

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

EFFECTO DE LA FERTILIZACION FOSFATADA
Y DE LA FUENTE DE FOSFORO EN UNA
PASTURA CONVENCIONAL SOBRE UN VERTISOL.
(TERCER Y CUARTO AÑO)

Por

FERNANDO ALIALL SILVA
ALEJANDRO DUQUE VILLALBA

Tesis presentada como uno de
los requisitos para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo.
(Orientación Agrícola-Ganadera).

Montevideo
URUGUAY
1985

Tesis aprobada por:

Director:

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Nombre completo y firma

Fecha:

Autor:

ALIAK SILVA, FERNANDO *Fernando Aliak Silva*
Nombre completo y firma

DUQUE VILLALBA, ALEJANDRO *A. Duque*
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

- * A los Ings. Agrs. Antonio Mallarino Ms.C. e Ing. Agr. Omar Casanova por su dirección, sugerencias y aportes fundamentales presentes a lo largo de todo el trabajo.
- * Al Ing. Agr. Armando Rabuffetti, Ph.D., por su invaluable colaboración en la culminación de esta tesis.
- * Al Ing. Agr. Aurora Cerveñansky por su especial colaboración en el procesamiento de los datos del 3er año.
- * Al personal de la Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Ing. Agr. Martín Bordoli, Sr. Héctor Pintos y Sr. Daniel Arana por su eficaz y amistosa ayuda en el trabajo de campo; a la Sra. Leticia Martínez y al Ing. Agr. Carlos Moltini por su auxilio en la labor de laboratorio.
- * Al personal de biblioteca, en especial a los Bibliotecólogos Nilda García y Enrique Coronel.
- * También agradecemos a los Ings. Agrs. José P. Zamalvide, Tabaré Abadie, Roberto Díaz e idóneos del Laboratorio de Caracterización de Suelos del M.A.P. y a todos aquellos que de una u otra forma hicieron que este trabajo llegara a feliz término.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XVII
1. <u>INTRODUCCION</u>	
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1. EL FOSFORO EN EL SUELO	3
2.1.1. <u>Introducción</u>	3
2.1.2. <u>Formas de P en los suelos</u>	3
2.1.2.1. P en la solución del suelo	3
2.1.2.2. P en la fase sólida del suelo	5
2.1.3. <u>Dinámica del P en los suelos</u>	6
2.1.3.1. Reacciones del P en el suelo	9
2.1.3.1.1. Precipitación de fosfato dicálcico	10
2.1.3.1.2. Precipitación en la superficie de CaCO ₃	11
2.1.3.1.3. Puentes de Ca.	11
2.2. FORMAS O TIPOS DE FOSFORITAS	13
2.2.1. <u>Introducción</u>	13
2.2.2. <u>Evaluación de las rocas fosfatadas que de-</u> <u>terminan su potencialidad de uso</u>	14
2.2.2.1. Mineralogía de los fosfatos	14
2.2.2.1.1. Fosfatos de Fe y Al	14
2.2.2.1.2. Fosfatos de Ca, Fe y Al	15
2.2.2.1.3. Fosfatos de Ca	15
2.2.2.2. Minerales accesorios	16
2.2.2.2.1. Sílice	17
2.2.2.2.2. Silicatos	17

2.2.2.2.3. Carbonatos	18
2.2.2.2.4. Oxidos e hidróxidos de Fe y Al	18
2.2.2.3. Textura de los fosfatos de roca	19
2.2.2.4. Métodos de caracterización	19
2.2.3. <u>Descripción de los principales depósitos de fosforitas para uso directo</u>	20
2.2.3.1. Rocas ígneas	20
2.2.3.2. Rocas metamórficas	21
2.2.3.3. Rocas sedimentarias	22
2.3. EFICIENCIA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS	36
2.3.1. <u>Formas de medir la eficiencia</u>	36
2.3.2. <u>Factores que afectan la eficiencia relativa</u>	36
2.3.2.1. Características del suelo	37
2.3.2.1.1. pH	37
2.3.2.1.2. Actividad del ión Ca^{+2} y presencia del CaCO_3 libre	38
2.3.2.2. Propiedades del material fertilizante	39
2.3.2.2.1. Granulación	39
2.3.2.2.2. Origen de la roca fosfatada	40
2.3.2.3. Tipo de cultivo	40
2.3.2.4. Forma y época de aplicación	43
2.3.3. <u>Resultados experimentales</u>	44
2.4. EVOLUCION DE LA COMPOSICION BOTANICA	52
2.4.1. <u>Relación del P con la evolución de una pastura</u>	52
2.4.2. <u>Resultados experimentales</u>	54
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	59
3.1. <u>GENERALIDADES</u>	59
3.1.1. <u>Ubicación del ensayo</u>	59
3.1.2. <u>Tratamientos y diseño experimental</u>	59

3.1.3.	<u>Formas de evaluación</u>	61
3.1.4.	<u>Período de evaluación</u>	61
3.2.	TRABAJOS DE CAMPO	62
3.2.1.	<u>Muestreo de suelos</u>	62
3.2.2.	<u>Refertilizaciones</u>	62
3.2.3.	<u>Cosecha y muestreo del forraje producido</u>	62
3.3.	ANÁLISIS DE LABORATORIO	62
3.3.1.	<u>Análisis de suelo</u>	62
3.3.2.	<u>Análisis de forraje</u>	62
3.4.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	63
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	65
4.1.	PRODUCCIÓN DE FORRAJE	65
4.1.1.	<u>Efecto de las fuentes fosfatadas</u>	66
4.1.2.	<u>Efecto residual del P aplicado en la implantación de la pastura.</u>	68
4.1.3.	<u>Efecto de la refertilización</u>	72
4.1.4.	<u>Efecto de las interacciones</u>	78
4.1.5.	<u>Análisis conjunto por regresión múltiple de los resultados obtenidos</u>	83
4.2.	ABSORCIÓN DE FÓSFORO	88
4.2.1.	<u>Porcentaje de P en el forraje</u>	88
4.2.1.1.	Efecto de las fuentes fosfatadas	91
4.2.1.2.	Efecto residual del P aplicado en la implantación de la pastura	92
4.2.1.3.	<u>Efecto de la refertilización</u>	92
4.2.1.4.	Efecto de las interacciones	93
4.2.2.	<u>Fósforo absorbido (kgs/há)</u>	94

4.2.2.1. Efecto de las fuentes fosfatadas	97
4.2.2.2. Efecto residual del P aplicado en la implantación de la pastura	97
4.2.2.3. Efecto de la refertilización	100
4.2.2.4. Efecto de las interacciones	104
4.3. RELACION ENTRE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS Y LOS NIVELES DE FOSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO	108
4.3.1. <u>Efecto de los tratamientos en el fosforo dis- ponible evaluado por los métodos Bray N° 1 y Resinas Catiónicas</u>	108
4.3.1.1. Efecto de las fuentes fosfatadas	112
4.3.1.2. Efecto residual del P aplicado en la im- plantación de la pastura	113
4.3.1.3. Efecto de la refertilización	114
4.3.1.4. Efecto de las interacciones	115
4.3.2. <u>Relaciones funcionales entre P disponible y P aplicado</u>	115
4.3.2.1. Resultados del primer año de evaluación	115
4.3.2.2. Resultados del segundo año de evaluación	117
4.3.3. <u>Relación entre ambos métodos de análisis de suelo</u>	117
4.3.4. <u>Relación entre el P disponible inicial en cada año y la respuesta a la refertiliza- ción</u>	119
4.3.5. <u>Consideraciones generales</u>	121
5. <u>CONCLUSIONES</u>	123
6. <u>RESUMEN</u>	126
7. <u>SUMMARY</u>	127
8. <u>APENDICE</u>	128
9. <u>LITERATURA CITADA</u>	179

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro - Datos de fósforo disponible y total (en ppm) para diferentes texturas de algunos tipos de suelos de nuestro país.	4
Cuadro 2 - Composición química de fosfatos de roca (fracciones de 100 - 150 mallas)	25
Cuadro 3 - Solubilidad de los diferentes tamaños de partículas de fosfatos de roca en citrato de amonio neutro.	25
Cuadro 4 - Solubilidad de los diferentes tamaños de partículas de fosfatos de roca en ácido cítrico al 2%.	26
Cuadro 5 - Grado de carbonatación y fluorinización de fosfatos de roca.	27
Cuadro 6 - Composición química de algunas rocas fosfatadas.	31
Cuadro 7 - Solubilidad e índice relativo de solubilidad de diez rocas fosfatadas.	32
Cuadro 8 - Composición química de roca fosfórica de diferentes yacimientos.	34
Cuadro 9 - Caracterización y descripción del suelo Vertisol rúptico en el que se instaló el trabajo de campo.	59
Cuadro 10 - Descripción de los tratamientos aplicados.	60
Cuadro 11 - Características de las fuentes fosfatadas utilizadas.	61
Cuadro 12 - Producción de forraje (kg/há de Materia Seca) por corte y total anual acumulado.	65
Cuadro 13 - Valores de Fo y su significación en el Análisis de Varianza para producción de MS (para los cinco cortes evaluados y los totales anuales).	67

Cuadro 14	- Efecto de las tres fuentes fosfatadas utilizadas sobre la producción de forraje por corte y totales anuales (valores promedio por sobre niveles de P inicial y P refertilización).	69
Cuadro 15	- Efecto de la dosis de P inicial en la producción de Materia Seca por há. para los cinco cortes y los totales anuales (valores promedio por sobre fuentes y niveles de refertilización).	69
Cuadro 16	- Efecto de las dosis de P aplicado en refertilización sobre la producción de materia seca/há para los cinco cortes y los totales anuales (valores promedio por sobre fuentes y niveles de P inicial).	73
Cuadro 17	- Valores de Fo y su significación en el Análisis de Varianza de los contrastes para los cinco cortes y los totales anuales.	73
Cuadro 18	- Incremento de producción de forraje en kgs. de Materia Seca por há. producidos por la refertilización para los cinco cortes y los totales anuales (Valores estimados).	76
Cuadro 19	- Incremento de producción de forraje en kgs. de Materia Seca por há producidos por kg de P aplicado en refertilización.	76
Cuadro 20	- Rendimientos esperados en producción de forraje en kgs/há de M. Seca para el total del primer año.	82
Cuadro 21	- Rendimientos esperados de producción de la pastura para superfosfato e hiperfosfato a dosis iniciales de 0 y 80 unidades de P y en refertilización a 0,20 y 40 unidades de P para los dos años de evaluación (valores estimados).	85
Cuadro 22	- Porcentajes de P en las pastura para los cinco cortes (promedios de tres repeticiones por tratamiento).	89

Cuadro 23	- Valores de F_0 y su significación en el Análisis de Varianza para el porcentaje de P en la pastura de los cinco cortes.	90
Cuadro 24	- Efecto de la fuente sobre el porcentaje de P en el forraje para los cinco cortes (promedios por sobre niveles de P inicial y de P en refertilización).	91
Cuadro 25	- Efecto del P inicial sobre el porcentaje de P en el forraje para los cinco cortes (promedios por sobre fuentes y niveles de refertilización).	92
Cuadro 26	- Efecto de la refertilización sobre el porcentaje de P en el forraje para los cinco cortes (promedio por sobre fuentes y niveles de P inicial).	93
Cuadro 27	- Fósforo absorbido por corte y total anual acumulado (kgs/há) de los dos años de evaluación (valores promedio por tratamiento).	95
Cuadro 28	- Valores de F_0 y su significación en el análisis de varianza para P absorbido.	96
Cuadro 29	- Efecto de las fuentes sobre el P absorbido por corte y totales anuales acumulados (promedios por sobre niveles de P inicial y de P en refertilización).	98
Cuadro 30	- Efecto del P inicial sobre el P absorbido por corte y totales anuales acumulados (promedio por sobre fuentes y niveles de refertilización).	98
Cuadro 31	- Efecto de la refertilización sobre el P absorbido por corte y totales anuales acumulados (promedios por sobre fuentes y niveles de P inicial.)	101
Cuadro 32	- Valores de P disponible (en ppm) en el suelo determinados por el método Bray N°1 para los dos años de evaluación (valores promedio por tratamiento redondeados a número entero).	109

- Cuadro 33 - Valores de P disponible (en ppm) en el suelo determinados por el método de Resinas Catiónicas para los dos años de evaluación (valores promedio por tratamiento redondeados a número entero). 110
- Cuadro 34 - Valores de F_0 y su significación en el Análisis de Varianza para los datos de análisis de suelo determinados por los métodos Bray N° 1 y Resinas Catiónicas. 111
- Cuadro 35 - Efecto de la fuente fosfatada sobre los niveles de P disponible en el suelo, promediado por sobre niveles de P inicial y de refertilización (valores en ppm redondeados a número entero) 112
- Cuadro 36 - Efecto de los niveles de P inicial sobre los niveles de P disponible en el suelo promediados por sobre fuentes y niveles de refertilización (valores en ppm redondeados a número entero). 113
- Cuadro 37 - Efecto de los tres niveles de refertilización sobre los niveles de P disponible en el suelo, promediados por sobre fuentes y niveles de P inicial (valores en ppm redondeados a números enteros). 114
- Cuadro 38 - Regresiones ajustadas entre el dato de análisis de suelo y el fósforo agregado en forma inicial (P) y en refertilización (R) para el primer año de evaluación. 116
- Cuadro 39 - Regresiones ajustadas entre el dato de análisis del suelo y el fósforo agregado en forma inicial (P) y en refertilización (R) para el segundo año de evaluación. 118
- Cuadro 40 - Regresiones ajustadas por fuente por año entre P disponible medido con los métodos Bray N° 1 (y) y Resinas Catiónicas (x). 120

Cuadro 41 - Rendimiento de Materia Seca (kgs/há) del PRIMER corte.	129
Cuadro 42 - Rendimiento en Materia Seca (kgs/há) del SEGUNDO corte.	130
Cuadro 43 - Rendimiento en Materia Seca (kgs/há) del TERCER corte.	131
Cuadro 44 - Rendimiento total acumulado en Materia Se ca (kgs/há) del primer año de evaluación.	132
Cuadro 45 - Rendimiento en Materia Seca (kgs/há) del CUARTO corte.	133
Cuadro 46 - Rendimiento en Materia Seca (kgs/há) del QUINTO corte.	134
Cuadro 47 - Rendimiento total acumulado en Materia Se ca (kgs/há) del segundo año de evaluación.	135
Cuadro 48 - Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del PRIMER corte.	136
Cuadro 49 - Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del SEGUNDO corte.	137
Cuadro 50 - Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del TERCER corte.	138
Cuadro 51 - Análisis de varianza del rendimiento total acumulado en materia seca del PRIMER AÑO de evaluación.	139
Cuadro 52 - Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del CUARTO corte.	140

Cuadro 53	- Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del QUINTO corte.	141
Cuadro 54	Análisis de varianza del rendimiento total acumulado en materia seca del SEGUNDO AÑO de evaluación.	142
Cuadro 55	- Análisis de varianza de los contrastes ortogonales del efecto de la refertilización en la producción de materia seca del PRIMER año de evaluación (por corte y para el total anual).	143
Cuadro 56	- Análisis de varianza de los contrastes ortogonales del efecto de la refertilización en la producción de materia seca del SEGUNDO año de evaluación (por corte y para el total anual).	144
Cuadro 57	- Porcentaje de fósforo en el forraje del PRIMER corte.	145
Cuadro 58	- Porcentaje de fósforo en el forraje del SEGUNDO corte.	146
Cuadro 59	- Porcentaje de fósforo en el forraje del TERCER corte.	147
Cuadro 60	- Porcentaje de fósforo en el forraje del CUARTO corte.	148
Cuadro 61	- Porcentaje de fósforo en el forraje del QUINTO corte.	149
Cuadro 62	- Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del PRIMER corte.	150
Cuadro 63	- Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del SEGUNDO corte.	151

Cuadro 64	- Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del TERCER corte.	152
Cuadro 65	- Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del CUARTO corte.	153
Cuadro 66	- Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del QUINTO corte.	154
Cuadro 67	- Fósforo absorbido (kgs/há) del PRIMER corte.	155
Cuadro 68	- Fósforo absorbido (kgs/há) del SEGUNDO corte.	156
Cuadro 69	- Fósforo absorbido (kgs/há) del TERCER corte.	157
Cuadro 70	- Fósforo absorbido total (kgs/há) en el PRIMER año de evaluación.	158
Cuadro 71	- Fósforo absorbido (Kgs/há) en el CUARTO corte	159
Cuadro 72	- Fósforo absorbido (Kgs/há) del QUINTO corte.	160
Cuadro 73	- Fósforo absorbido total (kgs/há) en el SEGUNDO año de evaluación.	161
Cuadro 74	- Análisis de varianza del fósforo absorbido (kgs/há) del PRIMER corte.	162
Cuadro 75	- Análisis de varianza del fósforo absorbido (kgs/há) del SEGUNDO corte.	163
Cuadro 76	- Análisis de varianza del fósforo absorbido (kgs/há) del TERCER corte.	164
Cuadro 77	- Análisis de varianza del fósforo total absorbido (Kgs/há) del PRIMER año de evaluación.	165

Cuadro 78 - Análisis de varianza del fósforo absorbido (kgs/há) del CUARTO corte.	166
Cuadro 79 - Análisis de varianza del fósforo absorbido (Kgs/há) del QUINTO corte.	167
Cuadro 80 - Análisis de varianza del fósforo total absorbido (kgs/há) del SEGUNDO año de evaluación.	168
Cuadro 81 - Valores de P disponible en el suelo determinados por el método BRAY N° 1 para el PRIMER año de evaluación.	169
Cuadro 82 - Valores de P disponible en el suelo determinados por el método Resinas Catiónicas para el PRIMER año de evaluación.	170
Cuadro 83 - Valores de P disponible en el suelo determinados por el método BRAY N° 1 para el SEGUNDO año de evaluación.	171
Cuadro 84 - Valores de P disponible en el suelo determinados por el método Resinas Catiónicas para el SEGUNDO año de evaluación.	172
Cuadro 85 - Análisis de varianza de los datos de P disponible en el suelo determinados por el método BRAY N° 1 para el PRIMER año de evaluación.	173
Cuadro 86 - Análisis de varianza de los datos de P disponible en el suelo determinados por el método de Resinas Catiónicas para el PRIMER año de evaluación.	174
Cuadro 87 - Análisis de varianza de los datos de P disponible en el suelo determinados por el método BRAY N° 1 para el SEGUNDO año de evaluación.	175

- Cuadro 88 - Análisis de varianza de los datos de P disponible en el suelo determinados por el método de Resinas Catiónicas para el SEGUNDO año de evaluación. 176
- Cuadro 89 - Regresiones ajustadas entre el dato de P disponible en el suelo evaluado por los métodos Bray N° 1 y Resinas Catiónicas y el índice de incremento absoluto de rendimiento, para superfosfato e hiperfosfato en los dos años de evaluación. 177
- Cuadro 90 - Regresiones ajustadas entre el dato de P disponible en el suelo evaluado por los métodos Bray N° 1 y Resinas Catiónicas y el porcentaje de incremento relativo de rendimiento para superfosfato e hiperfosfato en los dos años de evaluación. 178

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Rendimientos anuales relativos al superfosfato = 100, para cada modo de aplicación.	46
Figura 2 - Curvas de respuesta para diferentes dosis de aplicación - Año 1.	47
Figura 3 - Medias estacionales de concentraciones de P en el forraje.	48
Figura 4 - P absorbido por el forraje.	48
Figura 5 - Rendimientos de trébol blanco con distintos tipos y niveles de fertilizante (promedio de los 2 sitios).	50
Figura 6 - Eficiencia relativa promedio de tres dosis para tres fuentes de P en dos edades de la pastura.	51
Figura 7 - Diagrama de la evolución de una pradera.	53
Figura 8 - Respuesta en producción total y por especie en el segundo año a la fertilización inicial.	56
Figura 9 - Respuesta en producción total y por especie en el tercer año a la fertilización inicial.	56
Figura 10 - Efecto residual del P aplicado en la implantación sobre la producción de la pastura en el primer año de evaluación.	70
Figura 11 - Efecto residual de P aplicado en la implantación sobre la producción de la pastura en el segundo año de evaluación.	71

- Figura 12 - Funciones de respuesta a la refertilización y sus respectivos histogramas de distribución por corte y para los totales anuales (valores estimados). 74
- Figura 13 - Funciones de respuesta a la refertilización y sus respectivos histogramas de distribución para los totales anuales con un nivel de P inicial = 40 unidades (valores estimados). 77
- Figura 14 - Representación gráfica de la interacción fuente por refertilización para el segundo corte. 78
- Figura 15 - Respuesta a la refertilización para el total del primer año cuando la fuente empleada fue superfosfato. 79
- Figura 16 - Respuesta a la refertilización para el total del primer año cuando la fuente empleada fue superfos. 80
- Figura 17 - Respuesta a la refertilización para el total del primer año cuando la fuente empleada fue hiperfosfato. 81
- Figura 18 - Respuesta en producción de forraje de P aplicado en refertilización y del P inicial (kg/há de Materia seca). 83
- Figura 19 - Representación gráfica de los rendimientos esperados por año y por fuente en función de los niveles de P aplicado. 86
- Figura 20 - Efecto residual del P inicial sobre el rendimiento en P absorbido para el nivel 0 de refertilización en el primer año de evaluación. 99

- Figura 21 - Efecto residual del P inicial sobre el rendimiento en P absorbido para el nivel 0 de refertilización en el segundo año de evaluación. 100
- Figura 22 - Respuesta a la refertilización (40 kg/há de P) en P absorbido por la pastura para el primer año de evaluación. 102
- Figura 23 - Respuesta a la refertilización (40 kg/há de P) en P absorbido por la pastura para el segundo año de evaluación. 103
- Figura 24 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total de P absorbido en el primer año de evaluación cuando la fuente empleada fue superfosfato. 104
- Figura 25 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total del P absorbido en el primer año de evaluación. 105
- Figura 26 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total de P absorbido en el primer año de evaluación cuando la fuente empleada fue hiperfosfato. 105
- Figura 27 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total de P absorbido en el segundo año de evaluación cuando la fuente empleada fue superfosfato. 106
- Figura 28 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kgs/há de P) para el total de P absorbido en el segundo año de evaluación cuando la fuente empleada fue superfos. 106
- Figura 29 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kgs/há de P) para el total de P absorbido en el segundo año de evaluación cuando la fuente empleada fue hiperfosfato. 107

INTRODUCCION

La producción lechera es de importancia económica primordial para nuestro país desde el punto de vista del consumo interno y de la exportación del producto y sus subproductos.

La principal cuenca lechera del país, situada en los departamentos de Montevideo, Canelones y San José, posee suelos que soportan una agricultura continua, lo que, ha significado una disminución de la materia orgánica y en condiciones de bajo agregado de fertilizantes da como resultado una baja productividad.

Desde que la alimentación es quizás la mejor vía para lograr más y mejores producciones de leche y ésta se realiza fundamentalmente en base a pasturas, se torna necesario el estudio de aquellos aspectos relacionados al uso de fertilizantes que afectan la productividad y rentabilidad de las mismas.

La fertilización fosfatada es considerada como el factor más importante en la determinación de la productividad de las praderas convencionales de la cuenca, y presenta una serie de elementos técnicos que deben ser resueltos para recomendar el uso de fertilizantes tales como:

- fuente a emplear
- dosis a aplicar en la implantación
- dosis de refertilización..

Por otra parte, en la cuenca existen una diversidad de suelos muy importante en términos de textura (de medias a pesadas). Uno de los tipos importantes son los suelos vertisólicos, en los que por su alta actividad en calcio y texturas pesadas, tanto la determinación

de los niveles de fósforo aplicado en forma inicial y en refertilización como el uso de la fuente adecuada, aparecen como muy importantes.

El objetivo de este trabajo fue evaluar en un vertisol el efecto de diferentes dosis de fertilizante aplicadas en la implantación y como refertilizaciones en la producción de forraje y absorción de P por una pastura convencional durante el 3er y 4to año de su ciclo a partir de tres fuentes fosfatadas de diferente solubilidad en agua.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. EL FOSFORO EN EL SUELO

2.1.1. Introducción

El contenido total de P en los suelos es bajo, variando según el tipo de suelo de que se trate, entre 0.022 y 0.083% como valores más comunes (Black, 1975) (4).

Las cantidades totales del P en el suelo son mucho mayores que aquellas de P disponible, pero este último es de vital importancia para el crecimiento de las plantas (Tisdale y Nelson, 1970), (33).

