol blanco) más posibilidades tiene de utilizar el fósforo acumulado cerca de la superficie y por lo tanto mayor será la eficiencia de la fertilización en cobertura.

Por otro lado, la existencia de desecamientos superficiales del suelo dificultan el crecimiento radicular activo y la presencia del fósforo en solución, limitando la absorción de fósforo por la planta.

Las consideraciones realizadas sobre las distintas opciones pueden tener variaciones al cambiar el tipo de suelo y por lo tanto alguno de los parámetros de la dinámica del fósforo. Por ejemplo, en el Grupo III de Suelos (Figura 2) la Tasa de Descenso aumenta a 0,50, cobrando entonces más importancia el fraccionamiento de la dosis de fósforo a usar.



Por último en la Figura 3, se muestra la evolución del fósforo "disponible" para distintas políticas de fertilización en el Grupo I de Suelos.



#### b. Situación Estable.

La estrategia de fertilización sería diferente en el caso de tener tapices estables con respuesta a la fertilización (ejemplo Campo Natural con leguminosas). En esta situación sería lógica la política de pequeñas y continuas dosis anuales de fósforo a los efectos de lograr y mantener cierto nivel de fósforo disponible que se considere óptimo.

También debemos decir que en el comportamiento de las pasturas convencionales hay casos que se apartan de la tendencia general, manteniendo cierta estabilidad y persistencia de especies a través de los años. Aquí también se justificaría el mantenimiento por refertilizaciones de un cierto nivel de disponibilidad de fósforo.

# GUIA PARA FERTILIZACION DE PASTURAS.

JOSE L. CASTRO

ELSA M. de ZAMUZ

NELSON OUDRI

## INTRODUCCION

La necesidad de sistematizar los resultados experimentales de fertilización de pasturas nos ha llevado a la preparación de esta guía. Con ella pretendemos dar a los técnicos que tienen la responsabilidad de orientar a los productores una herramienta que les permita ordenar sus conocimientos y observaciones, uniformizando criterios en distintas condiciones de suelo y manejo.

La decisión más importante en cuanto a la fertilización de pasturas es la fijación del nivel de fósforo disponible que se desea alcanzar. Los resultados experimentales nos indican que existe un nivel mínimo de fósforo disponible, por debajo del cual se corre riesgo de perder las especies implantadas, y un nivel máximo por encima del cual no se consiguen respuestas al agregado de fertilizantes. Entre estos límites, el técnico tiene un rango amplio dentro del cual tomar decisiones. Los criterios que manejará para tomarlas serán, entre otros, relación entre precios del fertilizante y precio del producto a obtener con la pastura, importancia de la pastura dentro del conjunto de la explotación del predio, posibilidades económicas del productor, composición botánica de la pastura, etc.

## II. NUTRIENTES NECESARIOS PARA LAS PASTURAS.

**a. Fósforo.** Es de conocimiento general que prácticamente todos los suelos del Uruguay son deficientes en fósforo y que esta deficiencia es, además, muy pronunciada. Desde el punto de vista de la fertilidad, el fósforo es el principal factor limitante en todos los suelos del país. Es posible establecer praderas de alta productividad en todos los suelos arables, agregando fósforo como único nutriente. Por otra parte, el fósforo está también limitando los rendimientos de las praderas naturales, ya que en todos los ensayos de fertilización de campos naturales con suficientes leguminosas, se han constatado importantes aumentos de rendimiento con el agregado de este nutriente.

**b. Nitrógeno.** En ciertos períodos críticos, tanto invernales como estivales, en los cuales es necesario producir abundante forraje y permitir un alivio al pastoreo permanente de praderas con gramíneas y leguminosas, puede recurrirse a la siembra de gramíneas puras, anuales (raigrás, avena, sorgo) o perennes (festuca, falaris). En estos casos se deberá fertilizar con fósforo y nitrógeno. El nivel mínimo de fósforo dado en esta guía es suficiente para estas pasturas.

Las dosis de nitrógeno a aplicar varían con la cantidad de forraje que se desee producir, ya que la respuesta es lineal hasta dosis muy elevadas de nitrógeno. En la práctica podrían variar entre 20 y 100 unidades de nitrógeno por aplicación.

**c. Otros nutrientes.** Si bien ha sido confirmada la existencia de deficiencias en algunos nutrientes en nuestras pasturas naturales y convencionales, éstas no han sido muy agudas. La aplicación en ensayos de un testigo completo con todos los elementos ha permitido establecer una diferencia en los rendimientos de hasta un 15% entre éste y los tratamientos en que sólo se ha aplicado fósforo. En general, las deficiencias aparecen en áreas pequeñas y en el tercer o cuarto año de implantación de la pradera. En virtud de la escasa entidad y tardía aparición, así como de la necesidad de reunir más información en este aspecto antes de efectuar recomendaciones, no se incluye en esta guía la corrección de estas deficiencias.

### III. BASE EXPERIMENTAL.

En la determinación de los índices a utilizar se tuvo en cuenta la información presentada en el Boletín Técnico sobre "Fertilización de Pasturas en el Litoral Oeste" (próximo a publicarse), los resultados de los ensayos sobre efecto residual de fósforo en el suelo, realizados en el Proyecto Suelos, y toda la información sobre fertilización de pasturas obtenida en el Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger".\*

Esto configura una gran masa de información, parte de la cual está aún en proceso de elaboración, y que sin duda permitirá en el futuro ajustar los índices aquí propuestos. Son pues estimaciones primarias, sujetas a revisión. Consideramos importante que los técnicos que comiencen a utilizar este esquema de recomendación realicen observaciones lo más objetivas y cuantitativas posibles, de los resultados obtenidos en su aplicación.

Los Cuadros y Tablas incluidos en esta guía se basan en las siguientes relaciones establecidas con los datos experimentales estudiados:

1. Niveles relativamente bajos de fósforo permiten una buena implantación y persistencia de las leguminosas. Existe un máximo de fósforo disponible en el suelo por encima del cual no se obtiene respuesta a la fertilización. Esto nos permite definir los niveles mínimo y máximo de fósforo disponible.
 

Nivel mínimo es el menor nivel que permite una buena implantación y supervivencia de las leguminosas.

Nivel máximo es el que permite obtener un 90% del rendimiento máximo expresado en materia seca.
2. Existe una relación lineal entre fósforo disponible y fósforo agregado, lo que nos permite calcular la cantidad de fósforo a agregar para pasar de un nivel dado al nivel que se desee obtener. La pendiente de la línea de regresión que expresa esta relación permite definir el equivalente fertilizante como la cantidad de unidades de  $P_2O_5$  que es necesario agregar por hectárea de suelo en el momento en que se aplica el fertilizante (año 0) para elevar el fósforo disponible en una parte por millón (1 ppm P). Este valor varía para los diferentes suelos, dependiendo de su textura y pH y para las diferentes fuentes (Cuadro 2).
3. El valor de análisis de fósforo en el suelo desciende con el tiempo desde su aplicación. La tasa de descenso anual de fósforo disponible ha sido estudiada por fuente para varios tipos de suelo. Este estudio permitió reunirlos en dos grandes grupos: el primero, que incluye la mayor parte de los suelos del país, presenta una tasa de descenso relativamente baja, con valores promedio de 0,28 y 0,22 según el tipo de fertilizante utilizado, y el segundo, que agrupa suelos ácidos con alto poder de inmovilización de fósforo para los que se determina una tasa de descenso de 0,50/0,40, según la fuente considerada.

Utilizando la relación que existe entre fósforo agregado y fósforo disponible y las tasas de descenso de fósforo disponible en el suelo, se calcularon las Tablas que se presentan en esta guía.

\* Ings. Agrs. H.E. Alburquerque; G.R. De Lucía; J.M. Pérez Sanabria; C. Mas; J.C. Vidiella; M. Allegri; M. Arocena; R. Symonds; D. Riso; E. Castro; M. Novella; C.D. Bautes; S.E. Barboza; A.S. Bozzano; A. Gutierrez; J. Scabino; etc..

Con estas Tablas es posible calcular:

1. Cantidad de fertilizante a agregar de acuerdo con un valor de análisis dado para obtener un nivel preestablecido de fósforo disponible en el suelo.
2. Estimar el fósforo disponible en el suelo a partir de la historia de fertilización de la chacra o potrero.
3. Estimar las dosis de mantenimiento para el nivel de fósforo que se desee.

El uso de estas Tablas se ha validado con suelos de historia conocida, comparando los valores de fósforo disponible calculado por estas Tablas y los valores reales obtenidos por análisis. Cuando los valores comparados provenían de parcelas experimentales pequeñas, con historia bien conocida y muy buenos muestreos, la concordancia fue excelente. En cambio, cuando la comparación se hizo con chacras grandes de productores, con muestreos e historia no muy confiable, aparecieron en algunos casos diferencias importantes. No obstante, el grado de ajuste entre los valores calculados y observados fue aceptable, no sólo en los suelos bajo pasturas sino también en suelos agrícolas.