El P se libera en el suelo por descomposición de minerales primarios, restos vegetales y fertilizantes asociándose o combinándose con la fracción arcilla. Como consecuencia surge el hecho de que los suelos donde predominan las fracciones más finas, son más ricos en P (Rabuffetti et al, 1981), (29).

En el Cuadro 1 se presentan datos de suelos de nuestro país, en el que se resumen las características antes mencionadas, extraídos de Escudero y Morón (1978), (14).

2.1.2. Formas del P en los suelos

2.1.2.1. P en la solución del suelo -

La concentración de iones fosfato que se hallan en la solución del suelo tendrían gran importancia en la absorción de P por parte de las plantas; a mayor P en la solución, mayor absorción, considerando a otras formas constantes.

Cuadro 1 - Datos de fósforo disponible y total (en ppm) para diferentes texturas de algunos tipos de suelos de nuestro país - (Escudero y Moron, 1978). (14)

CLASIFICACION	TEXTURA	P disponible (ppm)	P total (ppm)
Brunosol Eútrico Típico	Ar L F Ac L	13	273,6
Brunosol Subeútrico Típico	F Ar F Arc Ar	2.4	237,6
Vertisol Rúptico Lúvico	F Ac L- F Ac	1.7	172,8
Planosol Dístrico Ocrico	F Ar- Ar F	3.7	117
Acrisol Ocrico Albico	F Ac- Ar F	2.7	115.2
Litosol Eútrico Melánico	F Ac	1.92	493.2
Solod	F L	6	223.2
Inceptisol Umbrico	F Ac Ar	4.0	194.4

El P en la solución del suelo es absorbido por las plantas como iones ortofosfato primario y secundario. ($H_2PO_4^-$ y $HPO_4^{=}$).

Es de destacar que la concentración de P en la solución del suelo es pequeña y generalmente menor a 1ppm; el mantenimiento de la misma depende de la proporción relativa de formación y descomposición de la materia orgánica y de la capacidad de la fracción inorgánica del suelo de fijar los ortofosfatos solubles en formas insolubles o menos solubles (Tisdale y Nelson, 1970), (33).

Debemos señalar que algunas cantidades muy pequeñas de P orgánico soluble, también pueden ser absorbidas.

2.1.2.2. P en la fase sólida del suelo -

Cuando el suelo comienza a desarrollarse, el P presente es solamente inorgánico derivado de la roca madre. Gradualmente, plantas, microorganismos y animales comienzan a establecerse, los cuales requieren P como nutriente esencial convirtiendo parte del mismo a formas orgánicas dentro de sus células. Cuando los organismos mueren y se descomponen, ambos, P orgánico e inorgánico, retornan al suelo iniciando el ciclo biológico del P (Anderson, 1976), (2).

Según Larsen, 1967 (10), la mayor parte de los fosfatos de la fase sólida del suelo están presentes bajo 3 formas:

- * Adsorbido a la superficie de partículas del suelo.
- * Como minerales poco solubles.
- * Como compuestos orgánicos.

Mediante métodos físicos se ha identificado como mineral más común en los suelos, la apatita, en particular la fluor-apatita (fosfato de Ca de fórmula: $Ca_{10}F_2(PO_4)_6$, forma más común y estable de este mineral), y en menor grado vivianita y wavelita. Sin embargo estos métodos físicos no permiten detectar el P presente en las fracciones finas (tipo arcilla), para lo cual se recurre a métodos adicionales basados en criterios de solubilidad. Dentro de éstos, se destacan los métodos basados en equilibrar distintos suelos y diferentes minerales fosfatados con soluciones de diferentes pH del extracto luego del equilibrio y comparar las curvas resultantes con las curvas de minerales fosfatados conocidos.

Un tercer método consiste en extraer el P del suelo tratándolo sucesivamente con distintas soluciones extractantes, destacándose en este sentido el método de Chang y Jackson. De este método se desprende que hay una tendencia hacia la acumulación de fosfatos de Fe y Al de las fracciones más finas y fosfatos de Ca en las fracciones más gruesas. También se observa que aumentando el pH del suelo la fracción de fosfato de Ca aumenta, la fracción fosfato de Fe disminuye y los fosfatos de Al y fosfatos ocluidos permanecen constantes.

Un cuarto y último método consiste en comparar los productos de actividad iónica, calculados para iones en equilibrio con suelos de constantes de productos de solubilidad (Kps) conocidos (Rabuffetti et al., 1981), (29).

En cuanto al P orgánico se considera que el mismo se halla en el suelo bajo tres formas principales: fosfolípidos, ácidos nucleicos y fosfatos de inositol. Aunque aproximadamente del 40 al 50% del P orgánico del suelo puede ser identificado como las formas antes mencionadas, el remanente está por identificarse (Tisdale y Nelson, 1970), (33).

De la fracción conocida, un 2% correspondería a los ácidos nucleicos, un 1% a los fosfolípidos y un 35% a inositol-fosfato, aproximadamente (Black, 1975), (4).

2.1.3. Dinámica del P en los suelos

Las diferentes formas de P en el suelo no permanecen estables, sino que por el contrario son dinámicas y están relacionadas entre sí. Para describir el

P en el suelo en términos de sus formas e interrelaciones se presenta el siguiente esquema:

P en solución del suelo \rightleftharpoons P lábil \rightleftharpoons P fijado
(Larsen, 1967)

Como se ha dicho anteriormente, la solución del suelo, es el medio del cual el P es absorbido por las raíces de las plantas y como consecuencia de que su composición es ampliamente determinada por la fase sólida del suelo, su caracterización nos provee de datos que pueden ser usados para inferencias físico-químicas. Las inferencias relativas al crecimiento de las plantas son inherentemente establecidas en una relación que define el proceso de absorción de P por las superficies radiculares en términos de la composición química de la solución del suelo. Dicha relación es usualmente definida en términos de un FACTOR INTENSIDAD y un FACTOR RELATIVO. El factor intensidad es una medida del gradiente del potencial electroquímico de los iones P a través de las superficies radiculares de absorción de las plantas. El factor relativo describe el efecto de otros iones en solución sobre el P a ser absorbido. A excepción del ión OH^- ningún otro anión compite con el P a ser absorbido y por lo tanto dicho factor relativo es equivalente a 1 (Olsen y Khasawneh, 1976), (28).

A medida que las plantas toman el P de la solución del suelo, el nivel del mismo disminuye, por lo que para mantener adecuados niveles de P en solución, es indispensable una continua reposición del elemento, lográndose esto a través de parte del P inorgánico en fase sólida o P lábil (Zamalvide, 1980), (29).

Amer (1955), (28), define al P lábil como la fracción fosfatada del suelo que es isotópicamente intercambiable con el p^{32} en un tiempo dado.

La relación existente entre el P lábil (factor cantidad) y el P en la solución del suelo (factor intensidad) es llamada FACTOR CAPACI DAD, que puede ser definido como la capacidad de la fase sólida del suelo de reponer el P en solución. La baja solubilidad de las formas de P inorgánico de los suelos y la de los productos de reacción del fertilizante con el suelo nos determinan la baja concentración de P en solución, así como el fuerte desplazamiento del equilibrio $P \text{ lábil} \rightleftharpoons P \text{ en solución}$ hacia la fase sólida (Zamalvide, 1980), (29).

Dentro del P inorgánico en fase sólida se distingue además del P lábil, el P no lábil o fijado. La función de este último es la de reponer el nivel de P lábil que había descendido como consecuencia de la reposición del P en solución. La velocidad de pasaje de P no lábil es muy lenta, siendo poco probable que el P fijado contribuya como suplemento en el corto plazo. La división del P en fase sólida en lábil y no lábil, proviene de una consideración dinámica; desde un punto de vista mecánica del P de la fase sólida del suelo que puede ser clasificado aún por otra vía en P absorbido y P cristalino. El primero se refiere al P adsorbido en superficies activas del suelo y el segundo a los componentes de P formados como productos de reacción o presentes en la matriz del suelo. Los dos tipos de clasificación (lábil vrs. no lábil y adsorbido vrs. cristalino), no son sinónimos aunque existe entre ambos una gran superposición (Olsen y Khasawneh, 1976), (28).

2.1.3.1. Reacciones del P en el suelo -

Cuando un fertilizante fosfatado soluble es aplicado al suelo y es disuelto por el H_2O del mismo o se aplica como fertilizante líquido, ocurren una serie de reacciones con los constituyentes del suelo que los vuelven menos solubles a los fosfatos. Este fenómeno es llamado fijación o retención (Sample et al., 1976), (31).

A pesar de que la retención y fijación son usados como sinónimos, Escudero y Morón (Tesis 1968), llaman retención al proceso por el cual el P en solución pasa a la fase sólida en carácter de retenido pero quedando en forma disponible, mientras que como fijación definen el proceso similar al anterior pero en cuya etapa final el P en fase sólida pierde significación para la nutrición de las plantas o sea no puede ser a provechado por las mismas en el corto y mediano plazo. También distinguen como procesos diferentes a la adsorción y a la precipitación, siendo éstos diferentes mecanismos por los cuales los fosfatos son retenidos o fijados. A menos que se especifique, los términos retención, fijación y adsorción se emplearán como sinónimos del fenómeno de pasaje del P de la solución a la fase sólida. (14).

Los tres grandes grupos de reacciones de fijación que se distinguen son: (1) adsorción; (2) sustitución o reemplazo isomórfico y (3) precipitación. El principal factor que está afectando y que determina el mecanismo de fijación, es la actividad del ión hidrógeno, con el cual se quiere establecer que el pH de la solución del suelo determinará en gran forma el tipo de reacción que se de.

En la revisión realizada por Wild (1950), en la cual cita numerosos investigadores, llega a la conclusión de que el carbonato de Ca y los óxidos e hidróxidos de Fe y Al, jugaban un rol fundamental en la retención de P en los suelos. Ellos sugirieron que el P puede precipitar tanto como fosfato de Ca, Fe o Al, (P-Ca, P-Fe o P-Al) o que puede establecer un enlace químico con esos cationes en la superficie de los minerales del suelo. Por lo tanto desde hace muchos años, la alternativa para explicar los mecanismos de retención de P implican la precipitación o la adsorción (28).

Investigadores modernos han propuesto diversos mecanismos a través de los cuales el P puede ser retenido por los suelos; éstos incluyen adsorción física, adsorción química, intercambio aniónico, precipitación en superficie y precipitación de fases sólidas separadas. En general, estos son casos especiales de retención por precipitación o absorción (Sample y Racz, 1976), (31).

En suelos alcalinos los mecanismos específicos de fijación de P que pueden actuar son tres:

2.1.3.1.1. Precipitación de fosfato dicálcico

2.1.3.1.2. Precipitación en la superficie de CaCO_3

2.1.3.1.3. Puentes de Ca entre fosfatos u arcillas.

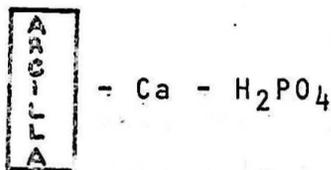
2.1.3.1.1. Precipitación de fosfato dicálcico - La retención del P en los suelos alcalinos es el resultado de un tipo enteramente diferente de reacciones a las que se dan en suelos ácidos. La actividad del Ca es mayor en la mayoría de los suelos alcalinos, lo

cual unido a un alto pH favorece la precipitación del fosfato dicálcico relativamente insoluble de otros fosfatos cálcicos básicos tales como la hidroxiapatita y la carbonato apatita (Tisdale y Nelson, 1970), (33).

Las reacciones de precipitación ocurren en la solución del suelo entre el Ca^{+2} y los aniones H_2PO_4 y $\text{HPO}_4^{=}$, por lo cual están determinados en gran parte por la actividad del ión Ca^{+2} en la solución, por lo cual a su vez está determinado por los equilibrios de los diferentes cationes intercambiables (Zamalvide, 1980), (29).

2.1.3.1.2. Precipitación en la superficie de CaCO_3 - Este mecanismo se da en suelos alcalinos que contienen CaCO_3 libre. Los iones fosfatos que entran en contacto con la fase sólida del carbonato cálcico son precipitados en las superficies de estas partículas. La cantidad de precipitado depende de la superficie expuesta por el CaCO_3 y de la concentración del fosfato en la solución. El producto final, desde el punto de vista de la naturaleza de la reacción, parecería ser una sal de Ca relativamente insoluble, fósforo y quizás $\text{CO}_3^{=}$ o OH^- .

2.1.3.1.3. Puentes de Ca - En suelos calcáreos las arcillas están altamente saturadas en Ca por lo que el H_2PO_4^- puede unirse a ellas a través de puentes de Ca:



La concentración o más precisamente la actividad del P en la solución del suelo, en suelos alcalinos, estará gobernada por tres factores básicos a saber:

- Actividad del ión Ca^{+2}
- Cantidad y tamaño del CaCO_3 libre del suelo
- Cantidad de arcilla presente.

De lo expuesto anteriormente se deduce que la actividad del P será menor en aquellos suelos que tienen una alta actividad Ca^{+2} , una gran cantidad de CaCO_3 finamente dividido y una gran cantidad de arcilla saturada en Ca^{+2} (Tisdale y Nelson, 1970), (33).

Otra fracción del P del suelo cuya dinámica es importante conocer es el P orgánico. En suelos en equilibrio o próximos a él, la interrelación entre cantidad de N y C presentes es totalmente cerrada; también se ha demostrado que existen relaciones similares entre N y S orgánico. Resultados de diversos estudios han demostrado que la mineralización del P orgánico aumenta con el pH del suelo, pero que la mineralización del C orgánico y del N del suelo no lo hacen.

La mineralización del P orgánico ha sido estudiada en relación a la proporción C:N:P del suelo. Se ha sugerido ultimamente que si la proporción C:N inorgánico es de 200:1 o menor, ocurrirá la mineralización del P y que si la proporción es de 300:1 ocurrirá inmovilización.

Autores australianos, creen que la proporción N:P está estrechamente ligada a la mineralización e inmo-

vilización del P y sugieren que la disminución del suministro de uno de ellos trae como consecuencia una mayor mineralización del otro.

Mucho tiene que aprenderse aún de la inmovilización y mineralización del P en los suelos y su relación en los suministros de C, N y S presentes (Tisdale y Nelson, 1970), (33).

2.2. FORMAS O TIPOS DE FOSFORITAS

2.2.1. Introducción

Los materiales fosfatados brutos o crudos, de interés en el agro y en la industria de los fertilizantes, son complejos agregados de minerales agrupados bajo el nombre o título genérico de FOSFATOS DE ROCA o FOSFORITAS.

FOSFATO DE ROCA es un nombre comercial que comprende una amplia variedad de tipos de roca que presentan grandes diferencias en textura y composición mineral. De acuerdo con el American Geological Institute Glossary of Geology (Gary et al., 1972; pág. 535), una roca fosfatada es una roca sedimentaria compuesta principalmente por minerales fosfatados. Más comunmente es un yacimiento de roca de origen marino compuesto de carbonato-flúor-apatita microcristalina bajo forma de lámina, gránulos, oolita, módulos, esqueletos y fragmentos de conchillas.

El término FOSFORITA, ha sido aplicado también a rocas sedimentarias compuestas enteramente o en su totalidad de apatita y a rocas ígneas que contienen cantidades apreciables de apatita (Mc Clellan y Gremillion, 1976), (23).

Las características químicas y mineralógicas, entre otras, de la roca fosfórica, reflejan en el comportamiento que puede tener ésta al ser utilizada tanto en la manufactura de superfosfatos, como en la aplicación directa en los suelos agrícolas. Por lo tanto, de acuerdo a Lehr et al., (1967), es necesario determinar las impurezas químicas y los componentes mineralógicos que constituyen el mineral natural (Adan Gómez et al., 1980), (1).

2.2.2. Evaluación de las rocas fosfatadas que determinan su potencialidad de uso.

2.2.2.1. Mineralogía de los fosfatos -

Los depósitos de fosfatos se ubican dentro de tres grandes clases, basadas en su disposición mineral:

2.2.2.1.1. - Fosfatos de Fe y Al.

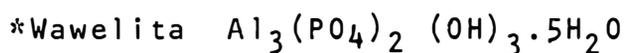
2.2.2.1.2. - Fosfatos de Ca-Fe y Al.

2.2.2.1.3. - Fosfatos de Ca.

Estas tres clases forman una secuencia natural, afectada por las condiciones climáticas, en las cuales los productos luego del período de descomposición son los fosfatos de Fe-Al estables. (22).

2.2.2.1.1. Fosfatos de Fe y Al -

Los más comunes son:

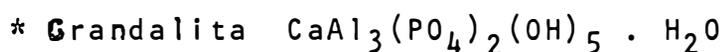


Los grandes depósitos de estos fosfatos se encuentran principalmente en Senegal, Liberia, Brasil y Utah (EE.UU.). No son manejables en procesos secos

con H_3PO_4 pero sí pueden ser convertidos en fertilizantes con HNO_3 (Knudsen, 1972) o modificados termicamente para producir fertilizantes de aplicación directa (Anón., 1975), (23).

2.2.2.1.2. Fosfatos de Ca - Fe y Al -

Son una clase intermedia, de los cuales los principales minerales son:



usualmente mezcladas con otros. Dos buenos ejemplos de esta clase de fosfato, son los de las zonas minerales lixiviadas de Florida (EE.UU.) (Aitschüter et al., 1956), y los de la zona mineral C de las Islas Christmas (Trueman, 1965), (23).

No se adaptan al tratamiento con H_2SO_4 y H_3PO_4 , ya que los productos resultantes son de baja calidad; pero pueden ser usados en procesos con HNO_3 (Knudsen, 1972), o tratados termicamente para producción de fertilizantes solubles al citrato, de aplicación directa (Doak et al., 1965), (23).

2.2.2.1.3. Fosfatos de Ca -

Los minerales fosfatados comerciales en esta clase, conocidos como rocafosfatada, tienen una propiedad común y es la disposición de sus iones, que los muestran como pertenecientes a la amplia categoría de los minerales apatíticos. No obstante de su similar estructura cristalina, la composición de las apatitas usualmente difieren significativamente con respecto a la fluorapatita, $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$, la cual es

asumida como el componente fosfatado de la roca fosfatada.

Las diferentes composiciones de las apatitas reflejan las diferentes condiciones de sus orígenes geoquímicos: ígneas, metamórficas y sedimentarias. Las apatitas obtenidas de rocas ígneas y metamórficas tienen importancia comercial solamente para sustituir una pequeña fracción del mercado mundial (Kola, URSS; Phalaborwa, Sud Africa; Araxa y Jacupiranga, Brasil).

Pero la principal fuente comercial ha sido, son y serán las apatitas sedimentarias. La variada forma de ocurrencia de estas rocas en su composición química y mineralógica se debe a procesos geológicos producidos desde el Precámbrico al Mioceno. Significativas cantidades de Mg y Na han sustituido al Ca, más del 25% de su P puede ser reemplazado por carbonato y aún más por F (Mc Clellan y Lehr, 1969). Los lugares en donde se ubican los más importantes depósitos de fosfatos sedimentarios son el Norte de Africa (Senegal, Togo, Marruecos, Argelia, Túnez), Cercano Oriente (Jordania, Israel, Egipto), Australia (Queensland) y Estados Unidos (Florida, Carolina del Norte, Idaho). (Mc Clellan y Gremillion, 1976) (23).

2.2.2.2. Minerales accesorios -

La gran variedad de depósitos geológicos en los cuales se presentan los fosfatos de roca, han traído una elevada cantidad de ordenamientos en los minerales accesorios, desde las formas más simples hasta las más complejas. Se detallan los grupos de mayor abundancia e importancia económica del mineral fosfata

tado:

- 2.2.2.2.1. Sílice
- 2.2.2.2.2. Silicatos
- 2.2.2.2.3. Carbonatos
- 2.2.2.2.4. Óxidos e Hidróxidos de Fe y Al.

2.2.2.2.1. Sílice -

Es uno de los más abundantes minerales del fosfato de roca comercial. El cuarzo es la forma más común del sílice y puede presentarse en rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias. Las formas hidratadas y peor cristalizadas (calcedonia, opalo y sílice gel) son las más comunes como cemento e impurezas de fosfatos sedimentarios. La cristobolita está presente en litologías sedimentarias de origen volcánico (Mc Clellan y Gremillion, 1976) (23).

2.2.2.2.2. Silicatos -

Los más importantes son los filosilicatos (estructura laminar). Dentro de ellos las micas han sido las más comunmente presentes en rocas ígneas y metamórficas de alta calidad (biotita, flogopita, muscovita, vermiculita y sericita).

Las rocas sedimentarias y metamórficas de baja calidad contienen casi todos los minerales arcillosos conocidos, desde los más estables a los más reactivos.

Otro mineral común en asociaciones geológicas de fosfatos sedimentarios es la palygorsbita (attapulgita) que es un inosilicato.

Las arcillas contenidas en los fosfatos de roca pueden presentarse como minerales aislados o mezclas complejas de diferentes tipos.

Como silicatos accesorios menores se distinguen los feldespatos (microclina y ortoclasa) anfíboles, piroxenos, etc. (Mc Clellan y Gremillion, 1976), (23).

2.2.2.2.3. Carbonatos -

Los minerales carbonatados de sostén, son los más abundantes en los depósitos de fosfato de roca, probablemente porque las apatitas y los carbonatos se acumulan en depósitos similares.

La calcita es el más abundante de todos y está presente en todos los tipos de rocas.

El segundo más abundante, aunque en mucho menor cantidad, es la dolomita, estando presente en todos los tipos de rocas, pero menos abundantemente en las sedimentarias y metamórficas.

Otros minerales menos importantes y hasta raros son: ankerita, magnesita y fluorcarbonatos. (Mc Clellan y Gremillion, 1976), (23).

2.2.2.2.4. Oxidos e Hidróxidos de Fe y Al -

En rocas ígneas no causan dificultades debido a que pueden ser separados antes del procesado de la roca. En estos tipos de rocas se encuentran asociados la hematita y magnetita.

En las rocas sedimentarias la relación es mucho más complicada, ya que las especies minerales son más diversas, siendo poco conocidas sus identidades y distribución.

Los óxidos e hidróxidos de Fe y Al en fosfatos de roca sedimentaria son goethita, limonita, bauxi

tas (gibbsita, bohemita), etc. Dichos minerales, solubles en ácido, en los minerales sedimentarios son formados por acción climática, e introducen problemas químicos en el procesamiento de los fosfatos de rocas (Mc Clellan y Gremillion, 1976) (23).

2.2.2.3. Textura de los fosfatos de roca -

La textura, entre otras, nos determina el grado y tipo de utilización de los fosfatos de roca. Los diversos orígenes (ígeno, metamórfico y sedimentario) dan como resultado un amplio rango de texturas de la roca y arreglo mineral.

Los materiales ígneos y metamórficos han producido depósitos comerciales de baja importancia; estas rocas poseen disposiciones y arreglos complejos, con una pequeña variación textural. En contraste, las rocas sedimentarias, cuyo volumen de producción comercial de fosfato de roca es muy alto, poseen un amplio rango de texturas y con arreglos minerales simples (Mc Clellan y Gremillion, 1976), (23).

2.2.2.4. Métodos de caracterización -

Los métodos o tests de caracterización de las apatitas son imprescindibles para determinar la composición de los fosfatos de rocas de distintos orígenes. Es así que las muestras son sometidas a análisis químicos, microscopía petrográfica, poder de difracción de rayos X, espectroscopía infrarroja y microscopio electrónico.

Las muestras de mineral provenientes de diferentes partes de los depósitos geográficamente mayores,

difieren lo suficiente entre ellas, como para requerir una caracterización mineralógica particular, así como del análisis químico entre otros (Mc Clellan y Gremillion, 1976), (23).

2.2.3. Descripción de los principales depósitos de fosforitas para uso directo.

La utilización a nivel económico de fosfato de rocas como fuente de fertilizante fosfatado, es determinado por su costo, tanto como por su eficiencia con que es suministrado a la planta.

Varios investigadores han demostrado que las diferentes fuentes de rocas fosfatadas varían no solamente en su contenido en P, sino también en el P asimilable que contienen.

Höweler y Woodruff (1968), (17), indican que todas las rocas fosfatadas se derivan de la apatita, la cual puede encontrarse en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.