Se considera que las causas más importantes de las discrepancias entre valores calculados y observados son:

1. Profundidad de arada cuando con anterioridad al muestreo el suelo fue arado a una profundidad mayor a la de la toma de muestras ( 15 cm ).
2. Variabilidad en la profundidad de la toma de muestra, sobre todo en suelos fertilizados en cobertura en los que el fósforo agregado se acumula en sus primeros centímetros.
3. Errores de muestreo que, como es bien conocido, es la mayor limitante para el uso de análisis de suelo en los sistemas de recomendación.
4. Desuniformidad en la distribución del fertilizante, por ejemplo, en las aplicaciones en banda, fallas en el sistema de distribución, fertilizante húmedo, etc.
5. Historia de fertilización dudosa.
6. Tiempo transcurrido desde la aplicación del fertilizante. Las tasas de descenso del valor de análisis utilizadas en los cálculos son anuales y muchas veces los períodos desde la aplicación del fertilizante a la toma de muestra son fracciones de año.

En el Cuadro 1 se presentan los niveles mínimos y máximos para los distintos suelos del país. Los valores están expresados en fósforo disponible por el método de resinas La Estanzuela. Esto permite utilizar un solo valor para los dos tipos de fertilizante. Si se empleara el método Bray P-I habría que establecer niveles distintos para superfosfato, fosforitas o harina de hueso, lo que llevaría a confusiones cuando se hubieran utilizado en el mismo potrero ambas fuentes o no se conociera su historia anterior.

Cuadro 1: Niveles mínimo y máximo de fósforo disponible para los distintos suelos.

	Nivel mínimo	Nivel máximo
<p><b>GRUPO I:</b> Suelos pesados pH en general superior a 5,7</p> <p><u>Praderas negras y grumosoles sobre</u> —————</p> <p>Se incluyen también en este grupo las praderas pardas sobre Libertad* y los suelos superficiales sobre Basalto.</p>	10	20
<p>Libertad*</p> <p>Fray Bentos*</p> <p>Basalto</p> <p>Areniscas cretáceas arcillosas *</p> <p>Yaguari</p> <p>Fraile Muerto</p> <p>Limos arcillosos</p> <p>Calizas de Queguay*</p>		

		Nivel mínimo	Nivel máximo
<b>GRUPO II: Suelos de textura media pH entre 5,5 a 6</b>			
<u>Praderas pardas, sobre</u> Se incluyen también litosoles sobre Cristalino y Fray Bentos y suelos livianos sobre Cretáceo en el Sur.		1 5	3 0
	Cristalino Fray Bentos* Paso Aguiar Limos arcillosos Fraile Muerto		

**GRUPO III: Suelos de textura liviana pH menor a 5,6.**

Praderas arenosas , planosoles y praderas pardas máximas

sobre		1 2	2 5
	Tacuarembó Devónico San Gregorio Tres Islas Cretáceo Yaguari Fraile Muerto		

\* No se recomienda el uso de fosforitas en estos suelos.

**Cuadro 2: Equivalentes fertilizante.**

	Equivalente fertilizante	
	Superfosfato	Fosforitas
Grupo I	1 0	1 2
Grupo II	5	7
Grupo III	7	9

**Cuadro 3: Tasas de descenso de fósforo disponible.**

Grupo de Suelo	Tasa de descenso de fósforo disponible	
	Superfosfato	Fosforitas
I y II	0, 2 8	0, 2 2
III	0, 5 0	0, 4 0

Se presentan tres tipos de Tablas:

**Tablas A:** son básicas, ya que permiten calcular el fertilizante necesario para obtener un nivel establecido de fósforo disponible a partir de un valor actual de fósforo en el suelo.

**Tablas B, C y D:** son auxiliares, ya que permiten calcular el nivel actual de fósforo disponible a partir de la historia del potrero. La Tabla D, en la que aparecen los testigos standard, está basada en los promedios de un número más o menos grande de datos en los distintos suelos. Estos promedios pertenecen a poblaciones en algunos casos muy variables con coeficientes de variación de hasta el 50%. Por tanto, deberán utilizarse con precaución, aunque en la práctica un error en este valor no repercute demasiado en la dosis recomendada.

Los siguientes ejemplos ilustran el manejo de las Tablas:

**Ejemplo No. 1:** Suelo: pradera parda sobre Libertad.

Valor de análisis (por el método de resinas La Estanzuela) en la muestra analizada en 1976: 6 ppm P.

Nivel a alcanzar (determinado por el técnico y el productor): 15 ppm P.

El suelo pertenece al Grupo I (Cuadro 1). Entramos entonces en la Tabla A-1 con el valor de análisis (6) y el nivel a alcanzar (15) y encontramos que deberán agregarse 387 kg de fertilizante.

**Ejemplo No. 2:** Suelo: pradera parda sobre Cristalino.

Valor de análisis efectuado en 1972 (año 0): 20 ppm P.

Nivel a alcanzar (determinado por el técnico y el productor): 20 ppm P.

El suelo pertenece al Grupo II (Cuadro 1). No tenemos el valor de análisis actual (1976) pero disponemos de la historia anterior de la pradera, que nos dice que había recibido fertilizaciones con hiperfosfato en diferentes oportunidades, pero no posteriormente al año 1972; entramos en la Tabla C-1 por 20 ppm P para el año 0, en la parte correspondiente a las fosforitas. En el lugar que corresponde al año 4 encontramos el valor actual de fósforo disponible, 7.4 ppm. Con este valor entramos en la Tabla A-2 y procedemos como en el ejemplo número 1, para 7.4 y 20 y encontramos que debemos agregar entre 276 y 299 kilogramos de fertilizante.

**Ejemplo No. 3:** Suelo: planosol de la Zona Este.

Valor de análisis en 1972: 11 ppm P.

Nivel a alcanzar (determinado por el técnico y el productor): 20 ppm.

Posteriormente al análisis se agregaron 200 kg de fosforita en 1972 y otros 200 kg en 1974.

El suelo pertenece al Grupo II (Cuadro 1). El nivel de fósforo disponible estará formado por la suma de: a) el fósforo residual de las fertilizaciones anteriores a 1972 que se encuentra en la Tabla C-1, entrando con 11 para el año 0 es 3 en el año 4 (1976) b) el fósforo residual de la fertilización aplicada en 1972 (200 kg) año 0 que se encuentra en la Tabla B-2 y es 3.2 para el año 4 (1976) y c) fósforo residual de la fertilización 1974 (año 0) que según la misma Tabla es 5.3 para el año 2 (1976). El total de fósforo disponible en 1976 es 11.5 ppm. Con este valor y el del nivel al cual se quiere llegar (20), vamos a la Tabla A-2 y encontramos que se deberán agregar entre 184 y 207 kilogramos de fertilizante.

**Ejemplo No. 4:** Suelo: pradera negra sobre Fray Bentos.

Valor de análisis : no existe ningún dato.

Nivel a alcanzar (determinado por el técnico y el productor): 20 ppm.

Se conoce la fertilización anterior, que ha sido la siguiente:

1972 - 400 kilogramos de superfosfato

1973 - 100 kilogramos de superfosfato

1975 - 200 kilogramos de superfosfato

El suelo pertenece, en este caso, al Grupo I. El nivel de fósforo disponible estará formado por la suma de:

- a. El fósforo residual de la fertilización de 1972 que se encuentra en la Tabla B-1, entrando con 400 kg de superfosfato considerando a 1972 como año 0, es 2,5 ppm en 1976 (año 4).
- b. El fósforo residual de la fertilización de 1973 que se encuentra en la misma Tabla B-1 entrando con 100 kg considerando a 1973 como año 0, es 0,8 ppm en 1976 (año 3).
- c. El fósforo residual de la fertilización de 1975 que se encuentra en la misma Tabla B-1 entrando con 200 kg de superfosfato considerando a 1975 como año 0, es 3,3 ppm en 1976 (año 1).

El total de fósforo disponible en 1976 es 6,6 al cual debemos agregar el valor del testigo standard que encontramos en la Tabla D y es, en nuestro caso, 9,0 ppm. Con este valor, 15,6 entramos en la Tabla A-1 y encontramos que se deberán agregar entre 172 y 215 kg de fertilizante.





**GRUPO II.**

**TABLA A - 2**

Kilogramos de Fertilizante (Super o Fosforita) a agregar para alcanzar el Nivel de Fósforo disponible deseado, de acuerdo con el Nivel Actual obtenido por Análisis de Suelo o Cálculo.