2.2.3.1. Rocas ígneas -

Las apatitas ígneas son derivadas directamente del magma derretido y tienen cualquiera de las 2 siguientes fórmulas: $Ca_5(PO_4)_3Cl$ o $Ca_5(PO_4)_3F$, con un contenido de P de 17-18%. Cuando la Fluorapatita es calcinada en parte, el producto es hidroxapatita, $Ca_5(PO_4)_3OH$, la cual es presentada en alguna magnitud en todas las rocas fosfatadas. Es también posible que el radical PO_4^- sea reemplazado por CO_3OH^- , resultando en la carbonato-apatita francolita. La solubilidad de la roca depende de la mejor cristalinidad que de la química del mineral,

aunque el rol del F^- a este respecto está aún en disputa (Höweler y Woodruff, 1968), (17).

El depósito de fosfato ígneo mejor conocido y de mayor producción es el famoso complejo de la Península de Kola (URSS) el cual produce el 70% de los fosfatos crudos que se producen en Rusia.

El complejo de Phalaborwa (Sud Africa), el segundo depósito de origen ígneo de importancia mundial presenta sustitución del fosfato por piroxenita y sienita. Posee una estructura cristalina grosera de textura simple en la cual el fosfato está libre de obstrucciones, aún cuando pequeñas cantidades de magnetita y minerales de titanio están presentes ocasionalmente en las partículas de apatita.

Las carbonatitas son comparativamente nuevas fuentes de P ígneo, caracterizándose por la textura grosera típica, presentando depósitos más importantes que han sido descubiertos en Brasil (Jacupiranga, Araxa Catalão), Thailandia, Canada (Nemogesenda), Uganda, Iawi y Sri-Lanka. En estos depósitos el P está usualmente disperso y carece de importancia económica Clellan y Gremillion,

2.2.3.2. Rocas metamórficas -

Pertenecen a una transición entre rocas ígneas y sedimentarias, tanto en historia geológica como en su textura mineral. Sus texturas presentan un rango que va desde los esquistos livianos, modificados de baja calidad, gneisses piroxénicos jaspeados de Templeton, Quebec (Canada). El metamorfismo de los fosfatos originó rocas de baja calidad de elevada resistencia y duras.

Algunos depósitos metamórficos se encuentran en Brasil (Patos de Minas), India (Udaipur), Pakistán (Hazara), Finlandia (Sülinjarvi) y Vietnam del Norte. (Mc Clellan y Gremillion, 1976), (23).

2.2.3.3. Rocas sedimentarias -

Cathcart y Gulbrandsen (1973), (23) describen tres tipos genéticos diferentes de depósitos sedimentarios. El primero, representado por esquistos negros, fosfatos negros y fosforitas en asociación con calcedonia o dolomita. El fosfato de estos depósitos ocurre mayormente como partículas en pellets. Así tenemos depósitos en el Oeste de EE.UU. (Phosphoria), URSS (Kara Tau), Perú (Sechura), Colombia (Turmeque, Sardinata), Australia (Queensland), Norte de Africa (Marruecos, Argelia, Tunez), Oeste de Africa (Senegal, Togo), y Oriente Medio (Egipto, Israel, Jordania).

El segundo tipo comprende fosfatos depositados a lo largo de la costa continental este, por corrientes templadas, distinguiéndose los del Este de (Florida, Georgia y Carolina del Norte) y Brasil (Olida), cuya litología corresponde a areniscas y

El tercer tipo de depósito es el formado por depósitos continentales estables o en el interior del continente. Se presentan asociados con calizas, dolomita, esquistos y areniscas glauconíticas. Se distinguen las areniscas del Mississippí conocidas como "Blue Rock" de Tennessee.

La textura de los fosfatos de roca sedimentarios cae dentro de 2 grandes clases: consolidadas (duras)

y no consolidadas (blandas).

En cuanto a los depósitos de fosfato de roca consolidados, cementados por sílice (calcedonia y sílice gel) y por silicatos (minerales silicatados) se distinguen los de Colombia, Pakistán, Australia, Perú y Arabia Saudita. Las fosforitas cementadas con carbonato (dolomita y calcita) son particularmente importantes, distinguiéndose los depósitos de Colombia, Pakistán, Australia, Turquía, India, Florida, y Oeste de EE.UU. Los fosfatos de Fe y Al, como sus óxidos, son también agentes cementantes, dándose en los depósitos de Tennessee, Turquía, India, Senegal y Florida. Otra clase de fosfato de roca consolidado comprende rocas formadas por procesos de sustitución, donde el fosfato soluble depositado alteró la roca subyacente. Algunos ejemplos son los depósitos de roca dura de Florida y los de las islas del Pacífico Oeste (Nauru, Ocean y Christmas).

Los fosfatos detríticos y los precipitados químicamente constituyen otro tipo de roca sedimentaria consolidada. Aquí la cementación es imperfecta, dando materiales friables, entre los que se destacan los del Norte de Africa y Oriente Medio (Mc Clellan y Gremillion, 1976), (23).

En cuanto a los depósitos de rocas no consolidadas (blandas), se destacan los de la región pedregosa del centro de Florida y los de Carolina del Norte, fosfatos oolíticos de Africa del Norte y Oriente Medio y fosfatos orgánicos de Israel, Jordania y Angola, fosfatos de glauconita de Tennessee, Baja California y Chile.

Muchas de las partículas de fósforo de roca sedimentario, poseen minerales accesorios ocluidos (Cuarzo, calcedonia, calcita, dolomita, arcillas, óxidos e hidróxidos de Fe y Al y yeso). Las concentraciones de dichas fases y su distribución son muy importantes en la selección para la utilización del mineral.

Otra clase de depósitos no consolidados son los fosfatos submarinos del escalón continental y océano profundo, conocidos a lo largo de la costa Atlántica sur de EE.UU., Baja California, Chile, Perú y otros. (Norholt, 1975; Cathcart y Gulbrandsen, 1973). Los nódulos de estos depósitos contienen alrededor del 13% de P (30% P_2O_5), lo que los convierte en comparables con rocas comerciales, pero poseen alto contenido de carbonatos y Fe, los que dificultan su procesamiento para la obtención de fertilizante. (McClellan y Gremillion, 1976), (23).

Caro y Hill (1957), (8) estudiaron 10 rocas fosfatadas diferentes en origen, con la finalidad de determinar su valor como fertilizante, solubilidad en solventes, propiedades físicas y químicas entre otras. Para ello evaluaron rocas originarias de EE.UU., provenientes de Carolina del Sur, Florida, Idaho, Tennessee y Virginia y rocas de Túnez y Curaçao. La composición química de las 10 rocas se presenta en el Cuadro 2.

Los resultados para solubilidad en citrato y ácido cítrico son mostrados en los Cuadros 3 y 4, respectivamente. Ambas mediciones colocan los materiales en importancia de su orden de solubilidad.

Cuadro 2 - Composición química de fosfatos de roca (fracciones de 100-150 mallas) (Caro y Hill, 1956) (8)

Variedad o fuente de roca	P ₂ O ₅ (%)	CaO(%)	F(%)	CO ₂ (%)	<u>a/</u>
Túnez, Gafsa	29,9	44,3	3,6	5,8	
Marruecos	32,1	51,6	4,2	5,5	
Carolina del Sur	27,1	43,3	3,7	4,8	
Isla Curaçao	37,9	50,0	0,7	3,9	
Florida	30,9	46,6	3,5	3,7	
Florida <u>b/</u>	33,2	44,7	3,5	2,0	
Idaho (Conda)	33,0	47,1	3,4	1,8	
Tennessee "Brown Rock"	35,0	48,6	3,7	1,3	
Montana (Garrison)	36,4	50,5	3,9	1,3	
Apatita de Virginia	40,3	51,8	2,9	0,1	

a/ CO₂ hallado como calcita libre por el método de Silverman, Fuyat, Weiser.

b/ Concentrado por flotación

Cuadro 3 - Solubilidad de los diferentes tamaños de partículas de fosfatos de roca en citrato de amonio neutro. (Caro y Hill, 1956) (8)

Variedad o fuente roca	P ₂ O ₅ soluble al citrato, % del total			
	compuesto - 100m	fracción 100-150m.	fracción 150-325m	fracción -325m.
Túnez, Gafsa	20,0	16,4	16,5	18,9
Carolina del Sur	17,2	10,0	14,7	15,7
Isla Curaçao	14,8	11,9	12,0	14,6
Florida	11,1	10,4	10,5	14,4
Idaho, Conda	7,8	4,5	7,8	10,6
Apatita de Virginia	7,6	1,5	5,8	6,4
Tennessee "Brown Rock"	6,1	5,1	5,1	7,1

Cuadro 4 - Solubilidad de los diferentes tamaños de partículas de fosfatos de roca en ácido cítrico al 2% (Caso y Hill, 1956)(8).

Variedad o fuente de roca	P ₂ O ₅ soluble en ácido cítrico, % del total							
	compuesto - 100 m		fracción 100-150 m		fracción 150-325 m		fracción - 325 m	
	17,5°C	24°C	17,5°C	24°C	17,5°C	24°C	17,5°C	24°C
Túnez, Gafsa	35,4	37,8	34,4	37,2	37,8	40,3	43,7	45,7
Isla Curaçao	36,4	38,8	32,3	33,8	35,2	37,4	39,0	40,6
Carolina del Sur	24,6	27,0	21,8	24,2	23,6	25,7	23,9	26,4
Florida	22,3	24,1	20,7	22,7	22,3	23,9	23,6	24,7
Idaho, Conda	19,8	21,8	17,4	19,5	20,3	23,1	26,5	28,4
Tennessee "Brown Rock"	16,4	18,6	15,0	17,2	16,2	18,5	17,5	19,1
Apatita de Virginia	10,3	11,5	3,3	4,9	4,8	6,6	7,1	8,6

Las rocas de Túnez y Curaçao, exceden claramente los rangos de las variedades norteamericanas, excepto la roca de Carolina del Sur, que está a la par de la de Curaçao en el test de citrato neutro. De las variedades norteamericanas, las rocas de Carolina del Sur y de Florida muestran valores considerablemente más altos que las de Idaho y de Tennessee. La apatita de Virginia muestra muy bajos valores, especialmente en ácido cítrico. A menor tamaño de partícula hay un pequeño, pero consistente incremento en P soluble.

En cuanto a la composición química de la apatita, el principal componente fosfatado del fosfato de roca, muestra influencia en la reactividad de la roca en el suelo y en el procesado químico de la misma. Información sobre la relación entre composición y reactividad, ha sido buscada por muchos años. De especial interés a este respecto, son los contenidos de flúor y carbonato (Cuadros 2 y 5).

Cuadro 5 - Grado de carbonatación y fluorinización de fosfatos de roca (Caro y Hill, 1956) (8)

Variedad o fuente de roca	CO ₂ :P ₂ O ₅ ^{a/}	F:P ₂ O ₅ ^{a/}
Túnez, Gafsa	0,194	0,120
Carolina del Sur	0,177	0,137
Marruecos	0,171	0,131
Florida	0,120	0,113
Isla Curaçao	0,103	0,018
Florida	0,050	0,105
Idaho, Conda	0,055	0,103
Tennessee "Brown Rock"	0,037	0,106
Montana, Garrison	0,036	0,107
Apatita de Virginia	0,002	0,072

a/ relación en peso

El rol de F no es muy claro; este elemento es generalmente mirado como el principal agente por el cual el fosfato es vuelto insoluble y fijado. Una pausable extensión de esta idea, es que la presencia del F hace al fosfato menos reactivo. La roca de bajo F, como la de Curaçao, es más soluble en solución de citrato, por ejemplo, que lo que son algunas rocas que contienen grandes cantidades del elemento. (ver Cuadros 2 y 3). No obstante, otras rocas que contienen F en exceso de lo que requiere la fórmula de fluorapatita, son también más solubles que el fosfato de Curaçao.

En lo que se refiere al dióxido de carbono, se encontró que la roca altamente carbonatada del Norte de Africa es citada a ser más eficiente como un aditamento al suelo que rocas conteniendo menos CO_2 .

Según los resultados, los grados de fluorinización y de carbonatación son pues prominentes propiedades químicas de la clase de apatita de los fosfatos. La fluorinización baja la reactividad, mientras que la carbonatación la mejora (8).

Höweler, y Woodruff (1968), (17) revelaron la naturaleza química y mineralógica de tres fosfatos de roca: apatita de Missouri, roca fosfatada de Florida y roca fosfatada de Arkansas, considerablemente diferentes y el efecto que esto tuvo sobre la concentración de P en la solución del suelo.

La apatita de Missouri (de origen ígneo) fue presentada como de largos cristales (más de 1 cm), embebidos en mineral de Fe. Observaciones microscópicas mostraron que las partículas de roca fosfatada, cuando molidas, consistieron de pequeños pedazos de cristales de apatita. Debido a la

fuerte estructura cristalina, la roca fue muy resistente a las condiciones ambientales. La misma es una fluorapatita pura con solamente 5.6% de CaCO_3 . Esta caliza es presentada como partículas separadas intermezcladas con las partículas de apatita. Este hecho pudo ser observado bajo el microscopio después de coloreada la calcita. La roca fosfatada de Florida (de origen sedimentario), explotada como fosfatos granulados, consistió de apatita amorfa y criptocristalina. A través de un proceso ambiental en el suelo fue rápidamente destruída, logrando un rápido escape del P de esa estructura. La roca tuvo un contenido intermedio de P y CaCO_3 . La pequeña cantidad de CaCO_3 disuelta con solución parcial de la roca fosfatada indicó que solamente una pequeña cantidad de caliza estaba entremezclada con las partículas. El CaCO_3 del material no estuvo presente como caliza libre sino como una parte integral del mineral francolita, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3\text{OH})_3\text{F}$, en el cual algunos de los fosfatos fueron sustituidos por CO_3OH . La roca fosfatada de Arkansas (de origen sedimentario), presentó cristales microscópicos. La alta concentración de Ca y baja de P en las extracciones iniciales indicaron la presencia de grandes cantidades de partículas de caliza libre, fácilmente soluble.

Como consecuencia de ésto, este material tuvo un efecto definitivo sobre el pH del suelo, lo cual debe ser la causa para la reducción del P disponible a grandes dosis de aplicación.

Como conclusión de esta investigación, diremos que la fluorapatita cristalina relativamente pura de origen ígneo encontrada en Missouri, es mucho menos reactiva en el suelo, menos soluble en ácido diluído, y menos disponible para las plantas que la mezcla de carbonato-fluorapatita de origen sedimentario como la encontrada en Florida (17).

Los depósitos fosfatados de Sechura (Perú) descubiertos en 1958, de los más grandes en Sud América, fueron objeto de estudio por parte de numerosos investigadores.

Fassbender (1967)(15) en su revisión bibliográfica, muestra la composición química del fosfato de Sechura. (ver Cuadro 6).

Los resultados indican que si bien el contenido de P_2O_5 y CaO del fosfato de Sechura no es de los más altos dentro de las rocas fosfatadas comparadas, estos justifican ampliamente la explotación de los depósitos. Cuanto más bajo es el contenido de F de los fosfatos naturales, más aceptables son los mismos para la fabricación de fertilizantes y para su uso directo como fertilizante; el fosfato de Sechura contiene solamente 2.1% de F y sólo el fosfato de Curaçao presenta al respecto características más favorables. Asimismo es deseable que el contenido en óxidos de Fe y Al sea bajo; éstos llegan en el fosfato de Sechura a sólo 1.4%.

Análisis granulométricos, realizados por la Colorado School Research Foundation (Hoffmann y Breen, 1964), indican que la mayor parte (69%) del fosfato en su forma natural presenta partículas entre 125 y 149 micrones y que un 95% de las partículas se encuentran entre 210 y 74 micrones, siendo así el producto de una composición granulométrica muy aceptable. Resultados muy similares fueron obtenidos en The Fertilizers and Chemical Travencore, India (Hoffman y Breen, 1964). Los fosfatos de Sechura ocupan el primer lugar en el orden de solubilidad relativa entre los fosfatos estudiados (ver Cuadro 7).

Cuadro 6 - Composición química de algunas rocas fosfatadas. (Fassbender, 1967), (15)

	Sechura ¹	Araxa ²	Alvorada ²	Curacao ³	Florida ¹	Gafsa ⁴	Marruecos ⁴	Cola ⁴
P ₂ O ₅	31,82	34,90	29,20	37,90	33,39	26,12	37,28	38,66
Na ₂ O	1,74	0,21	-	-	0,30	1,06	0,28	0,35
K ₂ O	0,10	-	-	-	0,09	0,08	0,07	0,10
CaO	47,80	48,40	37,50	50,00	48,79	46,44	54,20	52,54
MgO	0,76	0,26	1,50	-	0,40	1,80	0,23	0,04
SiO ₂	2,25	4,47	3,00	-	5,83	7,44	1,06	3,38
Al ₂ O ₃	0,85	0,74	8,00	-	1,04	0,91	0,42	1,62
Fe ₂ O ₃	0,63	0,76	8,80	-	1,27	0,36	0,09	0,66
F	2,11	3,28	2,70	0,70	3,50	2,56	4,05	3,00
SO ₃	4,02	0,31	1,10	-	0,93	2,27	0,63	0,23
CO ₂	3,25	3,80	4,40	3,90	2,78	8,81	2,36	0,00

1- Harrington y col. (1966)

2- Igue (com. pers.)

3- Caro y Hill (1956)

4- Fassbender y col. (1966)

Cuadro 7 - Solubilidad e índice relativo de solubilidad de diez rocas fosfatadas.
(Hoffman y Breen, 1964)(15)

	Fosfatos solubles en citrato (% P ₂ O ₅)						Índice Solubilidad
	Extr.Ac.Cítrico 2%		Extr.Citr. Am.Neutro		Extr.Citr.Am.Alc		
	1 ^a	suma ²	1 ^a	suma ²	1 ^a	suma ²	
Islas Christmas	21,7	72,6	10,6	34,7	2,4	9,7	7
Fosfato Perú	31,0	98,7	19,3	75,5	0,7	8,0	10
Fos. Perú Calcinado	15,5	63,3	21,6	53,9	1,0	8,8	6
Fosfato Utah	13,1	55,2	4,3	26,3	0,5	2,2	6
Fosf. Florida "Pebble"calc	16,8	68,3	6,6	27,1	0,9	2,3	6
Fosforita fondo marino	26,9	91,7	19,0	67,6	2,4	11,5	9
Fosf.Flor. "Pebble"	18,8	68,5	7,8	35,0	1,2	3,7	7
Fosfato Togo	15,5	56,7	6,4	28,6	0,6	2,2	6
Fosf. Phalaborwa	2,0	13,4	0,4	3,0	0,0	0,0	1
Fosf.Carolina Norte	23,6	81,4	17,0	62,6	1,4	8,2	8

1. Obtenido a 230 m de profundidad, 25 km al W de California

2. Suma de 4 extracciones sucesivas.

Fassbender y col. han estudiado la solubilidad absoluta de fosfatos naturales preparando soluciones saturadas de los mismos a diferentes valores de pH, utilizando diferentes solventes. La solubilidad presenta una dependencia exponencial decreciente a valores neutros de pH y entre las rocas estudiadas se encontró el siguiente orden de solubilidad absoluta: Gafsa > Peru > Marruecos > Kola.

Fassbender y Ulrich informan que la velocidad de disolución de las diferentes fracciones a los fosfatos de Sechura estudiados aumenta en forma exponencial con la disminución de tamaño de las partículas. (15).

Adan Gomez et al., (1980) (1) llevaron a cabo investigaciones con el propósito de caracterizar química y mineralógicamente 6 rocas fosfóricas mexicanas (nacionales) y 2 extran geras.

Las rocas fosfóricas procedían de Zimapán, HGO; Saltillo, COAH; Baja California Sur; Florida y Marruecos. En el Cuadro 8, se observa que la roca de Zimapán contiene el por centaje más alto de P_2O_5 (32.93%), en comparación a las res tantes, pues algunas pueden ser consideradas con una con cen tración media, mientras que las de San Juan de la Costa era baja (18,08%).

De acuerdo a Mc Clellan y Hignett (1978), las rocas de Zimapán, Saltillo, Comp. 2 Rofomex, Florida y Marruecos son ricas en P_2O_5 .

El contenido de óxidos de Ca es alto en todas las rocas, a excepción de la roca de San Juan de la Costa. Respecto a los se qui óxidos de Fe y Al (P_2O_5), considerados como las impurezas principales, sus contenidos más altos también se encuentran en la roca de Zimapán (5,66%) y el más bajo en la roca de Marruecos (0.82%). Lo adecuado sería que es

Cuadro 8 - Composición química de roca fosfórica de diferentes yacimientos (Adan Gomez et al., 1980) (1)

Procedencia	P ₂ O ₅	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	F	CO ₂	RIA	Ha ¹⁰⁵⁺	P.M.	TOTAL
Zimapan, Hgo.	32,93	44,45	1,36	4,30	5,66	2,43	1,12	4,33	1,90	999,96	93,82
Saltillo, Coah.	27,98	45,56	0,59	1,35	1,94	2,35	2,21	15,87	0,48	991,51	96,39
Rofomex Cruda, BCS	23,82	28,37	0,79	2,15	2,94	2,58	4,53	28,30	4,32	937,53	104,86
San Hilario, BCS	20,52	33,98	1,20	1,39	2,59	2,21	4,56	26,31	3,80	973,40	93,97
Comp.2 Rofomex*	30,17	46,05	0,48	1,45	1,39	4,12	4,37	8,46	5,21	974,77	100,97
Florida	32,65	47,81	1,36	1,03	2,39	3,48	3,89	4,33	1,21	978,49	95,76
Marruecos	31,97	50,15	0,21	0,61	0,82	3,94	4,71	2,05	1,10	972,13	94,74
San Juan de la Costa (BCS)	18,08	30,17	1,22	1,24	2,46	2,52	3,63	24,97	6,41	980,50	87,24

* Concentrado por flotación - Valores en %

tos valores fueran lo más bajos posible, por su influencia en la formación de fosfatos insolubles.

Para el F^- (material que influye en la reactividad química) se ha establecido un rango de 1 a 3%, y por lo que se puede observar la mayoría de las rocas satisfacen este margen.

En cuanto a carbonatos (componente considerado decisivo en la solubilización y disponibilidad del P_2O_5 del mineral fosfatado) las rocas de Zimapán y Saltillo mostraron los valores más bajos, y la de Marruecos el valor más alto.

Tanto el contenido de sílice, denominado residuo insoluble en ácido (RIA) como el porcentaje de humedad, influyen más que nada en su valor comercial, y como se ve las rocas de Baja California Sur muestran los valores más altos.

Por medio de análisis de difracción de Rayos X, se pudieron obtener algunos resultados, los cuales parcialmente ayudaron al conocimiento de la composición mineralógica de las rocas. Del mencionado análisis se observó que la mayoría de las rocas están constituidas por los mismos minerales (carbonato apatita; fluor apatita; calcita; cuarzo; feldspatos, etc.), aunque en diferentes proporciones. Por otra parte, respecto al grado de cristalización, las rocas de San Hilario y de San Juan de la Costa mostraron estar en menor grado, según se dedujo de la forma y poder de resolución de cada uno de los picos que representan a cada uno de los minerales. En cambio, la roca de Zimapán, presenta el más alto grado de cristalización, por lo que se puede predecir una difícil liberación del P_2O_5 contenido en ella. Respecto a las rocas de Florida y Marruecos, estas manifiestan una cierta similitud, aunque la roca de Florida tiene un más alto grado de cristalización, con respecto a la roca fosfatada de Marruecos (1).

2.3. EFICIENCIA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

2.3.1. Formas de medir la eficiencia

Morón (1982) define la eficiencia relativa del hiperfosfato o también porcentaje de superfosfato equivalente, como la dosis en kilogramos de P_2O_5 bajo la forma de superfosfato, que son necesarios para producir el mismo rendimiento que X kilogramos de P_2O_5 como hiperfosfato, expresándose dicha dosis de superfosfato como porcentaje de la dosis respectiva de hiperfosfato. (24).

Por otra parte, Reynaert y Castro (1968), definen la eficiencia relativa, como la relación entre las cantidades de P_2O_5 de cada fuente que permiten alcanzar el mismo rendimiento. También emplean este índice para decidir la conveniencia económica de una u otra fuente de P, estando representada la eficiencia relativa por el límite económico de la relación: (9)

$$\frac{PH}{PS} = \frac{\text{Precio de 1 kg de } P_2O_5 \text{ Hiper}}{\text{Precio de 1 kg de } P_2O_5 \text{ Super}} = \frac{\text{Precio 1 ton.Hiper}/30.5}{\text{Precio 1 ton.Super}/23}$$

2.3.2. Factores que afectan la eficiencia relativa

Los factores que afectan la eficiencia relativa del fertilizante fosfatado son agrupados dentro de cuatro grupos (Rabuffetti et al., 1981) (29).

2.3.2.1. Características del suelo

2.3.2.2. Propiedades del material
fertilizante

2.3.2.3. Tipo de cultivo

2.3.2.4. Forma y época de aplicación

2.3.2.1. Características del suelo -

2.3.2.1.1. Ph.

2.3.2.1.2. Actividad del ion Ca^{+2} y presencia de CaCO_3 libre.

2.3.2.1.1. Ph -

El pH del suelo puede afectar la eficiencia a través de la disponibilidad de P para las plantas bajo dos formas: la primera a través de la naturaleza de las reacciones que se suceden y sus productos de reacción; y la segunda, afectando el crecimiento de los sistemas radiculares de las plantas y su habilidad para tomar el P del suelo. A pesar de su gran importancia este segundo factor no debe ser considerado como determinante en la disponibilidad de P. (Engelstad y Terman, 1976), (13).

Aquellos fertilizantes solubles en agua que aportan P bajo la forma de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ o bajo formas combinadas de N-P, no se ven afectados en su solubilidad por el pH, siendo solubles en un amplio rango de pHs de suelos, viendose sí afectada la asimilabilidad a largo plazo de los productos de reacción formados. Este efecto es más notable en suelos de pH extremos; en aquellos ácidos se evoluciona a fosfatos de Fe y Al, y en los calcáreos a fosfatos de Ca. (29).

Black (1975), señala que la disponibilidad de P a partir de las fuentes de P insolubles o tipo fosforita aumenta a medida que se produce una disminución en el pH del suelo. (4).

Labella y Améndola (1977), citan diversos autores que han encontrado en suelos de similar pH, eficiencias relativas diferentes. (24).

Asimismo, Castro et al., (1981) encontraron poca relación entre pH y rendimiento de la fosforita en un amplio rango de suelos, estableciendo que otros factores como el contenido de M.O., saturación de bases y capacidad de intercambio podrían explicar este comportamiento. Realizaron una serie de ensayos en el Noreste y en el litoral Oeste de Uruguay, sobre suelos diferentes, con manejos y especies diferentes, a pesar de lo cual, la tendencia general de la M.O. a explicar mejor que el pH las variaciones en eficiencia, se mantenía. A través de correlaciones múltiples entre M.O. y pH, sugieren que la M.O. explicaría lo mismo que el pH, más otras características del suelo, que el pH del suelo no las reflejaría. (9).

2.3.2.1.2. Actividad del ión Ca^{+2} y presencia de CaCO_3 libre.

La actividad del ión Ca^{+2} en la solución del suelo, es considerada un factor determinante en las diferencias de eficiencia que presenta una fuente de P insoluble en agua en suelos de pH similar; a menor actividad del ión Ca^{+2} en la solución del suelo, mayor será la disolución de la fosforita (Rabuffetti et al., 1981), (29).

En La Estanzuela, se encontraron eficiencias relativas que variaban considerablemente en suelos de pH similar, asignando esas diferencias a la pre

sencia de carbonatos de Ca en abundancia, lo que implicaba una menor eficiencia de la fosforita en suelos calcáreos y como consecuencia menor disponibilidad de P para las plantas.(34).

Mc George (1939) estableció que el efecto depresivo del CaCO_3 en la absorción de fosfatos por las plantas es debido a una disminución en la solubilidad de los fosfatos del suelo y a una tendencia del CaCO_3 a mantener el pH en un nivel elevado.(27).

2.3.2.2. Propiedades del material fertilizante

2.3.2.2.1. Granulación -

El tamaño de gránulo de un fertilizante puede afectar significativamente su eficiencia. Si el material presenta una solubilidad en agua, la granulación permite disminuir el contacto entre el fertilizante y el suelo, en el período inmediato posterior a su aplicación y así mantener por más tiempo su eficiencia inicial (Rabuffetti et al., 1981) (29).

Taylor y Terman (1964) señalan que para gránulos de fertilizantes de fuentes solubles en agua, de más de 6 mm de diámetro, la efectividad es relativa a la cantidad de P soluble en agua del grano el cual determina el volumen de suelo afectado por el P. (13).

En este sentido, Sample y Taylor (1964), encontraron que el P contenido en gránulos de fertilizante de 6mm de diámetro con 14 y 70% de P soluble en agua difundieron en 4.2 y 20.6 cm^3 de volúmen

menes de suelo respectivamente (13).

En suelos alcalinos la granulaci3n de fertilizantes fosfatados que contienen Ca presenta peque \dot{a} o nula ventaja agron3mica. (13).

En lo que respecta a las formas de P insoluble en agua, numerosos autores se \dot{a} alan que su aplicaci3n en forma pulverulenta aumenta el contacto entre las part \dot{i} culas de fertilizante y la soluci3n del suelo, con lo que se lograr \dot{a} una mayor velocidad de reacci3n y por lo tanto su eficiencia. (4, 13, 29).

Desde el punto de vista del manejo, la granulaci3n beneficia la aplicaci3n del fertilizante dado que reduce el transporte de las part \dot{i} culas en el aire fundamentalmente en d \dot{a} as ventosos, y tambi3n reduciendo el endurecimiento del material (Rogers, 1978), (30).

2.3.2.2.2. Origen de la roca fosfatada -

El origen de la roca fosfatada es el que determina en gran forma la potencialidad de uso de la misma, ya sea para la aplicaci3n directa o para la industria (Rabuffetti et al., 1981), (29).

2.3.2.3. Tipo de cultivos -

Los par3metros relacionados al tipo de cultivo que afectan la eficiencia de un fertilizante fosfatado son:

- * duraci3n del cultivo
- * extensi3n del sistema radicular
- * capacidad de absorci3n de f3sforo de una fuente particular.

Con respecto a la duración del cultivo, aquellos de ciclo de crecimiento largo, tipo pasturas, presentan requerimientos mejor distribuidos a lo largo de su vida útil, por lo que las fosforitas pueden ser una fuente alternativa de P, siempre que los requerimientos de implantación sean cubiertos (Rabuffetti et al, 1981), (29).

Las diferencias morfológicas a nivel radicular que presentan gramíneas y leguminosas, afectan su capacidad para la toma de P del suelo. Mays et al., (1976), señalan que las gramíneas producen una densa red de finas raicillas completamente ramificadas en la superficie del suelo hasta profundidades de 25-50 cm. Esta red de raíces explora extensivamente el suelo y está capacitada para extraer suficiente P del mismo, el cual no podría suministrar la cantidad adecuada de P para las leguminosas u otras plantas con sistemas radiculares no tan desarrollados. Un número de leguminosas presentan sistemas radiculares no ramificados y extensamente profundos, tipo alfalfa, lo que no le sería de mucha utilidad debido a que el P es encontrado y tomado por las raíces en los primeros 20 a 30 cm de suelo. (22).

En un estudio realizado por Caradus (1980) sobre 10 especies de gramíneas y 11 de leguminosas, sembradas puras, se encontró una marcada diferencia en la eficiencia de utilización del P que posteriormente puede ser explicada por diferencias morfológicas en el sistema radicular, P absorbido por unidad de raíz y concentración de P en el sistema radicular. Sus resultados concuerdan en general con los obtenidos por Evans (1977), (6), que examinó la morfología radicular de 5 gramíneas y tres leguminosas; concluyó que las primeras, presentaron una marcada ventaja

ja sobre las segundas en lo que se refiere a la absorción de agua y nutrientes. Sin embargo, sin competencia, el P absorbido por las gramíneas y leguminosas por encima de especies y de niveles de P, no difirieron. Esto significa que el P absorbido por unidad de peso y longitud radicular es mayor para las leguminosas que para las gramíneas dentro del espacio de suelo de la maceta en la cual creció la especie pura. De este modo aunque las gramíneas exploran mejor el suelo, podría favorecer que las leguminosas estarían más capacitadas para absorber más P por unidad radicular. Esto no contradice las observaciones de Jackman y Monat (1972), en las cuales se señalan que las gramíneas son más tolerantes a bajos niveles de P en el suelo; las leguminosas con una gran absorción por unidad radicular pero con un lento crecimiento de las mismas, posiblemente agotan el P asimilable más rápidamente. Pero en competencia, los sistemas radiculares de las gramíneas serían los primeros en absorber el P asimilable a pesar de su lenta absorción por unidad de longitud radicular, conclusión a la cual arribó Evans (1977), (6).

La capacidad de absorción de P se relaciona con la capacidad de absorción de Ca y la acidificación de la rizósfera. Aquellas especies que acumulan mucho Ca o que acidifican en mayor grado el volumen de suelo en contacto con las raíces, podrán absorber más fácilmente el P proveniente de una fuente tipo fosforita. En general se dice, que las leguminosas, debido a su mayor absorción de Ca son más eficientes que las gramíneas en la absorción del P de la fosforita (Rabuffetti et al., 1981), (29).

Labella (1979) señala como más eficientes aquellas especies con alta capacidad de intercambio catiónico y alta disociación ácida.(24).

Russell y Russell (1968) establecen una escala en la cual la Brassica presenta mayor capacidad para utilizar fosfatos insolubles, una intermedia a leguminosas como trébol blanco, rojo y alfalfa y las de menor capacidad, cereales y gramíneas. (24).

2.3.2.4. Forma y época de aplicación -

Con respecto a la forma de aplicación, el voleo y posterior incorporación previo a la siembra, así como las refertilizaciones en cobertura, son dos prácticas comunes en la refertilización de pasturas (Engelstad y Terman, 1976),(13).

Aquellas fuentes solubles aplicadas en superficie, reaccionan con una delgada capa superficial, lo que las semejaría a aplicaciones localizadas, semejantes a las que se hacen en bandas. Las fuentes de baja solubilidad son relativamente ineficaces en aplicaciones superficiales, dado que una mínima parte del P que contienen puede pasar al perfil del suelo por acción del agua de lluvia (Black, 1975),(4).

Para fuentes insolubles, Morón (1982), señala que el enterrado y mezclado del fertilizante con el suelo aumentaría su eficiencia, por lo cual la refertilización en cobertura con hiperfosfato determina que la eficiencia del mismo disminuya, y esta podría ser mayor si se aplica granulado. (24)

Stanford et al., (1950) encontraron resultados satisfactorios con refertilizaciones fosfatadas en alfalfa, trébol ladino y especies de gramíneas, sugiriendo que la fuente de P a utilizar para aplicaciones en superficie debería ser una altamente soluble en agua. (13).

La época de aplicación afecta la eficiencia del fertilizante aplicado a través de la humedad del suelo. La abosroción por parte de las plantas, del P aplicado, se facilita en suelos húmedos y se inhibe en suelos secos.(4).

2.3.3. Resultados experimentales

Lynch (1951) resumiendo una serie de resultados de comparación de superfosfatos con fosfato de roca finamamente molida del Norte de Africa, indica que en suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas y suelos no encalados, los resultados obtenidos en refertilización de pasturas, son similares. En zonas encaladas y el resto de las zonas de Nueva Zelandia, las mejores respuestas fueron obtenidas con superfosfato. En comparaciones de superfosfato con fosfato de roca de Nauru, este último mostró una menor eficiencia y un efecto más tardío. El autor sugiere el uso de estas dos rocas fosfatadas molidas en suelos ácidos, lixiviados. (21).

Cottier (1952) resumiendo experimentos realizados comparando superfosfato con fosfato de roca de Nauru, en refertilización en cobertura de pasturas, indica que en la mayor parte de Nueva Zelandia el superfosfato dió los mejores resultados, a pesar de que en algunos ensayos específicos, el fosfato de roca de Nauru fue considerablemente más lento que el superfosfato en causar res

puesta en la pastura en la que se aplicó. Asimismo, el efecto residual del superfosfato, fue en la mayoría de los ensayos, mayor; a pesar de lo cual se indica que se requieren más estudios al respecto. Ensayos realizados con mezcla de ambas fuentes no mostraron resultados alentadores. (12).

Karlovsy (1958) llevó a cabo una serie de ensayos para evaluar seis fuentes de fertilizantes fosfatados entre los que se encontraban el superfosfato común, fosfato de roca de Nauru, y un fosfato de roca del Norte de Africa; en dos suelos, uno de ellos arcilloso derivado de cenizas volcánicas con pH 5.7 y el otro, arenoso aluvial de pH 5.9. Se llegó a la conclusión que el fosfato de roca de Nauru (molido), mostró comportamiento inferior al superfosfato en ambos sitios, cuando se aplicó en el mismo peso base. El fosfato de roca del Norte de Africa presentó tan buenas respuestas como el superfosfato, en suelos no encalados; en suelos encalados las respuestas del fósforo de roca del Norte de Africa fueron mucho más pobres, especialmente en el arenoso de pH 5.9 (19).

Grigg et al., (1982) realizaron un ensayo de fertilización de una pastura vieja y pobre en especies, dentro de las que figuraban el trébol blanco y el raigrás sobre un suelo sedimentario de pH 6.5. Las fuentes de P evaluadas fueron 7, entre las que figuraban el superfosfato común, los fosfatos de roca de Nauru y Gafsa y el fosfato calcinado en las Islas Christmas (CCIP). El resumen de los resultados obtenidos muestra, en primer lugar, que la eficiencia de las diferentes fuentes aplicadas fue la siguiente: termofos > superfosfato > CCIP-super = Gafsa > Nauru. (CCIP-super es una mezcla de CCIP y superfosfato común en una proporción 1:3). En lo refe -

rente a la producción de M.S., los rendimientos anuales van en un rango de 80 a 106% del rendimiento logrado con superfosfato común en aplicaciones anuales (modo 1) y de 75 a 108% cuando eran aplicados en una sola dosis al comienzo del ensayo (modo 2) (Figura 1). Los rendimientos obtenidos pueden observarse en la Figura 2.

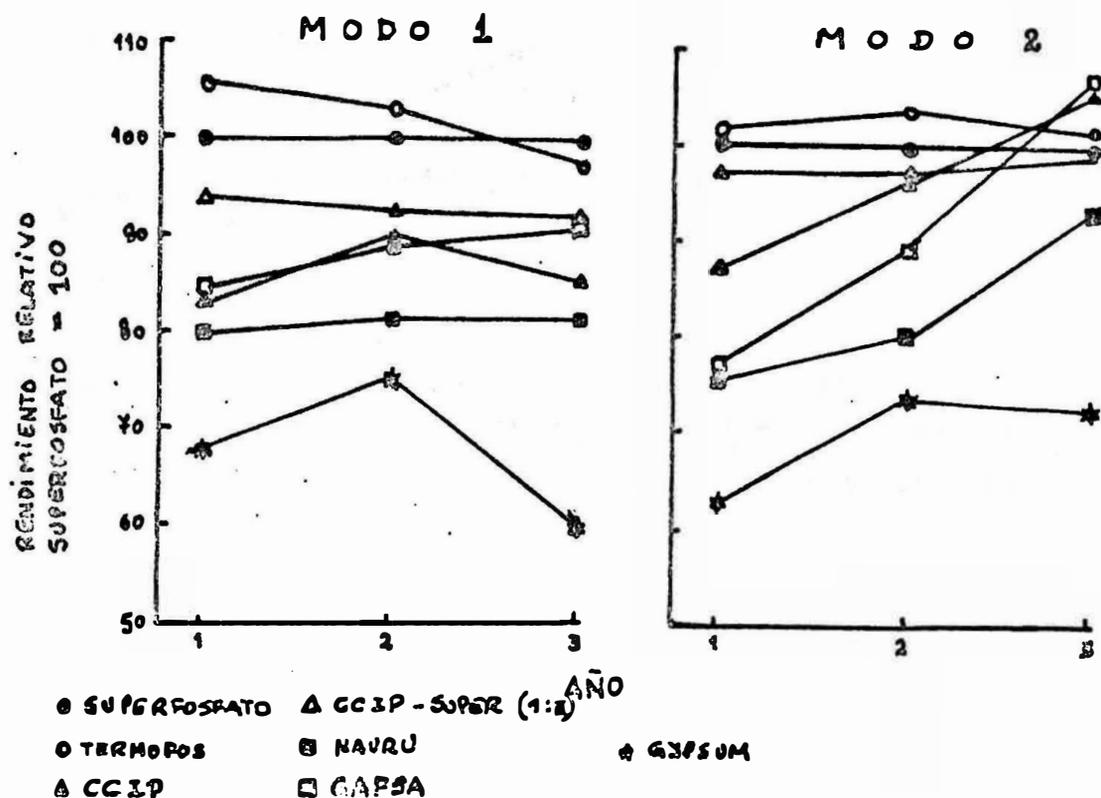


Figura 1 - Rendimientos anuales relativos al superfosfato = 100, para cada modo de aplicación. (Grigg et al., 1982) (16).

Mc Naught (1969) señala como una concentración aceptada de P en el forraje para el crecimiento de gramíneas y leguminosas de 0.35 a 0.40%. En el presente ensayo las concentraciones anuales promedio estaban dentro o por encima de este rango para todos los casos de super, termofos y CCIP-super en ambas formas de aplicación; CCIP y fosfato de Gafsa estuvieron por debajo del límite inferior en el año 1, y en el resto de los años por encima del valor crítico, y el fosfato de roca de Nauru presentó concentraciones de P por debajo del límite inferior

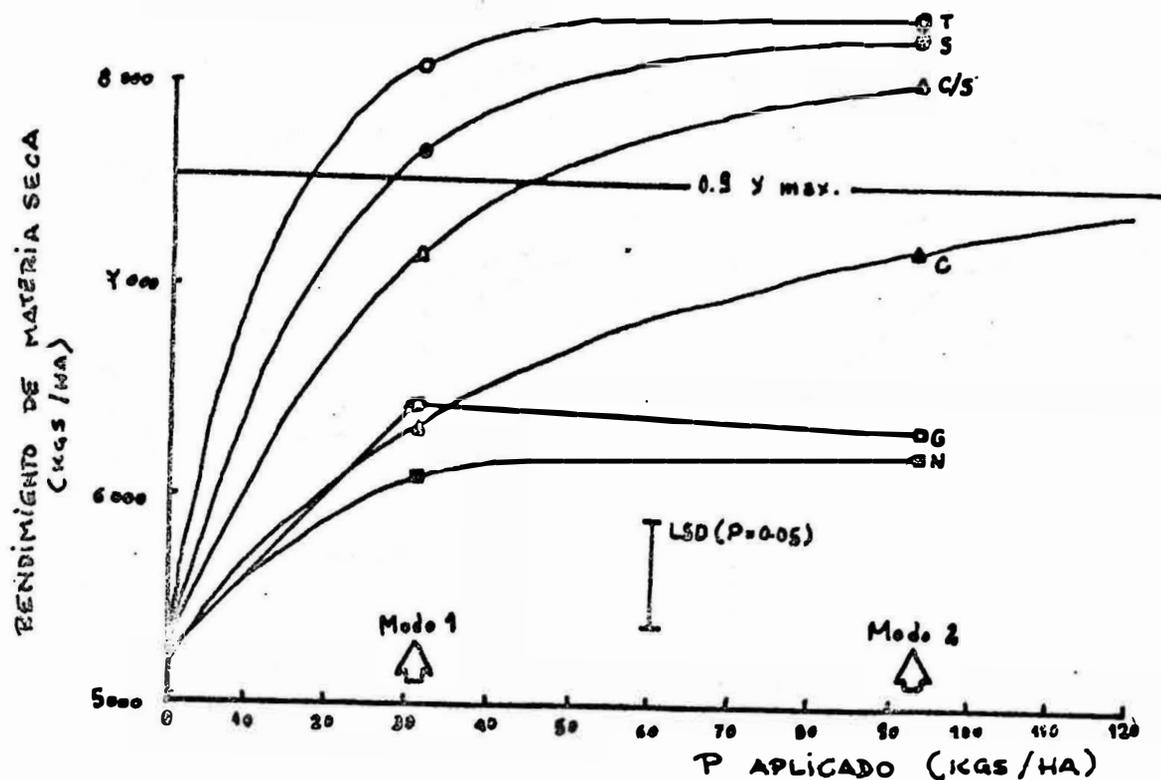


Figura 2 - Curvas de respuesta para diferentes dosis de aplicación. Año 1. (Grigg et al, 1982)(16).

en todas las estaciones. Los datos de concentración de P en el forraje y de P absorbido se presentan en las Figuras 3 y 4. (16).

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

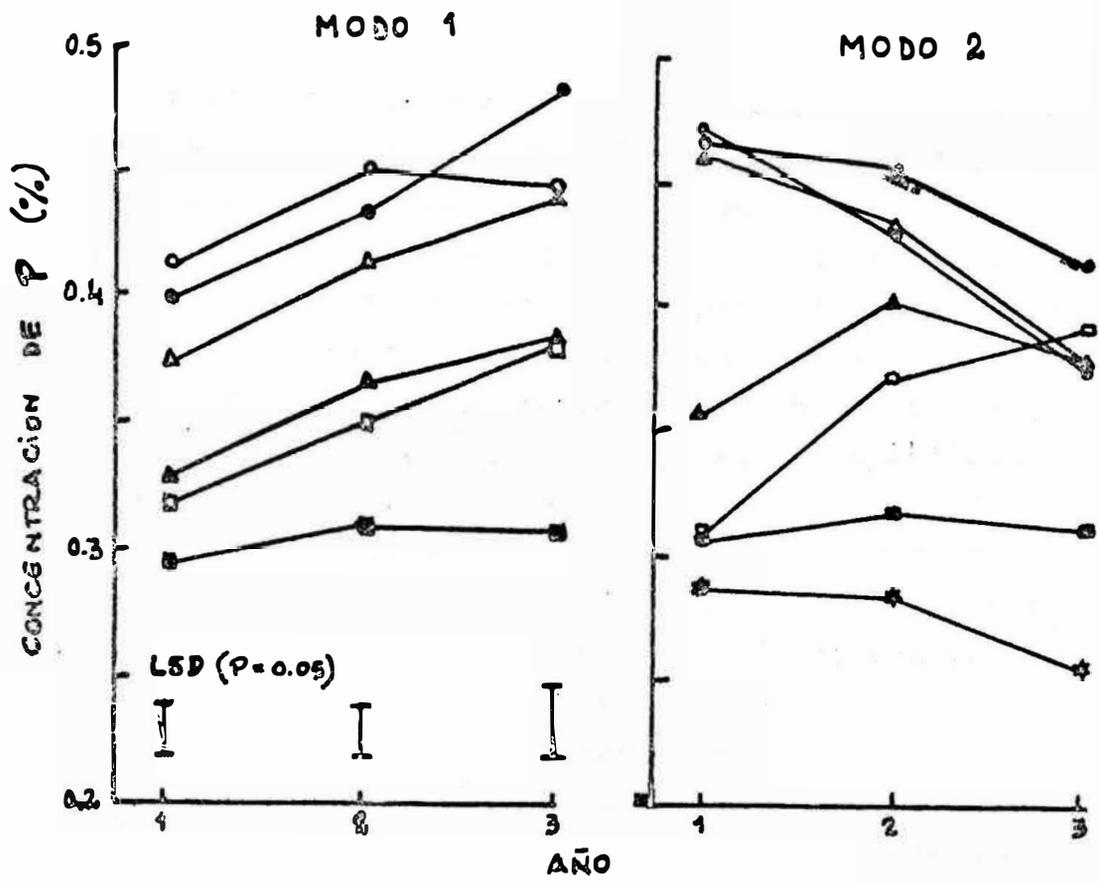


Figura 3 - Medias estacionales de concentración de P en el forraje. (Grigg et al, 1982)(16).

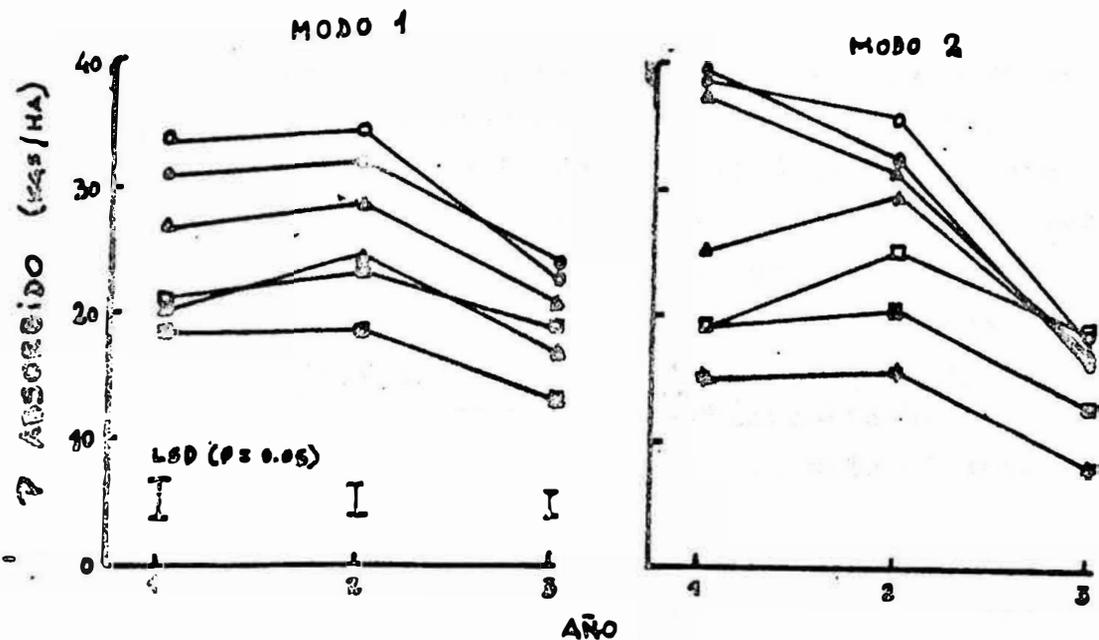


Figura 4 - P. absorbido por el forraje (Grigg et al., 1982)(16).