Nivel actual (ppm P)	Nivel a alcanzar ppm P															
	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
1	667	644	621	598	575	552	529	506	483	460	437	414	391	368	345	322
2	644	621	598	575	552	529	506	483	460	437	414	391	368	345	322	299
3	621	598	575	552	529	506	483	460	437	414	391	368	345	322	299	276
4	598	575	552	529	506	483	460	437	414	391	368	345	322	299	276	253
5	575	552	529	506	483	460	437	414	391	368	345	322	299	276	253	230
6	552	529	506	483	460	437	414	391	368	345	322	299	276	253	230	207
7	529	506	483	460	437	414	391	368	345	322	299	276	253	230	207	184
8	506	483	460	437	414	391	368	345	322	299	276	253	230	207	184	161
9	483	460	437	414	391	368	345	322	299	276	253	230	207	184	161	138
10	460	437	414	391	368	345	322	299	276	253	230	207	184	161	138	115
11	437	414	391	368	345	322	299	276	253	230	207	184	161	138	115	92
12	414	391	368	345	322	299	276	253	230	207	184	161	138	115	92	69
13	391	368	345	322	299	276	253	230	207	184	161	138	115	92	69	46
14	368	345	322	299	276	253	230	207	184	161	138	115	92	69	46	23
15	345	322	299	276	253	230	207	184	161	138	115	92	69	46	23	
16	322	299	276	253	230	207	184	161	138	115	92	69	46	23		
17	299	276	253	230	207	184	161	138	115	92	69	46	23			
18	276	253	230	207	184	161	138	115	92	69	46	23				
19	253	230	207	184	161	138	115	92	69	46	23					
20	230	207	184	161	138	115	92	69	46	23						

**GRUPO III.**

**TABLA A - 3**

Kilogramos de Fertilizante (Super o Fosforita) a agregar para alcanzar el nivel de Fósforo disponible deseado, de acuerdo con el Nivel Actual obtenido por Análisis de Suelo o Cálculo.

Nivel actual (ppm P)	Nivel a alcanzar ppm P													
	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12
1	720	690	660	630	600	570	540	510	480	450	420	390	360	330
2	690	660	630	600	570	540	510	480	450	420	390	360	330	300
3	660	630	600	570	540	510	480	450	420	390	360	330	300	270
4	630	600	570	540	510	480	450	420	390	360	330	300	270	240
5	600	570	540	510	480	450	420	390	360	330	300	270	240	210
6	570	540	510	480	450	420	390	360	330	300	270	240	210	180
7	540	510	480	450	420	390	360	330	300	270	240	210	180	150
8	510	480	450	420	390	360	330	300	270	240	210	180	150	120
9	480	450	420	390	360	330	300	270	240	210	180	150	120	90
10	450	420	390	360	330	300	270	240	210	180	150	120	90	60
11	420	390	360	330	300	270	240	210	180	150	120	90	60	30
12	390	360	330	300	270	240	210	180	150	120	90	60	30	
13	360	330	300	270	240	210	180	150	120	90	60	30		
14	330	300	270	240	210	180	150	120	90	60	30			
15	300	270	240	210	180	150	120	90	60	30				
16	270	240	210	180	150	120	90	60	30					
17	240	210	180	150	120	90	60	30						
18	210	180	150	120	90	60	30							
19	180	150	120	90	60	30								
20	150	120	90	60	30									

TABLA B - 1

## GRUPO I.

## SUELOS PESADOS \*

Fósforo disponible proveniente de:

## Superfosfato

Equiv. super - 10  
Tasa de innov. - 0,28

## Fosforita

Equiv. fosforita - 12  
Tasa de innov. - 0,22

kg de superfosfato aplicados en el año 0	Años desde la fertilización					kg de fosforita aplicados en el año 0	Años desde la fertilización				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
50	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	50	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
75	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3	75	1,5	1,2	0,9	0,7	0,6
100	1,6	1,2	0,8	0,6	0,4	100	2,0	1,5	1,2	0,9	0,7
125	2,1	1,5	1,1	0,8	0,6	125	2,5	1,9	1,5	1,2	0,9
150	2,5	1,8	1,3	0,9	0,7	150	3,0	2,3	1,8	1,4	1,1
175	2,9	2,1	1,5	1,1	0,8	175	3,5	2,7	2,1	1,6	1,3
200	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9	200	4,0	3,1	2,4	1,9	1,5
225	3,7	2,7	1,9	1,4	1,0	225	4,5	3,5	2,7	2,1	1,6
250	4,1	3,0	2,1	1,5	1,1	250	5,0	3,9	3,0	2,4	1,8
275	4,6	3,3	2,4	1,7	1,2	275	5,4	4,2	3,3	2,6	2,0
300	5,0	3,6	2,6	1,8	1,3	300	6,0	4,6	3,6	2,8	2,2
350	5,8	4,2	3,0	2,2	1,6	350	6,9	5,4	4,2	3,3	2,6
400	6,6	4,8	3,4	2,5	1,8	400	7,9	6,2	4,8	3,8	2,9
450	7,4	5,4	3,9	2,8	2,0	450	8,9	7,0	5,4	4,2	3,3
500	8,3	6,0	4,3	3,1	2,2	500	9,9	7,7	6,0	4,7	3,8
600	9,9	7,2	5,1	3,7	2,7	600	11,9	9,3	7,2	5,6	4,4
700	11,6	8,3	6,0	4,3	3,1	700	13,9	10,8	8,4	6,6	5,1
800	13,2	9,5	6,9	4,9	3,6	800	15,9	12,4	9,7	7,5	5,9
900	14,9	10,7	7,7	5,6	4,0	900	17,9	13,9	10,9	8,5	6,6
1000	16,6	11,9	8,6	6,2	4,4	1000	19,8	15,5	12,1	9,4	7,3

\* a los valores encontrados debe sumarse el testigo standard por tipo de suelo o el dato de la Tabla C - 1.

**GRUPO II.**

TABLA B - 2

**SUELOS MEDIOS \* Y SUELOS LIVIANOS SOBRE CRETACEO SUR**

Fósforo disponible proveniente de:

Superfosfato

Fosforita

Equiv. super - 5  
Tasa de inmov. - 0,28

Equiv. fosforita - 7  
Tasa de inmov. - 0,22

kg de superfosfato aplicados en el año 0	Años desde la fertilización					kg de fosforita aplicados en el año 0	Años desde la fertilización				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
50	1,6	1,2	0,8	0,6	0,4	50	1,7	1,3	1,0	0,8	0,6
75	2,5	1,8	1,3	0,9	0,7	75	2,5	2,0	1,6	1,2	0,9
100	3,3	2,4	1,7	1,2	0,9	100	3,4	2,6	2,1	1,6	1,2
125	4,1	3,0	2,1	1,5	1,1	125	4,2	3,3	2,6	2,0	1,6
150	5,0	3,6	2,6	1,8	1,3	150	5,1	4,0	3,1	2,4	1,9
175	5,8	4,2	3,0	2,2	1,6	175	5,9	4,6	3,6	2,8	2,2
200	6,6	4,8	3,4	2,5	1,8	200	6,8	5,3	4,1	3,2	2,5
225	7,5	5,4	3,9	2,8	2,0	225	7,6	6,0	4,7	3,6	2,8
250	8,3	6,0	4,3	3,1	2,2	250	8,5	6,6	5,2	4,0	3,1
275	9,1	6,6	4,7	3,4	2,4	275	9,3	7,3	5,7	4,4	3,4
300	10,0	7,2	5,2	3,7	2,7	300	10,2	8,0	6,2	4,8	3,8
350	11,6	8,4	6,0	4,3	3,1	350	11,9	9,3	7,2	5,6	4,4
400	13,3	9,6	6,9	5,0	3,6	400	13,6	10,6	8,3	6,4	5,0
450	14,9	10,8	7,7	5,6	4,0	450	15,3	11,9	9,3	7,3	5,7
500	16,6	11,9	8,6	6,2	4,4	500	17,0	13,2	10,3	8,1	6,3
600	19,9	14,3	10,3	7,4	5,4	600	20,4	15,9	12,4	9,7	7,5
700	23,2	16,7	12,0	8,7	6,2	700	23,8	18,6	14,5	11,3	8,8
800	26,5	19,1	13,8	9,9	7,1	800	27,2	21,2	16,5	12,9	10,1
900	29,9	21,5	15,5	11,1	8,0	900	30,6	23,8	18,6	14,5	11,3
1000	33,2	23,9	17,2	12,4	8,9	1000	34,0	26,5	20,7	16,1	12,6

\* a los valores encontrados debe sumarse el testigo standard por tipo de suelo o el dato de la Tabla C - 1.