Los suelos empleados variaban en un rango de pH de 5.4, a 6.2, de 2.2 a 5,7% de M.O. y de 5.8 a 11.8 ppm de P asimilable, dentro de diferentes categorías de edades, desde campo recién roturado hasta chacra vieja. Los fertilizantes empleados fueron superfosfato e hiperfosfato, en diferentes dosis tanto en la implantación como en las refertilizaciones. Las eficiencias relativas del hiperfosfato frente al superfosfato calculadas en base a las aplicaciones iniciales, presentan valores variables desde 0.322 hasta 1.106. Todos los valores de eficiencia se mantuvieron por debajo de 1, excepto el valor de 1.106 que correspondía a una pradera arenosa sobre cretáceo, con valores de pH, M.O. y P-Bray más bajos de todos los suelos estudiados. La eficiencia del hiperfosfato en refertilizaciones fue aparentemente menor que la lograda para fertilización inicial, especialmente para la pradera arenosa (9).

Novella y Castro (1980) reseñan que los resultados obtenidos en la comparación de eficiencias de super e hiperfosfatos en el país han mostrado que, aunque las fosforitas pueden ser utilizadas con éxito para la refertilización de pasturas en muchos suelos, resultan de muy baja eficiencia en suelos con alto contenido de Ca del litoral oeste del Uruguay. El ensayo realizado consistió en la siembra de trébol blanco "Estanzuela Zapican" sobre dos suelos, una pradera parda y un planosol sobre Formación Libertad, con aplicación de superfosfato común, hiperfosfato (fosfato de roca de Túnez molida y granulada) y una mezcla de hiperfosfato molido con azufre. Los resultados marcan una baja eficiencia inicial del hiperfosfato con respecto al superfosfato en estos suelos, la cual en el primer año es inferior al 50% cuando se mide en kilogramos de fertilizante y al 30% cuando se toma en cuenta la cantidad de P_2O_5 agregado. La eficiencia relativa del hiperfosfato va aumentando

con los años, llegando a igualar al superfosfato al tercer año en la pradera parda. Aún así, al cabo de los períodos de evaluación la eficiencia total del hiperfosfato llega a ser sólo un 56% de la del superfosfato en ambos suelos. En la Figura 5 puede observarse los rendimientos obtenidos (kg de M.S./há de trébol blanco) para superfosfato e hiperfosfato a lo largo de 2 años. (26)

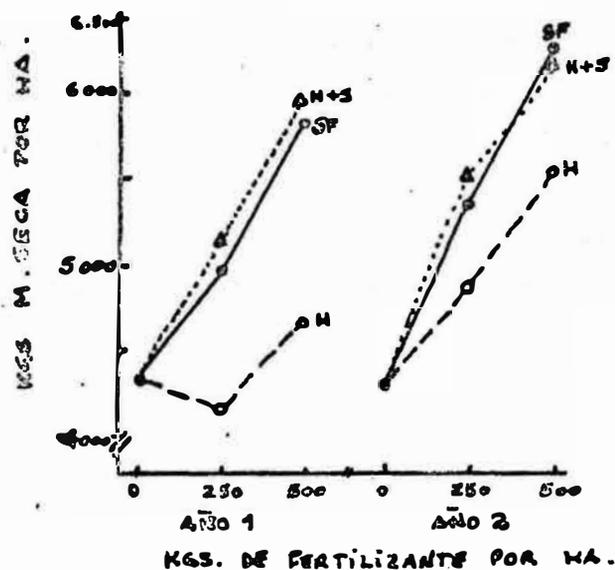


Figura 5 - Rendimientos de trébol blanco con distintos tipos y niveles de fertilizante (promedio de los dos sitios) (Novella y Castro, 1980) (26).

Morón et al., (1982) realizaron un experimento para evaluar tres fuentes de P diferente aplicadas a una pastura convencional sobre suelos de basalto. El trabajo consistió en la siembra de una pastura convencional compuesta de trébol blanco, lotus y festuca, en un suelo negro, virgen, profundo de basalto (pH 5.6, 6.93% M.O. y 2.47 ppm de P) a la que se le aplicaron cuatro niveles de P_2O_5 total por Há (0, 60, 120, 180), bajo la forma de superfosfato, hiperfosfato y superfos. En la fertilización inicial no se incorporó el fertili

zante con el suelo, lo que se podría asimilar a una fertilización en cobertura. En base al comportamiento mostrado por la producción total y por especie, se seleccionó como el mejor indicador vegetal de la disponibilidad real de P a la producción de trébol blanco. La eficiencia hallada para el hiperfosfato fue de alrededor del 65% respecto al superfosfato en promedio para el 2do. y 3er. año. Por su parte, el superfosfato presentó, en términos generales, una eficiencia inferior al hiperfosfato, comportamiento que llama la atención dado que el porcentaje de P asimilable para el mismo fue superior al del hiperfosfato. Una posible explicación a este comportamiento podría ser el hecho de tener en su composición fosforitas de inferior calidad a las que componen el hiperfosfato. En la Figura 6 se resumen las eficiencias relativas promedio de las diferentes dosis para las tres fuentes en dos edades de la pastura (25).

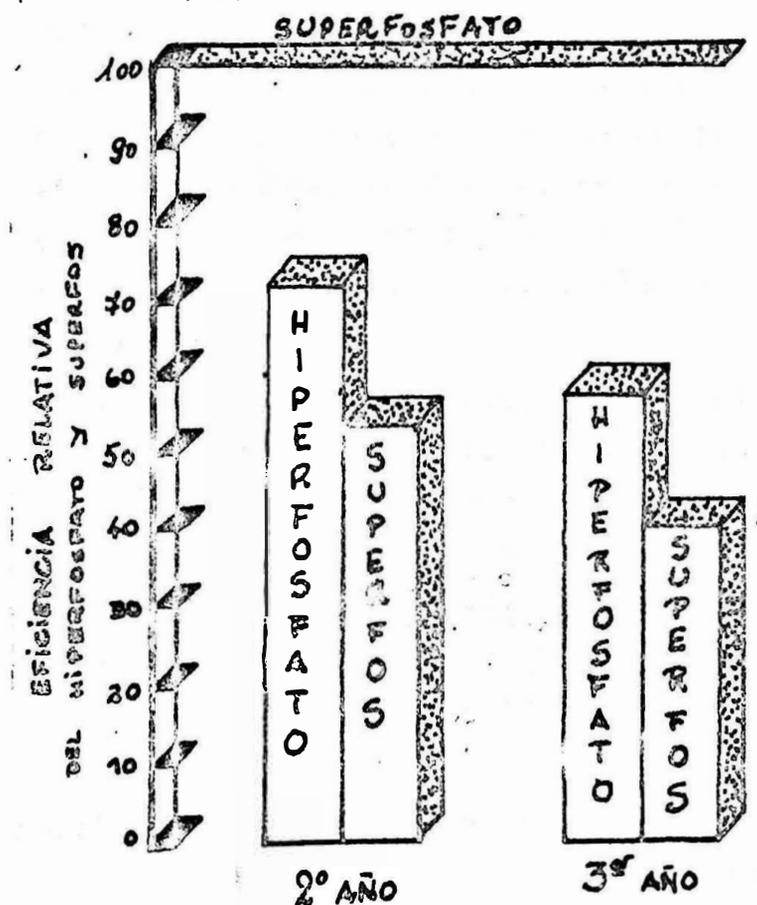


Figura 6 - Eficiencia relativa promedio de tres dosis para tres fuentes de P en dos edades de la pastura. (Morón et al., 1982) (25).

2.4. EVOLUCION DE LA COMPOSICION BOTANICA.

2.4.1. Relación del P con la evolución de una pastura.

Una de las consecuencias de las divergencias entre las especies, en lo que respecta a su respuesta frente a distintos niveles de suministro de P del suelo, es su variación en la capacidad relativa para competir por la reserva de P. Por lo tanto, las diferencias en el suministro de P pueden traducirse en variaciones importantes en la composición botánica de plantaciones mixtas o de vegetación natural. Estas variaciones en la composición de un tapiz, no se explicarían totalmente por la competencia directa por el P, sino que parecería más probable que las relaciones causa-efecto tengan el siguiente orden:

- 1° - algunas especies son mucho más sensibles que otras a un suministro escaso de P del suelo, por lo que aquellas especies sensibles a la de fi ci en ci a de este elemento, cuando se siembran en suelos pobres en P representan menor por cen t a je en peso del total, en poblaciones con stan tes y donde no se da competencia por otros fac to res;
- 2° - como resultado de su reducido crecimiento en los suelos de bajo contenido en P, aquellas es pe ci es sensibles perderían parte de su capa ci dad de competencia con respecto a otros factores de crecimiento además del P. De esta forma aque ll as especies tolerantes podrían eliminar aque ll as que sí sean afectadas por la de fi ci en ci a (Black, 1975). (4).

Carámbula (1977), (7) señala que las leguminosas van dominando progresivamente la pradera, hasta que especies como el raigrás anual (*L. multiflorum*) y autóctonas como el *Paspalum dilatatum*, ocupan un lugar importante en la

composición florística de la pastura. (ver Figura 7).

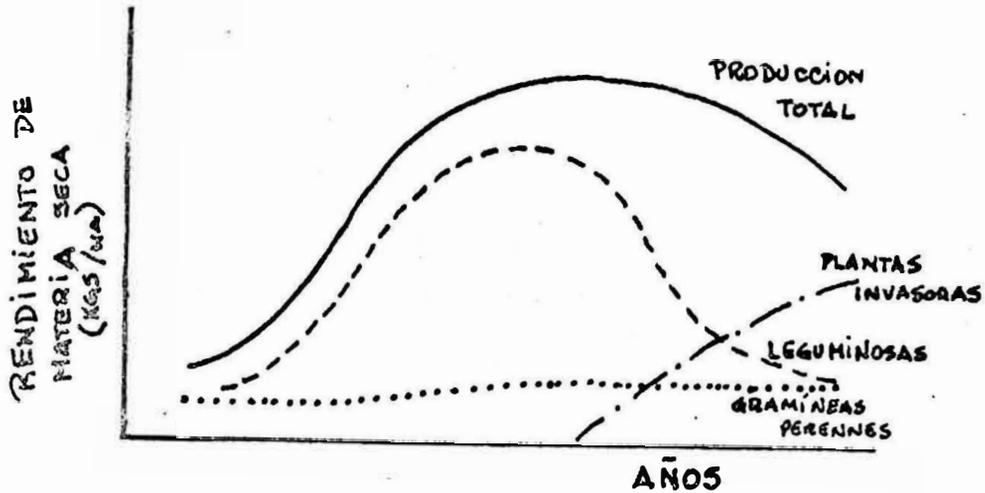


Figura 7 - Diagrama de la evolución de una pradera (Carámbula)(7).

Diversos autores han estudiado los factores que limitan la productividad en pasturas convencionales, y la tendencia de estas a degradarse con el tiempo. Las posibles causas o factores que estarían contribuyendo serían los siguientes (32):

- 1°- gradual eliminación de las especies más productivas y su reemplazo por especies menos productivas.
- 2°- deficiencia de oxígeno del suelo.
- 3°- exceso de CO₂ en el suelo.
- 4°- secreciones tóxicas
- 5°- deficiencia de nitrógeno

- 6°- escasa disponibilidad de P y pH favorable.
- 7°- aumento de 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 morfo y fisiológicas de las especies que integran la pastura.

2.4.2. Resultados experimentales.

En el experimento realizado por Karlovsky (1958), descrita con anterioridad, se encontraron diferencias muy pequeñas en la composición botánica de la pastura como consecuencia de los diferentes tratamientos. Las parcelas control mostraron una cantidad ligeramente menor de tréboles y mayor de malezas que aquellas tratadas; durante el curso del ensayo, hubo un incremento en la cantidad de *Dactylis glomerata* a expensas del raigrás (*Lolium perenne*) y del trébol blanco (*Trifolium repens*) (19).

Cook et al. (1978) desarrollaron un ensayo sobre el cual se estudió, entre otras cosas, el efecto del P en la degeneración de una pastura de raigrás perenne y trébol blanco, sobre un suelo podzólico de origen sedimentario. La dosis de fertilizante aplicadas fueron de 0,250 y 500 kg de superfosfato. Las aplicaciones de 250 y 500 kg incrementaron la producción total de la pastura desde 4393 kg de MS/há, para el testigo (SP0) a 6810 y 8317 kg de MS/há para las dosis de 250 (SP250) y la de 500 kg/há (SP500) respectivamente, así como también se modificó la composición botánica de la misma. En el último corte se encontró que para SP0, el rendimiento de las pasturas sembradas (raigrás y trébol blanco) fue solamente el 15% del total, mientras que 85% de

forraje remanente consistió en *Botriochloa macra* y gramíneas nativas de crecimiento estival. Por otra parte, los tratamientos SP250 y SP500 tuvieron un rendimiento de especies sembradas del 43 y 53%, respectivamente. Otro resultado significativo de este trabajo es la influencia del ritmo de crecimiento estacional de los componentes individuales en la producción total de la pastura, pasto rojo (red grass) y otras gramíneas estivales contribuyeron sustancialmente en la producción de los meses de verano, presentando crecimiento nulo o muy pequeño en los meses comprendidos de abril a setiembre, en los cuales el raigrás perenne fue la única especie que contribuyó sustancialmente a la producción de este período, a pesar de su estrecha dependencia a la aplicación del superfosfato (11).

En nuestro país, Morón et al. (1982) en experiencia descrita anteriormente, evaluaron el comportamiento de una pradera de trébol blanco, lotus y festuca frente a diferentes dosis iniciales y fuentes de P en un suelo profundo de basalto. En términos generales se encontró respuesta baja o nula, tanto en la producción anual como en la acumulada, siendo el máximo incremento logrado a través de los 3 años solamente de 19%. Se realizó composición botánica del 2do y 3er año. La producción de festuca y malezas se descartó, ya que su cantidad fue de poca importancia. En lo referente al lotus y trébol blanco, se observó que a dosis de P crecientes, se provocaba una respuesta negativa en el primero y altamente positiva en el segundo, relación ya reportada en Uruguay por Castro et al. (1973), Morón y Pérez (1981) y Termezana (1978). En las figuras 8 y 9 se observan las curvas de producción total y por especie para el 2do y 3er año de la pastura (25).

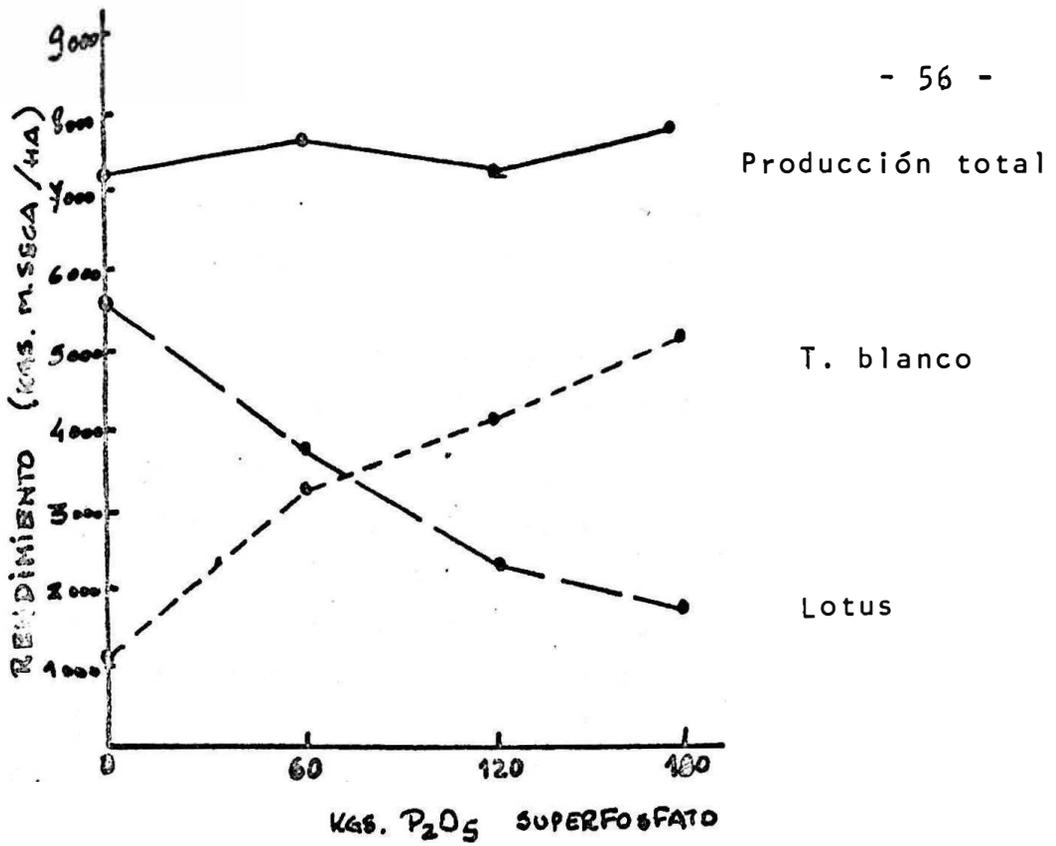


Figura 8 - Respuesta en producción total y por especie en el SEGUNDO año a la fertilización inicial (Morón et al., 1982) (25)

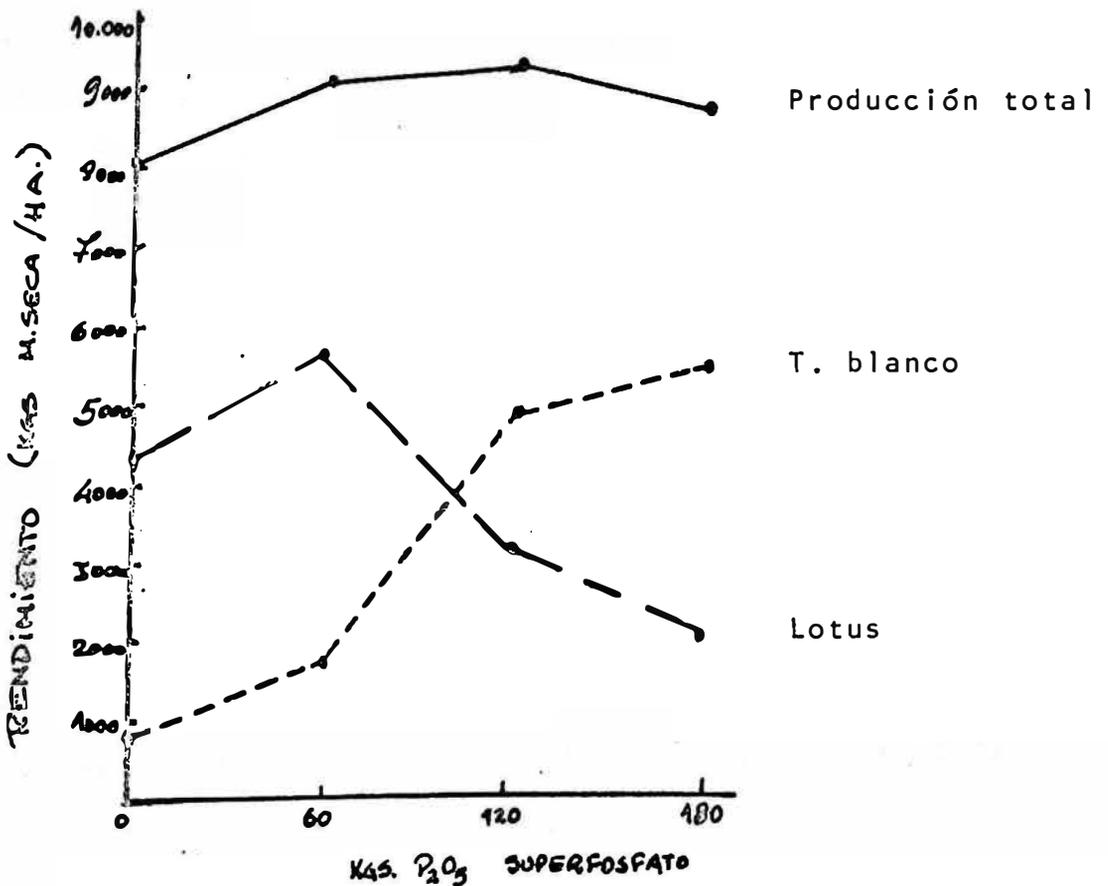


Figura 9 - Respuesta en producción total y por especie en el TERCER año a la fertilización

Morón y Pérez (1981) tratan de explicar esta respuesta negativa del lotus a través de un efecto indirecto; al aumentar el P disponible para las especies, el trébol blanco haría mejor uso del mismo, logrando mayor desarrollo y reprimiendo al lotus al competir por otros factores. (25)

En otros experimentos desarrollados sobre diferentes suelos y con diferentes especies, se evaluó la respuesta en rendimiento de forraje, la composición botánica y el P en el suelo, previo a la fertilización. De esta serie de ensayos se destaca el realizado sobre una pradera negra de la Unidad Paso Coelho (vertisol háplico de pH 5.3, 7.9% de M.O. y 3.5 ppm de P disponible por Bray I), en la cual se sembró una pastura integrada por trébol blanco, lotus, Phalaris y a la que se le aplicaron 0, 20, 40, 80 y 160 kg P_2O_5 /há en fertilización inicial y refertilizaciones de 0, 15, 30 y 45 kg de P_2O_5 /há como superfosfato. En lo que respecta a la composición botánica, la fertilización resultó en un aumento en el porcentaje de lotus y leguminosas nativas (trébol carretilla y polimorfo); así como también en el porcentaje de Phalaris. Las refertilizaciones anuales también afectaron la composición botánica en forma similar, siendo el lotus y las leguminosas nativas las que aumentan con la dosis de fertilización en el segundo año. Después del 2do. año el trébol blanco desaparece, disminuyendo en general las otras leguminosas, siendo sustituidas por malezas. Los autores tratan de explicar este comportamiento, por un lado, a la devolución a las parcelas del forraje cortado, y por otro, a la sequía ocurrida en el verano inmediato a la instalación. Por otra parte, el vigor de las especies invasoras se vió incrementado por el aumento en la fertilidad de las parcelas (3).

En el ensayo descrito en la parte de eficiencia de fertilizantes fosfatados (Castro et al., 1981) se evaluó la evolución de la composición botánica de una pradera de tré-

bol blanco, trébol subterráneo y festuca. Los autores indican que los factores que afectaron la composición en especies de la pastura fueron el tipo de suelo, manejo anterior, edad de la pastura y nivel de P.

En términos generales, las leguminosas predominan en forma marcada en los primeros años, siendo sustituidas luego, por gramíneas nativas o sembradas (en chacras nuevas y campos recién roturados) y por malezas (en chacras viejas). Este descenso en el porcentaje de leguminosas fue realizado en forma brusca de un año a otro, probablemente como consecuencia de la acción conjunta de una serie de factores de manejo, condiciones climáticas y aumento en la agresividad de las malezas y gramíneas con el aumento de la fertilidad. Por lo tanto la edad intervendrá por un lado aumentando la probabilidad de encontrar un período desfavorable, y por otro, aumentando la agresividad de las especies no leguminosas.