**GRUPO III.**  
**SUELOS LIVIANOS \* Y PRADERAS PARDAS MAXIMAS Y PLANOSOLES SOBRE YAGUARI Y FRAILE MUERTO.**  
**TABLA B - 3**

Fósforo disponible proveniente de:		Superfosfato					Fosforita				
Fósforo disponible proveniente de:		Equiv. super - 7		Equiv. fosforita - 9			Tasa de inmov. - 0,50		Tasa de inmov. - 0,40		
kg de superfosfato aplicado en el año 0	kg de fosforita aplicado en el año 0	Años desde la fertilización					Años desde la fertilización				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50	50	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	1,0	0,6	0,4	0,2	0,1
75	75	1,2	0,6	0,3	0,2	0,07	1,5	0,9	0,5	0,3	0,2
100	100	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	2,0	1,2	0,7	0,4	0,3
125	125	2,0	1,0	0,5	0,3	0,1	2,5	1,5	0,9	0,5	0,3
150	150	2,5	1,2	0,6	0,3	0,2	3,0	1,8	1,1	0,7	0,4
175	175	2,9	1,4	0,7	0,4	0,2	3,6	2,1	1,3	0,8	0,5
200	200	3,3	1,6	0,8	0,4	0,2	4,1	2,4	1,5	0,9	0,5
225	225	3,7	1,9	0,9	0,5	0,2	4,6	2,7	1,6	1,0	0,6
250	250	4,1	2,0	1,0	0,5	0,3	5,1	3,0	1,8	1,1	0,7
275	275	4,5	2,3	1,1	0,6	0,3	5,6	3,4	2,0	1,2	0,7
300	300	4,9	2,5	1,2	0,6	0,3	6,1	3,7	2,2	1,3	0,8
350	350	5,8	2,9	1,4	0,7	0,4	7,1	4,3	2,6	1,5	0,9
400	400	6,6	3,3	1,6	0,8	0,4	8,1	4,9	2,9	1,8	1,0
450	450	7,4	3,7	1,8	0,9	0,5	9,2	5,5	3,3	2,0	1,2
500	500	8,2	4,1	2,0	1,0	0,5	10,2	6,1	3,7	2,2	1,3
600	600	9,9	4,9	2,5	1,2	0,6	12,2	7,3	4,4	2,6	1,6
700	700	11,5	5,8	2,9	1,4	0,7	14,2	8,5	5,1	3,1	1,8
800	800	13,2	6,6	3,3	1,6	0,8	16,3	9,8	5,8	3,5	2,1
900	900	14,8	7,4	3,7	1,9	0,9	18,3	11,0	6,6	4,0	2,4
1000	1000	16,4	8,2	4,1	2,0	1,0	20,3	12,2	7,3	4,4	2,6

\* a los valores encontrados debe sumarse el testigo standard por tipo de suelo o el dato de la Tabla C - 2.

**GRUPOS I Y II \***

**TABLA C - 1**

Fósforo Disponible en el Suelo en años sucesivos a partir de un Valor Inicial (Año 0).

Superfosfato		Tasa de innov. - 0,28					Tasa de innov. - 0,22					
		Fosforitas										
ppm P	año	Años desde el dato de análisis					ppm P	Años desde el dato de análisis				
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
10	7,2	5,2	3,7	2,7	2,7	1,9	10	7,8	6,1	4,7	3,7	2,9
11	7,9	5,7	4,1	3,0	2,1	2,1	11	8,6	6,7	5,2	4,1	3,2
12	8,6	6,2	4,5	3,2	2,3	2,3	12	9,4	7,3	5,7	4,4	3,5
13	9,4	6,7	4,8	3,5	2,5	2,5	13	10,1	7,9	6,2	4,8	3,8
14	10,1	7,3	5,2	3,8	2,7	2,7	14	10,9	8,5	6,6	5,2	4,0
15	10,8	7,8	5,6	4,0	2,9	2,9	15	11,7	9,1	7,1	5,6	4,3
16	11,5	8,3	6,0	4,3	3,1	3,1	16	12,5	9,7	7,6	5,9	4,6
17	12,2	8,8	6,3	4,6	3,3	3,3	17	13,3	10,3	8,1	6,3	4,9
18	13,0	9,3	6,7	4,8	3,5	3,5	18	14,0	11,0	8,5	6,7	5,2
19	13,7	9,8	7,1	5,1	3,7	3,7	19	14,8	11,6	9,0	7,0	5,5
20	14,4	10,4	7,5	5,4	3,9	3,9	20	15,6	12,2	9,5	7,4	5,8
21	15,1	10,9	7,8	5,6	4,1	4,1	21	16,4	12,8	10,0	7,8	6,1
22	15,8	11,4	8,2	5,9	4,3	4,3	22	17,2	13,4	10,4	8,1	6,4
23	16,6	11,9	8,6	6,2	4,5	4,5	23	17,9	14,0	10,9	8,5	6,6
24	17,3	12,4	9,0	6,4	4,6	4,6	24	18,7	14,6	11,4	8,9	6,9
25	18,0	13,0	9,4	6,7	4,9	4,9	25	19,5	15,2	11,9	9,3	7,2
26	18,7	13,5	9,7	7,0	5,0	5,0	26	20,3	15,8	12,3	9,6	7,5
27	19,4	14,0	10,1	7,2	5,2	5,2	27	21,1	16,4	12,8	10,0	7,8
28	20,2	14,5	10,4	7,5	5,4	5,4	28	21,8	17,0	13,3	10,4	8,1
29	20,9	15,0	10,8	7,8	5,6	5,6	29	22,6	17,6	13,8	10,7	8,4
30	21,6	15,6	11,2	8,1	5,8	5,8	30	23,4	18,2	14,2	11,1	8,7

\* También se utiliza esta Tabla para Suelos Livianos sobre Cretáceo Sur.

**GRUPO III. \***

**TABLA C-2**

Fósforo Disponible en el suelo en años sucesivos a partir de un Valor Inicial (Año 0).

Superfosfato		Fosforitas									
Tasa de inmov. - 0,50		Tasa de inmov. - 0,40									
ppm P disponible año 0	Años desde la fertilización	ppm P disponible					Años desde la fertilización				
		1	2	3	4	5	año 0	1	2	3	4
12	6,0	3,0	1,5	0,8	0,4	12	7,2	4,3	2,6	1,6	0,9
13	6,5	3,2	1,6	0,8	0,4	13	7,8	4,7	2,8	1,7	1,0
14	7,0	3,5	1,8	0,9	0,4	14	8,4	5,0	3,0	1,8	1,1
15	7,5	3,8	1,9	0,9	0,5	15	9,0	5,4	3,2	1,9	1,2
16	8,0	4,0	2,0	1,0	0,5	16	9,6	5,8	3,4	2,1	1,2
17	8,5	4,2	2,1	1,1	0,5	17	10,2	6,1	3,7	2,2	1,3
18	9,0	4,5	2,2	1,1	0,6	18	10,8	6,5	3,9	2,3	1,4
19	9,5	4,8	2,4	1,2	0,6	19	11,4	6,8	4,1	2,5	1,5
20	10,0	5,0	2,5	1,2	0,6	20	12,0	7,2	4,3	2,6	1,6
21	10,5	5,2	2,6	1,3	0,6	21	12,6	7,6	4,5	2,7	1,6
22	11,0	5,5	2,8	1,4	0,7	22	13,2	7,9	4,8	2,8	1,7
23	11,5	5,6	2,9	1,4	0,7	23	13,8	8,3	5,0	3,0	1,8
24	12,0	6,0	3,0	1,5	0,8	24	14,4	8,6	5,2	3,1	1,9
25	12,5	6,2	3,1	1,6	0,8	25	15,0	9,0	5,4	3,2	1,9

\* También se utiliza esta Tabla para suelos de pradera parda y planosoles sobre Yaguarf, Fraile Muerto, San Gregorio y Tres Islas.

TABLA D.

Fósforo Disponible (Resinas) en los distintos tipos de Suelo cuando no han recibido Fertilización.

<u>PRADERAS NEGRAS:</u>	Cristalino	4,8
	Libertad	7,0
	Fray Bentos	9,0
	Basalto	6,0
	Areniscas Cretáceas arcillosas	8,0
	Yaguari	5,0
	Fraile Muerto	7,0
	Limos arcillosos	7,5
	Calizas del Quequay	7,0
<u>GRUMOSOLES :</u>	Cristalino	5,9
	Libertad	7,0
	Basalto	7,0
	Areniscas Cretáceas arcillosas	8,5
	Yaguari	5,0
	Fraile Muerto	5,0
	Limos arcillosos	5,9
	Calizas del Quequay	9,0
	<u>PRADERAS PARDAS:</u>	Cristalino
Libertad		4,0
Fray Bentos		7,0
Paso Aguiar		2,0
Yaguari		5,0
Limos arcillosos		3,5
Fraile Muerto		3,0
<u>PLANOSOLES:</u>	Libertad	3,0
	Limos arcillosos	1,0
<u>LITOSOLES - REGOSOLES:</u>	Cristalino	1,2
	Fray Bentos	7,0
	Basalto Negro	7,0
	Basalto Rojo	3,0
<u>PRADERAS ARENOSAS :</u>	Tacuarembó	2,9
	Devónico	2,0
	San Gregorio	1,5
	Tres Islas	1,5
	Cretáceo	1,5
	Yaguari	2,9