En lo referente al efecto del P, la implantación lograda en los niveles mínimos de fertilización fue buena; a partir del 2do año, el porcentaje de leguminosas aumenta con el nivel de P y la refertilización. Aparentemente, para mantener un porcentaje alto de leguminosas sería más importante el nivel inicial de P que las refertilizaciones, ya que se lograrían plantas más vigorosas y semillazón más abundante en el primer año. El efecto de la refertilización se notó sólo en los niveles menores de fertilización inicial y durante el 3er y 4to. año (9).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Ubicación del ensayo

El ensayo de campo estaba ubicado en un predio perteneciente al Sr. Alcides Fernández, en la intersección de las Rutas 81 y 64, San Antonio, Depto. de Canelones. El suelo sobre el que estaba instalado es un Vertisol Rúptico de la unidad Tala-Rodríguez, cuya caracterización y descripción se dan en el Cuadro 9.

Cuadro 9 - Caracterización y descripción del suelo Vertisol Rúptico en el que se instaló el trabajo de campo.

Horizonte	Profundidad (cms)	pH en H ₂ O	%M.O.	K(meq/100gr).
A	0 - 20	6,3	3,8	0,43
B	20 - 40	6,3	3,1	0,44

Los niveles de P disponible estimados por análisis de suelo aparecen en los cuadros 81, 82, 83 y 84.

3.1.2. Tratamientos y diseño experimental

Se estudió el efecto de 36 tratamientos determinados por la variación de las fuentes fosfatadas y de sus niveles de aplicación, tanto en forma inicial como en fertilización. Los tratamientos se describen en el Cuadro 10, y las características de las fuentes empleadas en el Cuadro 11.

Tratamiento N°	P/Há Inicial	Refert.	Fuente
1	20	0	
2	20	20	
3	20	40	
4	40	0	
5	40	20	
6	40	40	Superfosfato
7	80	0	
8	80	20	
9	80	40	
10	20	0	
11	20	20	
12	20	40	
13	40	0	
14	40	20	
15	40	40	
16	80	0	Superfos
17	80	20	
18	80	40	
19	20	0	
20	20	20	
21	20	40	
22	40	0	
23	40	20	Hiperfosfato
24	40	40	
25	80	0	
26	80	20	
27	80	40	
28	0	0	
29	0	20	Superfosfato
30	0	40	
31	0	0	
32	0	20	Superfos
33	0	40	
34	0	0	
35	0	20	Hiperfosfato
36	0	40	

Cuadro 10 - Descripción de los tratamientos aplicados.

Cuadro 11 - Características de las fuentes fosfatadas utilizadas

Fuente	%P Total	%P soluble en H ₂ O y citrato de amonio	%P soluble en ácido cítrico al 2%
Superfosfato	23	21	-
Superfos	30	11	18
Hiperfosfato	30	-	12

El diseño estadístico empleado fue el de Parcelas Divididas en Bloques al Azar con tres repeticiones. La parcela mayor, con una dimensión de 12 x 4 mts., correspondía a la combinación de la fuente x el P aplicado en la implantación. A partir del 2° año de la pastura se efectuó la división de las parcelas mayores en 3 subparcelas, que correspondían a los tratamientos de refertilización.

3.1.3. Formas de evaluación

La pradera implantada estaba compuesta por una mezcla de Lotus (Lotus corniculatus), Trébol blanco (Trifolium repens) y Raigrás (Lolium multiflorum), estudiándose el efecto de los diferentes tratamientos en: producción de materia seca, % de P en el forraje, Kgs. de P absorbido por Há. y la evolución del P disponible en el suelo. En el tercer y cuarto año la pradera estaba compuesta casi exclusivamente por lotus.

3.1.4. Período de evaluación

El período durante el cual se estudiaron los parámetros antes citados, abarca el tercer y cuarto año de la pradera (en el trabajo, primer y segundo año de evaluación). Durante este período se realizaron 5 cortes de forraje en fechas: 26/11/83, 20/12/83, 10/4/84, 15/10/84 y 6/12/84, correspondientes al 7°, 8°, 9°, 10° y 11° cortes de la pradera (en el trabajo

jo, cortes 1, 2 3, 4 y 5 respectivamente). Los tres primeros cortes se agruparon dentro del primer año de evaluación, mientras que los dos últimos lo fueron dentro del segundo año.

3.2. TRABAJOS DE CAMPO

3.2.1. Muestreo de suelos

Se realizaron dos muestreos de suelos, correspondientes a cada uno de los años evaluados, previo a las fertilizaciones y a una profundidad de 0 - 15 cms.

3.2.2. Refertilizaciones

Se efectuaron en forma anual en otoño, posteriormente al muestreo de suelos. La forma de aplicación fue en cobertura y se realizó siempre en fecha anterior al 15 de mayo de cada año. A lo largo de los 4 años de la pastura, el superfosfato se usó en forma granulada al igual que el superfos, mientras que el hiperfosfato se usó en polvo.

3.2.3. Cosecha y muestreo del forraje producido

En los cortes realizados se cosechaba un área central de cada parcela que variaba según el corte. Los mismos se efectuaron con una pastera experimental marca Gravelly.

El material cosechado en esta area fue pesado y luego muestreado (aproximadamente 500 Grs/parcela), a efectos de la posterior determinación del porcentaje de materia seca y rendimiento de materia seca por há. El mismo incluía malezas, significando éstas un 35% de la pastura aproximadamente.

3.3. ANALISIS DE LABORATORIO

3.3.1. Análisis de suelo

Las muestras de suelo fueron secadas al aire y molidas, como pasos previos a la determinación del contenido de P disponible en las mismas. Los métodos empleados

para la determinación de P fueron: Bray N° 1 (para todas las muestras) y Resinas Catiónicas, del C.I.A.A.B. "La Estanzuela" (para todos los tratamientos de superfosfato e hiperfosfato).

En la extracción del P contenido en cada muestra analizada por el método de Bray N° 1, se empleó como reductor para la obtención de color el cloruro estañoso (Bray y Kurtz, 1945) (5). La determinación de P por el método de resinas cationicas fue realizada siguiendo la rutina de trabajo del laboratorio de suelos de "La Estanzuela".

3.3.2. Análisis de forraje.

Una submuestra de 0,5 grs del forraje cosechado, previamente secado a estufa y molido, fue sometida a digestión con H_2SO_4 a $350^\circ C$ y peróxido de hidrógeno. El fósforo fue determinado en la solución resultante, mediante el desarrollo de color azul con molibdato de amonio y tartrato de antimonio y potasio, usando ácido ascórbico como reductor. Esta técnica es descripta por Linder (1944) (20), y empleada usualmente en el laboratorio de la Cátedra de Fertilidad de suelos. De esta manera se obtuvo el porcentaje de P de la planta, lo que permitió, posteriormente, la determinación del P absorbido por la planta, en Kgs. de P/há.

Los tratamientos seleccionados fueron, dentro de las tres fuentes de fertilizantes, aquellos que correspondían a los niveles de P inicial igual a 0,40 y 80 unidades de P/há y de P en refertilización igual a 0 y 40 unidades de P/há.

3.4. ANALISIS ESTADISTICO

Los datos obtenidos sobre producción de materia seca, porcentaje de P en el forraje, Kgs/há de P absorbido y contenido de P en el suelo fueron analizados por Análisis de Varianza; a efectos de evaluar la posible significación de los efectos principales, así como de las respecti-

vas interacciones. También se realizaron las particiones de las sumas de cuadrados de los efectos principales mediante contrastes ortogonales.

Luego, y según los resultados obtenidos, se utilizaron técnicas de correlación y regresión múltiple a efectos de cuantificar los efectos e interacciones existentes. En las mismas se utilizaron modelos lineales o polinomiales (con términos lineales y cuadráticos). En los ajustes por regresión se consideró la magnitud del coeficiente de determinación (r^2) así como la significación de los efectos parciales de los términos incluidos en los modelos.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. PRODUCCION DE FORRAJE.

La producción de materia seca por corte y los totales anuales se presentan en el Cuadro 12

Cuadro 12 - Producción de forraje (kgs/há de Materia Seca) corte y total anual acumulada

FUENTE	DOSIS DE P (kg/há)		CORTE 1	CORTE 2	CORTE 3	TOTAL 1er. año	CORTE 4	CORTE 5	TOTAL 2do. año
	Inic.	Refert.							
S U	0	0	1448	1010	827	3285	720	1825	2545
		20	3658	1440	1779	6876	1624	2524	4148
		40	3911	1250	2296	7456	2103	2030	4333
E R F O S F A T O	20	0	1973	806	839	3617	943	1861	2804
		20	3972	1290	1144	6406	1862	2591	4453
		40	3651	1256	2286	7194	1857	2657	4513
F A T O	40	0	2327	1402	960	4689	1048	1625	2673
		20	4501	1682	1985	8168	2182	2922	5104
		40	3680	1400	1751	6830	2136	3062	5198
O	80	0	3693	1218	1752	6663	785	1694	2479
		20	3207	1162	2207	6577	1926	2487	4413
		40	3993	1294	2459	7747	2156	3356	5512
S U P E R F O S	0	0	1928	910	1131	3969	869	1893	2762
		20	2888	1344	1002	5233	1542	2423	3965
		40	3683	1602	1924	7209	1997	2565	4562
F O S	20	0	2851	1610	835	5296	920	1711	2631
		20	3487	1158	1698	6342	1269	2048	3317
		40	3389	1516	2007	6912	1949	2372	4821
S	40	0	2249	1318	1270	4836	1103	2067	3170
		20	3772	1280	2393	7444	1744	2651	4395
		40	3714	1780	1395	6890	1295	2682	3977
H I	80	0	2389	1718	1310	5417	951	2067	3018
		20	3498	1542	1608	6648	1397	2378	3774
		40	4203	1770	1635	7615	1205	2642	3847
E R F O S	0	0	1473	890	895	3258	555	1805	2360
		20	3251	1472	1003	5726	1194	2499	3692
		40	3910	1582	1181	6672	928	2613	3541
F O S	20	0	2552	1476	878	4906	636	1595	2231
		20	3791	1472	1706	6968	1469	2340	3808
		40	4162	1854	2075	8090	1865	2399	4264
F	40	0	3242	1516	582	5340	749	1640	2389
		20	3758	1218	1102	6075	912	2061	2973
		40	4553	2016	1948	8517	1603	2779	4382
T O	80	0	3100	1522	1466	6081	1449	2403	3852
		20	4390	1518	2156	8063	1351	2679	4030
		40	4062	1574	2648	8284	1632	3278	4910

La simple observación de los datos indica una mayor producción de la pastura durante el primer año que durante el segundo año. No existen elementos informativos que permitan explicar esta consistente superior producción

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. PRODUCCION DE FORRAJE.

La producción de materia seca por corte y los totales anuales se presentan en el Cuadro 12

Cuadro 12 - Producción de forraje (kgs/há de Materia Seca) corte y total anual acumulada

FUENTE	DOSIS DE P (kg/há)		CORTE 1	CORTE 2	CORTE 3	TOTAL 1er.año	CORTE 4	CORTE 5	TOTAL 2do. año
	0	20							
			Init.	Refert.					
SUPERFAT	0	0	1448	1010	827				
		20	3658	1440	1779	3285	720	1825	2545
		40	3911	1250	2296	6876	1624	2524	4148
	20	0	1973	806	839	3617	2103	2030	4333
		20	3972	1290	1144	6406	943	1861	2804
		40	3651	1256	2286	7194	1862	2591	4453
	40	0	2327	1402	960	4689	1857	2657	4513
		20	4501	1682	1985	8168	1048	1625	2673
		40	3680	1400	1751	6830	2182	2922	5104
	80	0	3693	1218	1752	6663	2136	3062	5198
		20	3207	1162	2207	6577	785	1694	2479
		40	3993	1294	2459	7747	1926	2487	4413
SUPERFOS	0	0	1928	910	1131	3969	869	1893	2762
		20	2888	1344	1002	5233	1542	2423	3965
		40	3683	1602	1924	7209	1997	2565	4562
	20	0	2851	1610	835	5296	920	1711	2631
		20	3487	1158	1698	6342	1269	2048	3317
		40	3389	1516	2007	6912	1949	2872	4821
	40	0	2249	1318	1270	4836	1103	2067	3170
		20	3772	1280	2393	7444	1744	2651	4395
		40	3714	1780	1395	6890	1295	2682	3977
	80	0	2389	1718	1310	5417	951	2067	3018
		20	3498	1542	1608	6648	1397	2378	3774
		40	4203	1770	1635	7615	1205	2642	3847
HIPERFATO	0	0	1473	890	895	3258	555	1805	2360
		20	3251	1472	1003	5726	1194	2499	3692
		40	3910	1582	1181	6672	928	2613	3541
	20	0	2552	1476	878	4906	636	1595	2231
		20	3791	1472	1706	6968	1469	2340	3808
		40	4162	1854	2075	8090	1865	2399	4264
	40	0	3242	1516	582	5340	749	1640	2389
		20	3758	1218	1102	6075	912	2061	2973
		40	4553	2016	1948	8517	1603	2779	4382
	80	0	3100	1522	1466	6081	1449	2403	3852
		20	4390	1518	2156	8063	1351	2679	4030
		40	4062	1574	2648	8284	1632	3278	4910

La simple observación de los datos indica una mayor producción de la pastura durante el primer año que durante el segundo año. No existen elementos informativos que permitan explicar esta consistente superior producción

durante el primer año, pudiéndose pensar que la misma puede ser debida a condiciones climáticas y /o declinación de la producción de la pastura.

En el cuadro 13 se resumen los resultados del análisis de varianza para los cinco cortes evaluados y los totales del primer y segundo año.

De este análisis se infiere en primer término que no hubo significación estadística para el efecto de las fuentes, salvo en el segundo corte del primer año, lo cual no influyó sin embargo en el efecto no significativo de la producción total. En segundo término hubo efectos significativos importantes de la dosis inicial de P (efecto residual) durante el primer año, efecto que sin embargo no se detecta para el segundo año de evaluación. En tercer término se observan diferencias significativas muy consistentes entre los tratamientos de refertilización en todos los cortes y a través de los dos años de evaluación. Finalmente y en relación a las interacciones entre los factores principales, el análisis de varianza no indica efectos significativos importantes (al 1 o 5% de probabilidad) de las mismas, salvo en situaciones aisladas tales como: 1) fuente x refertilización, y 2) P inicial x refertilización, en el segundo corte (significativas al 5%).

A continuación se analizan en mayor detalle los resultados precedentemente resumidos.

4.1.1. Efecto de las fuentes fosfatadas -

En el cuadro 14 se presentan los rendimientos por fuente (en kgs. de materia seca por hectárea), para cada uno de los cortes y los totales anuales, promediados por sobre niveles de P inicial y de P en refertilización.

Cuadro #13 - Valores de Fo y su significación en el análisis de varianza para producción de MS para los cinco cortes evaluados y los totales anuales.

Fuente de Variación	Corte 1		Corte 2		Corte 3		Total 1er.año		Corte 4		Corte 5		Total 2do.año	
	Valores de F													
Fuente	2,50	NS	3,524	**	0,83	NS	0,78	NS	1,326	NS	0,102	NS	0,845	NS
P inicial	6,185	***	1,81	NS	2,845	*	7,506	***	0,112	NS	1,12	NS	0,38	NS
Fuente x P inicial	0,44	NS	0,96	NS	1,144	NS	0,901	NS	0,312	NS	0,59	NS	0,415	NS
Refertilización	69,92	***	9,12	***	31,377	***	60,74	***	18,217	***	33,42	***	34,612	***
Fuente x refertiliz.	0,317	NS	2,377	*	1,044	NS	0,965	NS	1,134	NS	0,748	NS	1,275	NS
P.inicial x refertiliz.	1,26	NS	2,083	*	1,458	NS	1,475	NS	0,292	NS	0,732	NS	0,23	NS
Fuente x P inicial x ref.	1,16	NS	1,085	NS	1,566	NS	1,47	NS	0,68	NS	0,763	NS	0,82	NS

NOTA: NS - No significativo / * Sign. al 10% / ** Sign. al 5% / *** Sign. al 1%

Tal como lo muestra el cuadro N° 14 y el análisis de varianza (cuadro 13) no existen diferencias de importancia entre las fuentes. La excepción fue el segundo corte, en el que se observan diferencias significativas al 5% entre fuentes, pero ello no fue suficiente para que se produjeran diferencias significativas entre fuentes en la producción total anual.

4.1.2. - Efecto residual del P aplicado en la implantación de la pastura -

En el cuadro 15 se observa el efecto residual de P aplicado en la implantación, promediado por sobre fuentes y niveles de refertilización, en términos de la producción de forraje durante el primer y segundo año. Debe observarse en este caso que para el segundo corte del primer año, no es totalmente válido considerar el efecto residual de P independientemente de la dosis de refertilización, ya que tal como lo indica el análisis de varianza (cuadro 13), existe una interacción significativa entre P inicial x refertilización.

Existe en ambos años una tendencia a mayor producción de forraje con las dosis iniciales mayores de fertilización, pese a que como lo indica el análisis estadístico, las diferencias son sólo significativas para el primer año.

Con el objetivo de cuantificar el efecto de la dosis inicial de P en la producción se estimó la producción de forraje en función de la dosis inicial de P, a partir de los datos de las parcelas que no recibieron tratamientos de refertilización, mediante el ajuste de un modelo lineal, tanto para el primer como para el segundo año de evaluación. Las funciones obtenidas y su representación gráfica aparecen en las figuras 10 y 11.

Cuadro 14 - Efecto de las tres fuentes fosfatadas utilizadas sobre la producción de forraje por corte y totales anuales.

(Valores promedio por sobre niveles de P inicial y Pref.)

FUENTE	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er.año	Corte 4	Corte 5	Total 2do.año	Promedio de cortes
Superfosfato	3335	1268	1690	6293	1612	2386	3998	2058
Superfos	3171	1462	1517	6150	1353	2333	3886	1967
Hiperfosfato	3520	1509	1470	6499	1195	2341	3536	2007
PROMEDIOS	3342	1413	1559	6314	1387	2353	3807	

Cuadro 15 - Efecto de la dosis de P inicial en la producción de M.seca por há para los 5 cortes y los totales anuales (valores promedio por sobre fuentes y niveles de refertilización).

Nivel de P inicial (kg/há)	(MS kg/há)							
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er.año	Corte 4	Corte 5	Total 2do.año	Promedio de cortes
0	2905	1277	1338	5520	1281	2264	3545	1813
20	3314	1382	1496	6192	1419	2230	3649	1968
40	3533	1513	1487	6533	1419	2388	3807	2068
80	3615	1480	1915	7010	1428	2554	3982	2198
PROMEDIO	3342	1413	1559	6314	1387	2359	3746	

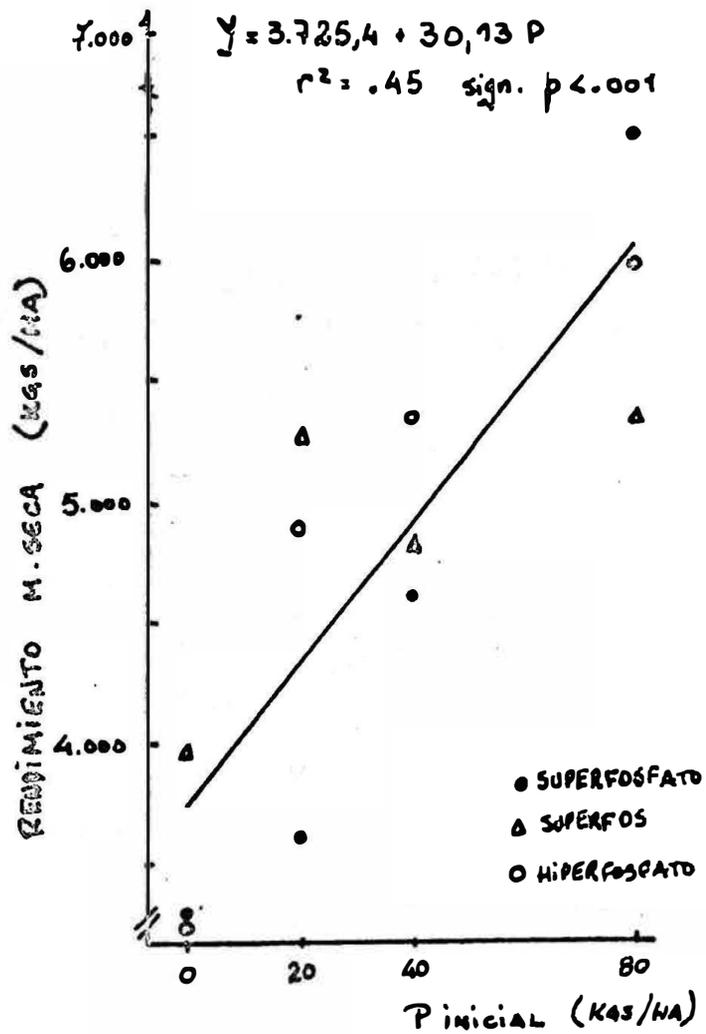


Figura 10 - Efecto residual de P. aplicado en la implantación sobre la producción de la pastura en el primer año de evaluación.

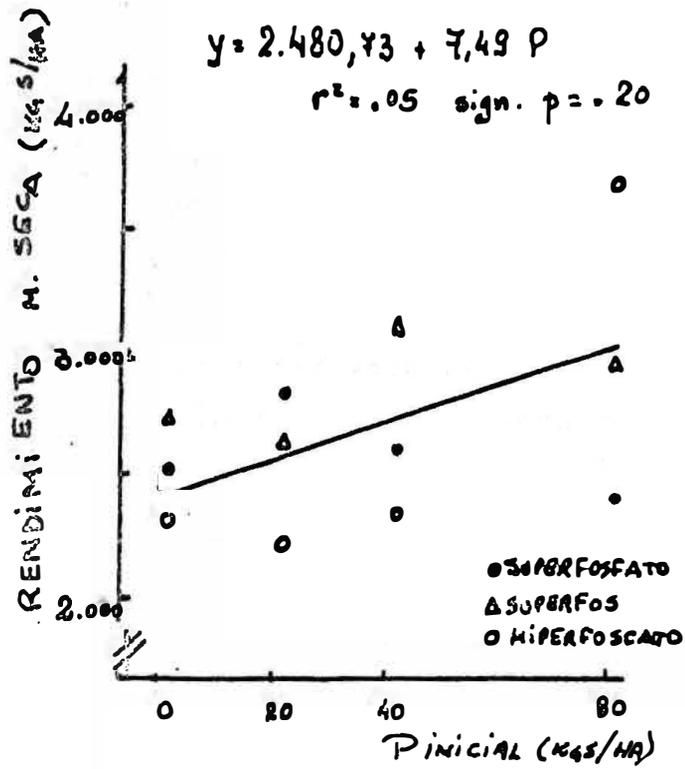


Figura 11 - Efecto residual de P aplicado en la implantación sobre la producción de la pastura en el segundo año de evaluación.

Utilizando la función obtenida para el primer año, se infiere que el efecto residual del P aplicado inicialmente fue en promedio de 30 kgs. de forraje por kg de P. Tal como se anunció previamente no hay efecto residual durante el segundo año.

4.1.3. Efecto de la refertilización -

En el cuadro 16 se presentan los resultados de producción de materia seca provocados por los diferentes niveles de refertilización, promediados por sobre fuentes y niveles de P inicial. Al igual que lo dicho en el punto anterior, en el segundo corte del primer año no es totalmente correcto considerar el efecto del P aplicado en la implantación independientemente del nivel de refertilización.

Puede observarse que, tanto para los cortes en forma individual como para los totales anuales, la refertilización presentó un efecto marcado y consistente en el incremento de producción de forraje.

A los efectos de establecer el efecto diferencial de los tratamientos de refertilización se efectuaron contrastes, por un lado para evaluar el efecto global de la misma y por otro para establecer la respuesta a dosis crecientes de P. Los resultados se presentan en el Cuadro 17.

Como resultado de los mismos, en primer lugar se destaca el efecto altamente significativo que provocó la refertilización en forma global, tanto para los cortes como para los totales anuales. En segundo lugar se observa que la respuesta a dosis crecientes de P presentó algunas diferencias entre los distintos cortes: el primero y el cuarto, no fueron significativos, el quinto lo fue al 5%, mientras que el segundo y tercero lo fueron al 1%. A pesar de haber dos cortes que no presentaron significación, estos no tuvieron incidencia en los resultados anuales, ya que los totales para el primer y el se

Cuadro 16 - Efecto de las dosis de P aplicado en refertilización sobre la producción de materia seca/há para los cinco cortes y los totales anuales (valores promedio por sobre fuentes y niveles de P inicial).

Nivel de P refertil. (kgs/há)	MS (kg/há)							Promedio de cortes
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er.año	Corte 4	Corte 5	Total 2do.año	
0	2435	1283	1062	4780	894	1849	2743	1505
20	3681	1381	1649	6711	1539	2467	4006	2179
40	3909	1574	1967	7450	1727	2761	4488	2388
Promedio	3342	1413	1559	6314	1387	2359	3746	

Cuadro 17 - Valores de Fo y su significación en el análisis de varianza de los contrastes para los cinco cortes y los totales anuales.

Contraste	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er.año	Corte 4	Corte 5	Total 2do. año
R_0 vs $\frac{R_{20}+R_{40}}{2}$	68,47***	10,51***	55,21***	112,73***	34,75***	60,16***	64,27***
R_{20} vs R_{40}	1,45 NS	7,73***	7,54***	8,74***	1,69 NS	6,67**	4,95**

* Sign. al 10%

** Sign. al 5%

*** Sign. al 1%

gundo año dieron diferencias al 1 y 5% respectivamente.

Con el propósito de cuantificar el efecto de la refertilización en la producción de forraje se ajustaron modelos lineales y/o cuadráticos de la producción en función de las dosis de refertilización, tanto para cada uno de los cortes como también para los totales anuales, asimilando en una misma función de respuesta los diferentes niveles de P aplicado en la implantación y las diferentes fuentes de fertilizantes empleadas. Las ecuaciones obtenidas, así como su respectiva representación como histogramas de distribución, en base a los valores estimados, se presentan en la figura 12.

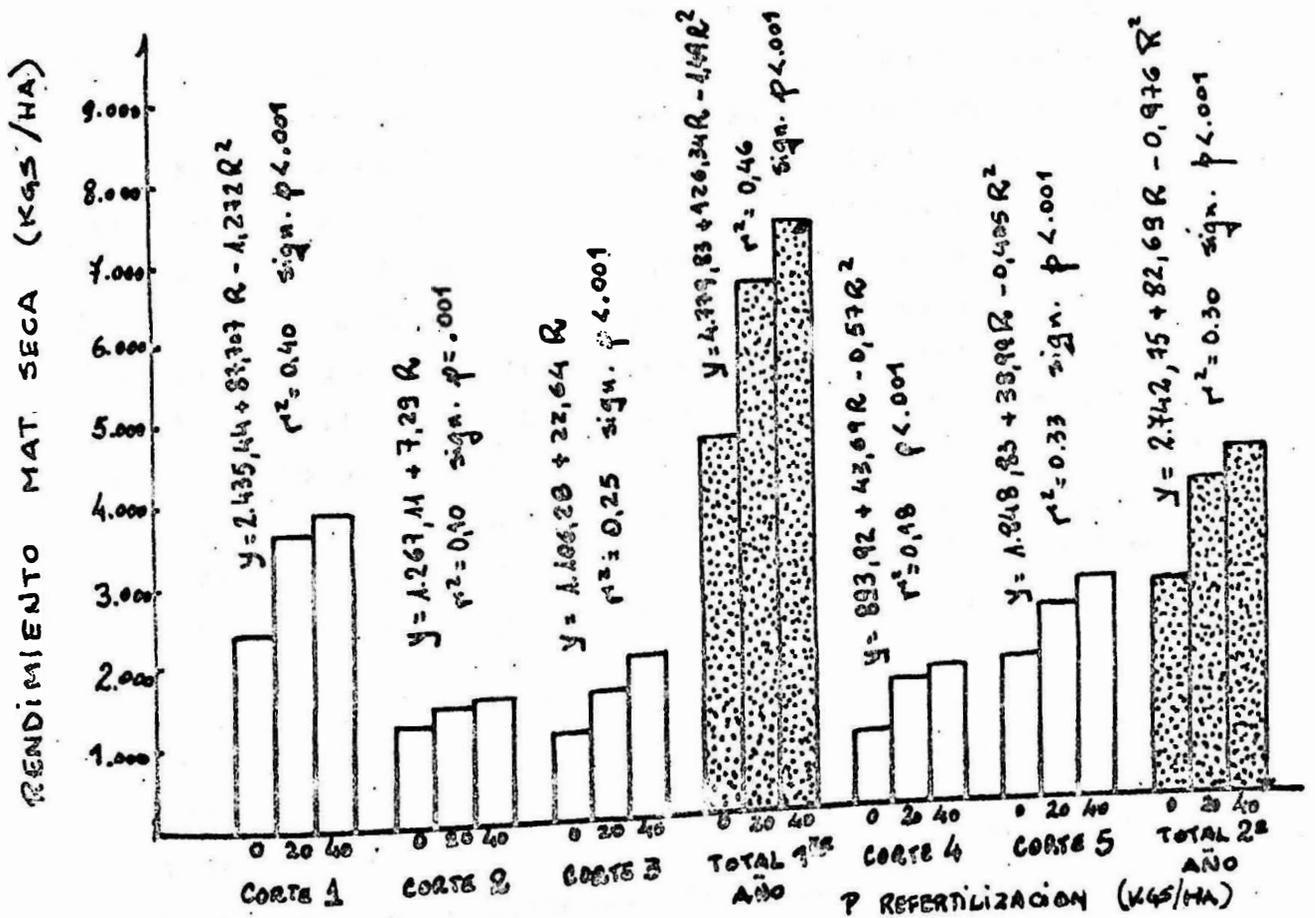


Figura 12 - Funciones de respuesta a la refertilización y sus respectivos histogramas de distribución por corte y para los totales anuales (valores estimados).

Los incrementos estimados de producción de forraje para los rangos 0-20 y 20-40 kg de P/há aplicados en refertilización aparecen en el cuadro 18.

Como consecuencia del ajuste cuadrático, fundamentalmente para los totales del primer y segundo año, puede observarse que el incremento en producción logrado por el pasaje de 0 a 20 unidades de P fue aproximadamente 3 veces mayor que el logrado por el pasaje de 20 a 40 unidades. De esta forma podemos establecer, en líneas generales, cual fue la eficiencia de la refertilización para las diferentes dosis de P aplicado, hecho que puede observarse en el cuadro 19.

También se ajustaron dos funciones en las cuales se relaciona la respuesta en rendimiento a la refertilización, para el conjunto de las tres fuentes, pero considerando una dosis de P aplicada en la implantación igual a 40 unidades por há; para los totales del primer y segundo año de evaluación. La selección de esta dosis responde al hecho de que al estimar la respuesta a la refertilización para todos los niveles de P inicial, se podría estar encubriendo una posible interacción P inicial x refertilización; y a su vez sería una dosis similar a la aplicada por un productor medio en estas condiciones. Los resultados obtenidos en las regresiones, así como su representación en histogramas de distribución (en base a valores estimados) se presentan en la figura 13.

A partir de las mismas se observa que la respuesta a la refertilización en la producción total del primer año presenta una tendencia similar a la observada cuando se consideraron todos los niveles de P inicial. Sin embargo, el ajuste de la regresión para el segundo año de evaluación, cuando se consideró un nivel de P inicial igual a 40 unidades, fue lineal, lo que indicaría que la eficiencia de las dosis de refertilización de 20 y 40 unidades de P/há fueron iguales.

Cuadro 18 - Incremento de producción de forraje en kgs/há de materia seca producidos por la refertilización para los cinco cortes y los totales anuales (valores estimados)

Dosis de P (kgs/há) en refertilización	(kgs/há de Materia Seca)							Promedio de cortes
	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er.año	Corte 4	Corte 5	Total 2do.año	
0 - 20	1246	146	453	1931	645	619	1263	622
20 - 40	228	146	453	738	187	293	483	261
Promedio	737	146	453	1335	416	456	873	

Cuadro 19 - Incremento de producción de forraje en materia seca (kgs/há) producidos por kg de P aplicado en refertilización.

Dosis de P (kgs/há) en refertilización	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er. año	Corte 4	Corte 5	Total 2do.año	Promedio
0 - 20	62	7	23	97	32	31	63	31
20 - 40	11	7	23	37	9	15	24	13
Promedio	37	7	23	67	21	23	44	

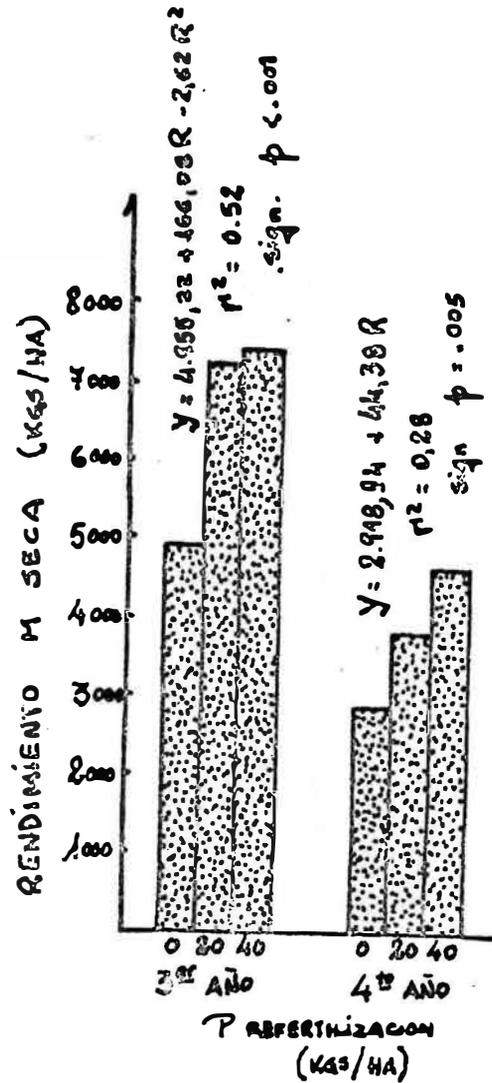


Figura 13 - Funciones de respuesta a la refertilización y sus respectivos histogramas de distribución para los totales anuales con un nivel de P inicial = 40 unidades (valores estimados).

4.1.4. Efecto de las interacciones -

Como se ha dicho anteriormente, las interacciones no fueron mayormente significativas, salvo para el segundo corte en el caso de fuente x refertilización y de P inicial x refertilización que fueron significativas al 10%.

La representación gráfica de la interacción fuente x refertilización puede observarse en la figura 14; la misma tuvo poca incidencia en la producción total anual, muy probablemente debido a los bajos rendimientos logrados como consecuencia de un período de crecimiento de la pastura corto en comparación a los demás (dicho período abarcó desde el 26/11/83 al 20/12/83).

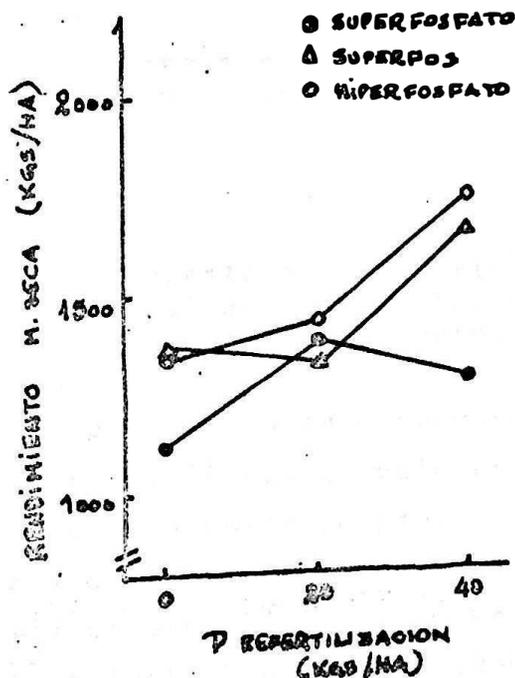


Figura 14 - Representación gráfica de la interacción fuente por refertilización para el segundo corte

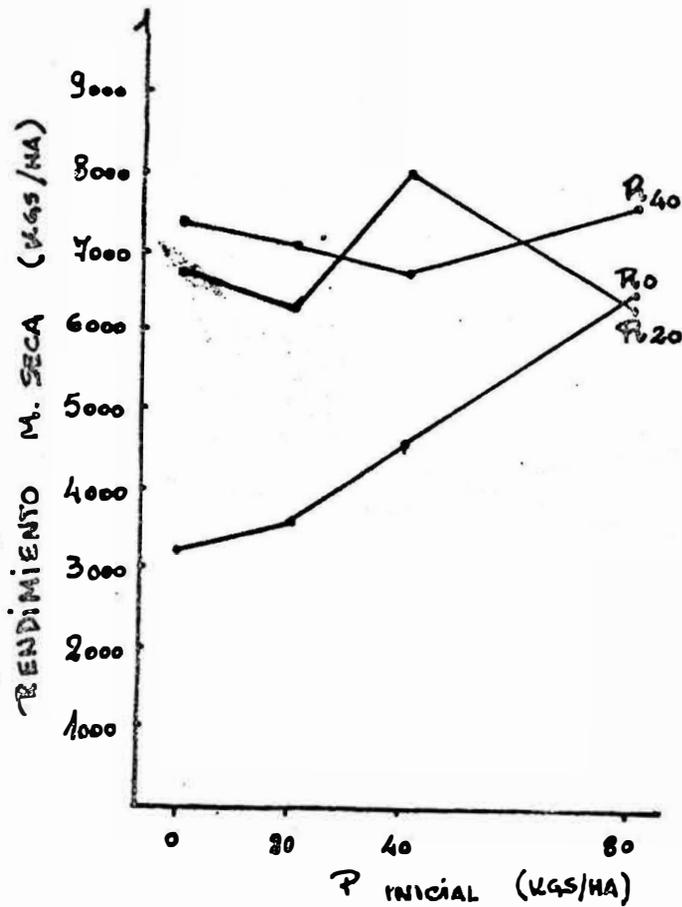


Figura 15 - Respuesta a la refertilización para el total del primer año cuando la fuente empleada fue superfosfato.

A lo largo del primer año se observaron, para la interacción P inicial x refertilización, valores de F_0 (Cuadro 13) que cuando se consideran niveles de probabilidad de 1 o 5%, determinan como no significativa dicha interacción y fue en base a estos niveles de probabilidad que previamente se estudió el efecto de la refertilización independientemente del P inicial y viceversa. No obstante si se fijara como nivel crítico, para la prueba F, el 20% de probabilidad, entonces la interacción P inicial x refertilización mostraría consistente

mente durante el primer año un efecto significativo a dicho nivel de probabilidad. En las figuras 15, 16 y 17 se observa gráficamente la respuesta a la refertilización a diferentes dosis de P iniciales.

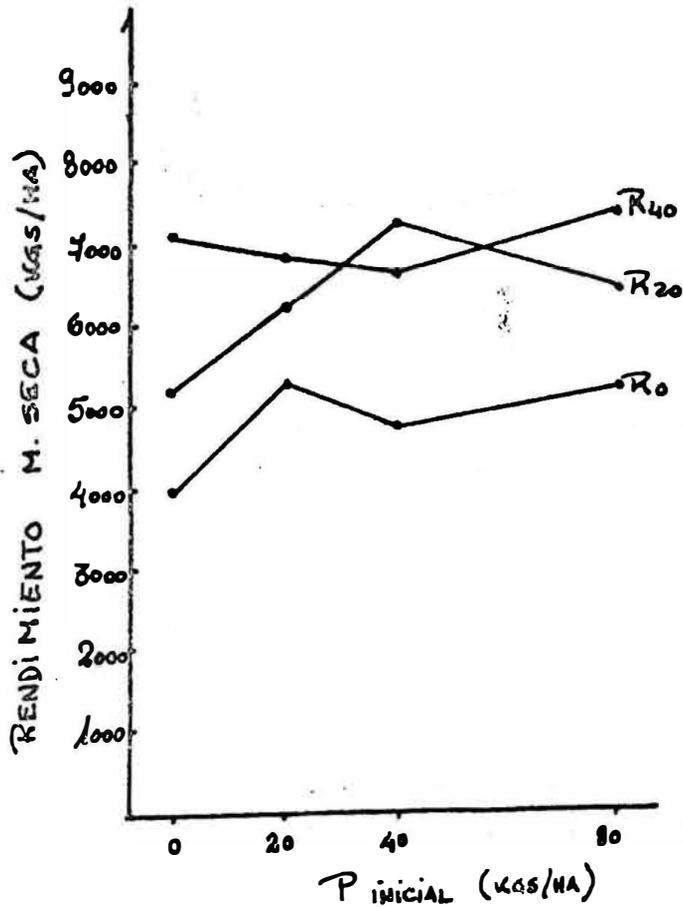


Figura 16 - Respuesta a la refertilización para el total del primer año cuando la fuente empleada fue superfos.

Se observa que a mayores dosis de P aplicado en la implantación hay una tendencia a menor respuesta a la refertilización, especialmente cuando la fuente utilizada fue superfosfato, no apareciendo esta tendencia tan claramente para las otras dos fuentes. Ello en parte está corroborado por los valores de F_0 para la interacción triple: fuente x

p inicial x refertilización observados para el primer año de evaluación.

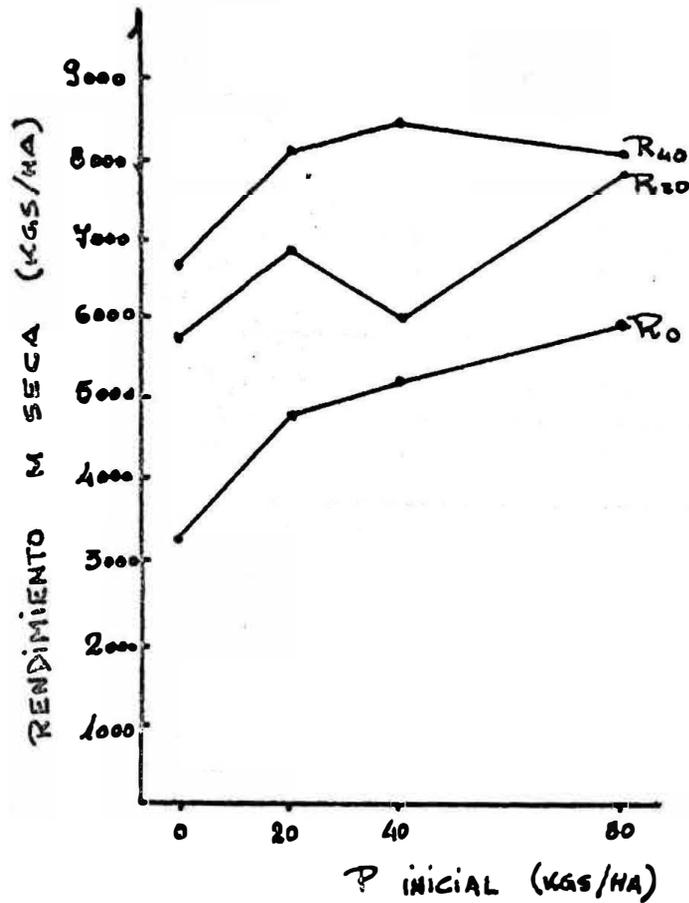


Figura 17 - Respuesta a la refertilización para el total del primera año cuando la fuente empleada fue hiperfosfato.

A los efectos de cuantificar mejor el efecto del P inicial en la respuesta a la refertilización se ajustó, para el conjunto de datos del primer año, un modelo de respuesta que incluía términos lineales y cuadráticos para la refertilización, el término lineal de dosis iniciales y la interacción correspondiente (únicos significativos a una probabilidad menor al 15%), resultando en la siguiente función de respuesta:

$$y = 3.791,26 + 28,245 P + 85,21 R + 0,0012 R^2 - 0,53 PR$$

con $r^2 = 0,58$ significativo a $p < 0.001$

A partir de ella se realizaron una serie de estimaciones de rendimientos, y se presentan en el cuadro 20

Cuadro 20 - Rendimientos esperados en producción de forraje en kgs/há de materia seca para el total del primer año.

Kgs P inicial	Kgs. P refertilización		
	0	20	40
	(kg/há de MS)		
0	3.791	5.496	7.202
20	4.356	5.849	7.342
40	4.921	6.202	7.484
80	6.051	6.908	7.765

La representación gráfica del cuadro anterior puede observarse en la figura 18.

El análisis del cuadro y figura permiten observar la interacción negativa del P inicial y del P en refertilización; es decir que a más unidades de P agregadas en la implantación menor será la respuesta al agregado anual de P como refertilizaciones. Así, observando el cuadro 20, se ve que una producción de aproximadamente 6.000 kgs/há de materia seca puede obtenerse sin refertilización cuando la dosis de P inicial fue 80 kgs de P por há; o con 20 kgs de P por há en refertilización para dosis de P inicial de 40 kgs/há.

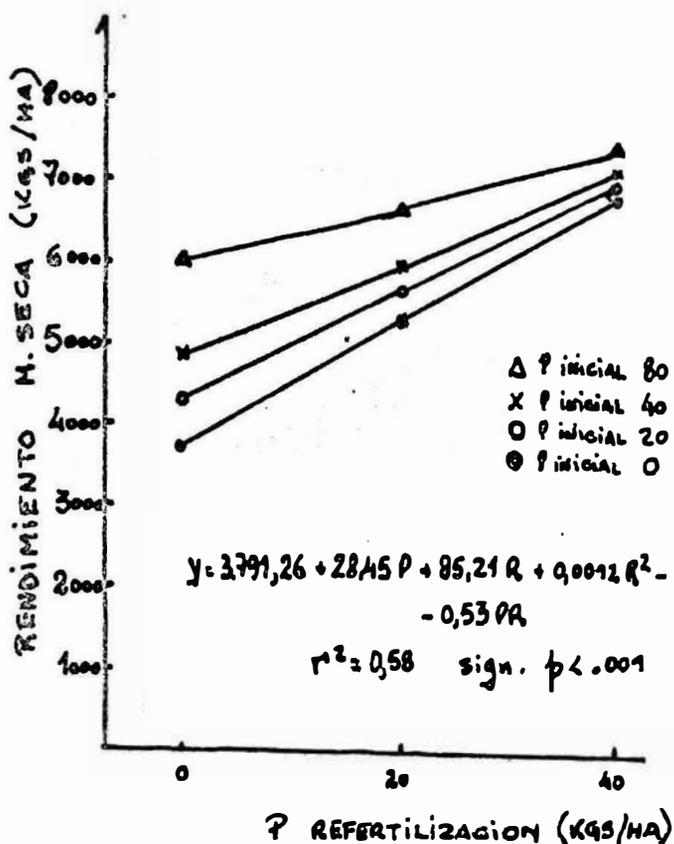


Figura 18 - Respuesta en producción de forraje en función del P aplicado en refertilización y del P inicial (kgs/há de Materia Seca).

4.1.5. Análisis conjunto por regresión múltiple de los resultados obtenidos -

El estudio anterior, basado fundamentalmente en el análisis de varianza, permitió analizar los efectos de los diferentes tratamientos ensayados. No obstante y tal como se indicó precedentemente, la fijación de niveles de probabilidad de 1 o 5% en las pruebas de hipótesis puede haber enmascarado la existencia de ciertas interacciones que fijando niveles críticos menos severos (como por ejemplo 10 o 20%) aparecieron como significativos. Por lo tanto y con el propósito de caracterizar más adecuadamente la interrelación de los distintos tratamientos ensayados, se procedió a evaluar cuantitativamente la producción de la pastura considerando simultáneamente los distintos factores y sus interacciones en un modelo

polinomial ajustado por regresión múltiple.

Las variables inicialmente consideradas fueron:

- TERMINOS LINEALES: Fuente (F)
P inicial (P)
P refertilización (R)
Año (A)

TERMINOS CUADRATICOS: P inicial (P²)
P refertilización (R²)

- INTERACCIONES: P inicial x P refertilización (PR)
Año x P inicial (AP)
Año x P refertilización (AR)
Año x fuente (AF)
Año x fuente x P inicial (AFP)
Año x fuente x refertilización (AFR)
Año x P inicial x refertilización (APR)

Para el trabajo en computadora se empleó la siguiente codificación: Año - Primer año - coeficiente 1

- Segundo año - coeficiente 2

Fuente - Superfosfato - coeficiente 1

Superfos - coeficiente 2

Hiperfosfato - coeficiente 3

P inicial (kgs/há P) 0 - coeficiente 0

20 - coeficiente 20

40 - coeficiente 40

80 - coeficiente 80

P refertilización - 0 - coeficiente 0

(kgs/há P) 20 coeficiente 20

40 - coeficiente 40

Posteriormente se fueron eliminando, de a uno por vez, aquellas variables que presentaban una probabilidad de ocurrencia muy baja ($p < 15\%$), hasta que se llegó al modelo final reducido siguiente:

$$y = 3.299,45 + 685,336 F + 58,56 P + 189,795 R - 1,233 R^2 - 1,274 PR - 27,65 AP - 50,49 AR - 502,233 AF + 0,67 APR.$$

con $r^2 = 0,70$ significativo a $p < 0.001$

El valor del coeficiente de determinación ($r^2 = 0,70$) indica que aproximadamente un 70% de la variación observada en el conjunto de datos está asociada con los términos del modelo final. Este modelo se utilizó entonces para realizar algunas estimaciones: se calcularon los rendimientos esperados para el super e hiperfosfato a niveles iniciales de 0 y 80 unidades de P/há y en refertilización a niveles de 0,20 y 40 unidades de P/há, para los dos años de evaluación de la pastura. Los resultados obtenidos pueden observarse en el cuadro 21, con sus respectivas representaciones gráficas en la figura 19.

Cuadro 21 - Rendimientos esperados de producción de la pastura para superfosfato e hiperfosfato a dosis iniciales de 0 y 80 unidades de P y en refertilización a 0,20 y 40 unidades de P para los dos años de evaluación (valores estimados)

P. inicial (kgs P en implantac.)	Pref. (kgs P en refertil.)	Rendimiento esperado (kgs/há de MS)			
		<u>Superfosfato</u>		<u>Hiperfosfato</u>	
		1er. año	2do.año	1er.año	2do. año
0	0	3.483	2.980	3.849	2.342
	20	5.775	4.263	6.142	3.625
	40	7.082	4.560	7.448	3.922
80	0	5.955	3.241	6.322	2.603
	20	7.282	4.630	7.648	3.992
	40	7.622	5.032	7,988	4.394

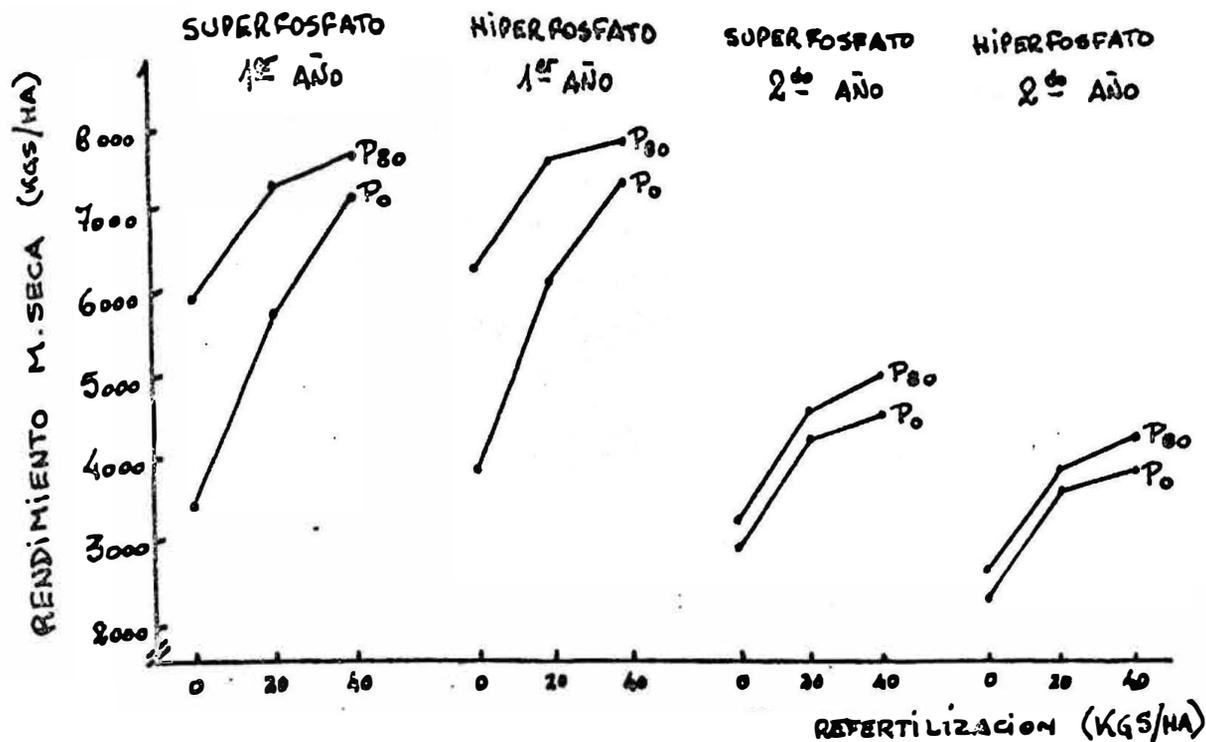


Figura 19 - Representación gráfica de los rendimientos esperados por año y por fuente en función de los niveles de P aplicado.

Del estudio de la regresión múltiple así como del cuadro y figuras precedentes podemos extraer algunas conclusiones:

- en lo que respecta a las fuentes de fertilizantes fosfatados empleadas puede decirse que las mismas no presentaron diferencias entre sí, en lo que respecta a la producción de forraje.
- el efecto residual del P aplicado en la implantación de la pastura presentó un efecto importante en lo que se refiere al incremento de producción de materia seca en el primer año, mientras que este efecto positivo, prácticamente desaparece en el segundo año de evaluación.
- el P aplicado anualmente como refertilización provocó incrementos importantes en el rendimiento de materia seca para los dos años de evaluación.

- la interacción P inicial x refertilización fue de cierta importancia durante el primer año; y presentó signo negativo, lo que nos estaría indicando que a mayor nivel de P aplicado en la implantación menor será la respuesta lograda con la refertilización.

4.2. ABSORCIÓN DE FOSFORO.

4.2.1. Porcentaje de P en el forraje

En el cuadro 22 se observan los porcentajes de P en la pastura en función de la fuente utilizada y de la dosis de P aplicada inicialmente y en refertilización para cada uno de los cortes de los dos años evaluados.

A través de la observación de los datos puede decirse que los porcentajes de P en la pastura no cubrirían las necesidades de alimentación del ganado lechero, según los datos de Kächele (1982)(18); a pesar de ello puede observarse que los cortes de mejor comportamiento fueron el segundo y el cuarto, logrando porcentajes de P aceptables.

En el cuadro 23 pueden verse los resultados del análisis de varianza para los porcentajes de P en la pastura de los cinco cortes evaluados.

Del análisis de varianza puede inferirse en primer lugar que, a diferencia de lo observado con la producción de materia seca, el efecto de la fuente presentó diferencias significativas en 3 cortes (cuarto y quinto al 1% y segundo al 5%) así como la tendencia de los cortes restantes (1° y 3°) de ser significativos a niveles de probabilidad próximos al 15-20%. En segundo lugar, el efecto residual del P aplicado en la implantación, presentó diferencias significativas en todos los cortes, menos en el quinto. En tercer lugar el efecto de la refertilización fue altamente significativo para todos los cortes. Por último, de las interacciones, las que presentaron significación fueron fuente x P inicial en el tercer corte (5%); fuente x refertilización en el segundo, cuarto y quinto cortes (5%) y además P inicial x refertilización y fuente x P inicial x refertilización solamente en el segundo corte.

Cuadro 22 - Porcentajes de P en la pastura para los cinco cortes (promedio de tres repeticiones por tratamiento).

Fuente		Dosis	Corte	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5
S U P E R F O S F A T O	F	0-0	0.138	0.201	0.122	0.183	0.128
	O	0-40	0.175	0.297	0.129	0.283	0.189
	S	40-0	0.158	0.255	0.128	0.182	0.130
	F	40-40	0.229	0.297	0.152	0.285	0.206
	A	80-0	0.172	0.258	0.148	0.245	0.153
	T O	80-40	0.238	0.351	0.169	0.341	0.215
S U P E R F O S		0-0	0.145	0.188	0.135	0.181	0.135
		0-40	0.169	0.265	0.143	0.221	0.158
		40-0	0.148	0.255	0.108	0.186	0.130
		40-40	0.189	0.265	0.110	0.234	0.133
		80-0	0.156	0.237	0.119	0.186	0.132
		80-40	0.188	0.261	0.150	0.270	0.168
H I P E R F O S F A T O		0-0	0.138	0.208	0.110	0.185	0.130
		0-40	0.195	0.281	0.138	0.238	0.171
		40-0	0.152	0.219	0.126	0.195	0.130
		40-40	0.218	0.317	0.161	0.251	0.196
		80-0	0.166	0.271	0.134	0.205	0.146
		80-40	0.224	0.317	0.148	0.280	0.169

Cuadro 23 - Valores de Fo y su significación en el análisis de varianza para el porcentaje de P en la pastura de los cinco cortes.

F. de V.	1er.corte		2°corte		3er.corte		4°corte		5°corte	
Fuente	2,635	NS	5,2		2,25	NS	15,92	***	9,07	***
P inicial	6,338	***			3,214	*	17,27	***	1,94	NS
Fuente x P inicial	0,665	NS			3,25	**	1,982	NS	1,401	NS
Refertilización	53,946	***	148,08	***	16,82	***	126,3	***	53,745	***
Fuente x refertilización	1,715	NS	6,10	**	0,587	NS	4,318	**	4,96	**
P inicial x refertiliz.	0,694	NS	4,036	**	0,287	NS	0,924	NS	0,177	NS
Fuente x P inic.x refert.	0,161	NS	3,972	**	1,066	NS	0,433	NS	1,208	NS

* significativo al 10%

** significativo al 5%

*** significativo al 1%

4.2.1.1. Efecto de las fuentes fosfatadas.

En el cuadro 24 se presentan los resultados del porcentaje de P en el forraje obtenido a través de la variación de la fuente fertilizante empleada.

Cuadro 24 - Efecto de la fuente sobre el porcentaje de P en el forraje para los cinco cortes (promedios por sobre P inicial y niveles de refertilización)

Fuente	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Promedio
Superfosfato	0,185	0,277	0,141	0,253	0,170	0,205
Superfos	0,166	0,245	0,128	0,213	0,143	0,179
Hiperfosfato	0,182	0,269	0,136	0,226	0,157	0,194
Promedio	0,178	0,264	0,135	0,231	0,157	

A partir del mismo se confirman los resultados obtenidos en el análisis de varianza. Para el primer y segundo cortes las diferencias entre fuentes están dadas por cierto superior porcentaje de P en los tratamientos que recibieron superfosfato e hiperfosfato frente a los que recibieron superfos. En el tercer corte se presentaría la misma tendencia pero con diferencias menos marcadas entre las tres fuentes. En los dos últimos cortes las diferencias fueron más marcadas (ambos presentan un nivel de significación del 1%), presentándose mayores porcentajes de P en los tratamientos en que se aplicó superfosfato; en segundo lugar aparecen el promedio de los tratamientos con hiperfosfato y por último el superfos, con el porcentaje más bajo de P.

4.2.1.2. Efecto residual del P aplicado en la implantación de la pastura

En el cuadro 25 se presentan los porcentajes de P en el forraje para los diferentes niveles de P aplicado en la siembra.

Cuadro 25 - Efecto del P inicial sobre el porcentaje de P en el forraje para los cinco cortes (promedios por sobre fuentes y niveles de refertilización).

P inicial	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Promedio
0	0,160	0,240	0,130	0,215	0,152	0,179
40	0,182	0,268	0,131	0,222	0,154	0,191
80	0,191	0,283	0,145	0,255	0,164	0,207
Promedio	0,178	0,264	0,135	0,231	0,157	

Este cuadro corrobora los resultados estadísticos obtenidos; quedan de manifiesto los mayores porcentajes de P logrados en aquellos tratamientos que recibieron P en forma inicial frente a los que no lo recibieron, hecho que se observa claramente en todos los cortes, excepto en el quinto corte.

4.2.1.3. Efecto de la refertilización

El cuadro 26 presenta los resultados obtenidos para los diferentes niveles de refertilización en los cinco cortes evaluados.

Al igual que los resultados de producción de forraje se destaca el marcado y consistente efecto de la refertilización en lo que al incremento en porcentaje de P se refiere. En todos los cortes evaluados se registran mayores porcentajes de P en aquellos tratamientos refertilizados (40 kg/há de P) fren

te a los que no lo fueron (0 kg/há de P). Las diferencias encontradas en todos los cortes fueron amplias, dando un nivel de significación del 1% en todos los casos.

Cuadro 26 - Efecto de la refertilización sobre el porcentaje de P en el forraje para los cinco cortes (promedio por sobre fuentes y niveles de P inicial).

P ref.	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Corte 4	Corte 5	Promedio
0	0,153	0,232	0,126	0,194	0,135	0,168
40	0,203	0,295	0,144	0,267	0,178	0,217
Promedio	0,178	0,264	0,135	0,231	0,157	

4.2.1.4. Efecto de las interacciones -

En lo que respecta a la interacción fuente x P inicial, ésta fue de escasa importancia, salvo para el tercer corte en el cual se dieron diferencias significativas al 5%, probablemente como consecuencia de un mejor comportamiento del superfosfato y del hiperfosfato frente al superfos.

Las interacciones P inicial x refertilización y fuente x P inicial x refertilización solo fueron significativas en el segundo corte, hecho que se da como un caso aislado al igual que para materia seca, por lo cual su importancia sería escasa.

La interacción de mayor importancia fue la de fuente x refertilización, que presentó significación en el segundo, cuarto y quinto cortes al 5% de probabilidad. En los dos últimos cortes, esto se da como consecuencia de que los tratamientos refertilizados con superfosfato presentaron mayores porcentajes de P, para un mismo nivel de refertilización, que aquellos que lo fueron con hiperfosfato y superfos.

4.2.2. Fosforo absorbido (kgs/há)

El cuadro 27 muestra la cantidad de P absorbido por la pastura, en kgs/há, en función de la fuente empleada y de las dosis de P inicial y en refertilización para los cinco cortes y los totales anuales acumulados.

Del análisis del cuadro se destaca el hecho de que los cortes que lograron mayores rendimientos en P absorbido fueron el primero, el segundo y el quinto.

En el cuadro 28 se presentan los resultados del análisis de varianza para los cinco cortes y los totales anuales.

Puede destacarse que el efecto de la fuente no fue significativo en ningún corte ni en los totales anuales, a pesar de que hay una tendencia a presentarse significación al 15 - 20 % de probabilidad en el primer y cuarto cortes, aunque sin incidencia en los totales anuales. Con respecto al efecto residual del P inicial se manifiesta un comportamiento similar al observado en términos de la producción de materia seca, es decir, en el primer año se presentó un claro efecto del P inicial sobre el P absorbido por la pastura, con diferencias altamente significativas en cada uno de los cortes, así como para el total anual; mientras que en el segundo año no se presentó éste efecto ni en los cortes ni en el total anual. La refertilización, al igual que para la producción de materia seca, provocó diferencias altamente significativas en los cinco cortes y por lo tanto en los totales anuales. En cuanto a interacciones se presentó significación alta para fuente x refertilización en el cuarto y quinto corte (1 y 5% respectivamente) provocando significación al 1% en el total anual. De las demás interacciones, solo P inicial x refertilización provocó significación en el segundo corte, aunque sin efectos en el total del primer año de evaluación.

Cuadro 27 - Fósforo absorbido por corte y total anual acumulado (kgs/há) de los dos años de evaluación (valores promedio por tratamiento)

Tratamiento		Corte	Corte	Corte	1er. año	Corte	Corte	2do. año
Fuente	Dosis Inic. Ref.							
S U P E R F O S F A T O	0 0	1,95	2,07	1,00	5,03	1,32	2,39	3,71
	0 40	6,79	3,72	3,00	13,51	5,83	4,23	10,06
	40 0	4,16	3,55	1,24	8,96	1,90	2,13	4,03
	40 40	8,52	4,16	2,62	15,30	6,09	6,42	12,51
	80 0	6,35	3,13	2,60	12,08	1,97	2,53	4,50
	80 40	9,34	4,51	4,15	18,00	7,40	7,27	14,6
S U P E R F O S	0 0	2,86	1,79	1,49	6,14	1,77	2,57	4,34
	0 40	6,29	4,26	2,76	13,31	4,46	4,06	8,52
	40 0	3,19	3,37	1,39	7,96	2,12	2,70	4,83
	40 40	7,12	4,72	1,62	13,45	2,95	3,59	6,55
	80 0	3,92	4,23	1,68	9,84	1,92	3,24	5,16
	80 40	7,90	4,55	2,56	15,01	3,11	3,84	6,95
H I P O S F A T O	0 0	2,07	1,86	1,00	4,92	1,05	2,36	3,41
	0 40	7,63	4,38	1,60	13,61	2,13	4,39	6,52
	40 0	4,98	3,34	0,73	9,05	1,44	2,15	3,59
	40 40	10,04	6,42	3,14	19,60	3,90	5,43	9,33
	80 0	5,12	4,10	1,95	11,17	3,15	3,77	6,92
	80 40	9,08	5,03	3,97	18,09	4,48	5,52	10,00

Cuadro 28 - Valores de Fo y su significación en el análisis de varianza para P absorbido.

F. de V.	1 ^{er} corte	2 ^o corte	3 ^{er} corte	Total 1er.año	4 ^o corte	5 ^o corte	Total 2do.año
Fuente	2,643NS	1,307NS	1,604NS	1,904 NS	2,22 NS	1,70 NS	2,292NS
P inicial	8,911***	5,927***	7,784***	12,382***	0,757NS	2,48 NS	1,71 NS
Fuente x P inicial	1,066NS	0,263NS	1,70 NS	1,103 NS	0,60 NS	0,455NS	0,636NS
Refertilización	68,37 ***	51,225***	52,82 ***	119,9 ***	66,365***	45,52 ***	80,4 ***
Fuente x ref.	0,40 NS	1,77 NS	2,371NS	1,514 NS	10,30 ***	4,864**	9,85 ***
P inicial x ref.	0,341NS	3,09 *	0,10 NS	0,901 NS	0,0587NS	0,758NS	0,163 NS
Fuente x P inic x ref	0,186NS	1,477NS	1,944NS	0,360 NS	1 NS	1,17 NS	1,37 NS

NOTA: NS - No significativo / * Sign. al 10% / ** Sign. al 5% / *** Sign al 1%.

4.2.2.1. Efecto de las fuentes fosfatadas -

El cuadro 29 nos muestra el efecto de las fuentes fosfatadas sobre el rendimiento en P absorbido, para los cinco cortes y los totales anuales, independientemente de los niveles de P inicial y de refertilización. Debe destacarse que no es completamente válido considerar en forma independiente el efecto de la fuente del nivel de refertilización en el cuarto y quinto cortes así como en el total del segundo año, debido a la interacción significativa de fuente x refertilización que presenta el análisis de varianza (Cuadro 28).

A pesar de que no se obtuvieron diferencias significativas entre fuentes al 10%, se puede observar una tendencia a lograr mayores rendimientos en P absorbido con fuentes como el super e hiperfosfato. En el primer año ambas se comportan en forma similar, mientras que en el segundo año la tendencia es a cierta mayor cantidad de P absorbido cuando la fuente utilizada es el súperfosfato. El nivel de probabilidad al cual se revelarían éstas diferencias está comprendido entre 15 y 20%.

4.2.2.2. Efecto residual del P aplicado en la implantación de la pastura -

El cuadro 30 presenta los rendimientos en P absorbido por la pastura para los diferentes niveles de P inicial, independientemente de la fuente y el nivel de refertilización. En este caso, el análisis de varianza, arroja significación al 10% para la interacción P inicial x refertilización en el segundo corte, por lo cual el efecto residual del P no puede ser estudiado en forma independiente del nivel de refertilización en este corte.

Cuadro 29 - Efecto de las fuentes sobre el P absorbido por corte y totales anuales acumulados (promedios por sobre niveles de P inicial y de P en refertilización., kg/há de P).

FUENTE	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er.año	Corte 4	Corte 5	Total 2do.año	Promedio
Super	6,19	3,52	2,44	12,15	4,09	4,16	8,25	4,08
Superfos	5,21	3,82	1,92	10,95	2,72	3,33	6,06	3,40
Hiper	6,49	4,19	2,07	12,75	2,69	3,94	6,63	3,88
Promedio	5,96	3,84	2,14	11,95	3,17	3,81	6,98	

Cuadro 30 - Efecto del P inicial sobre el P absorbido por corte y totales anuales acumulados (promedios por sobre fuentes y niveles de refertilización)

P inic.	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er.año	Corte 4	Corte 5	Total 2do.año	Promedio
0	4,60	3,01	1,81	9,42	2,76	3,33	6,09	3,10
40	6,34	4,26	1,79	12,39	3,07	3,74	6,81	3,84
80	6,95	4,26	2,82	14,03	3,67	4,36	8,03	4,41
Promedio	5,96	3,84	2,14	11,94	3,17	3,81	6,98	

El análisis del cuadro anterior nos permite confirmar los resultados del análisis de varianza: en el primer año de evaluación tanto los cortes como el total anual muestran claramente el efecto residual del P inicial, a través de diferencias altamente significativas; sin embargo en el segundo año, un corte, el último, presentará una tendencia a ser significativo al 20% a pesar de lo cual no tiene incidencia en el total anual; se puede decir que el efecto residual en el segundo año de evaluación, de existir, fue muy bajo. En las figuras 20 y 21 puede verse el efecto residual del P aplicado en la siembra para los totales anuales de P absorbido, para las tres fuentes estudiadas.

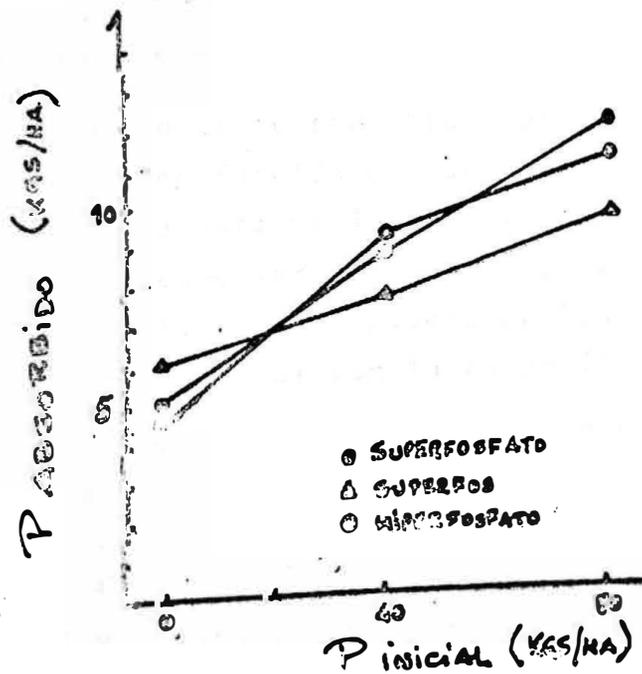


Figura 20 - Efecto residual del P inicial sobre el rendimiento en P absorbido para el nivel 0 de refertilización en el primer año de evaluación.

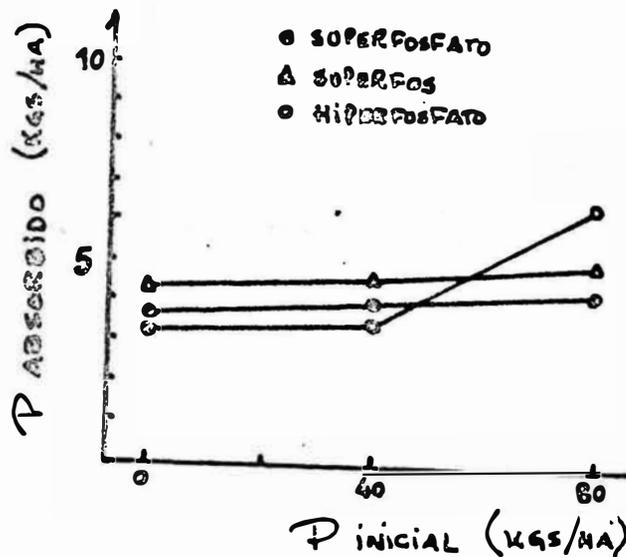


Figura 21 - Efecto residual del P inicial sobre el rendimiento en P absorbido para el nivel 0 de refertilización en el segundo año de evaluación.

4.2.2.3. Efecto de la refertilización -

En el cuadro 31 se presentan los rendimientos en P absorbido (kgs/há) en función de los niveles de refertilización, independientemente de la fuente y de los niveles de P inicial. Debe observarse nuevamente lo dicho en los puntos 4.2.2.1 y 4.2.2.2 al respecto de las interacciones de la fuente y del P inicial con la refertilización.

El efecto de la refertilización en el incremento de los kgs. de P absorbidos por la pastura siguió la misma tendencia que la producción de forraje y el porcentaje de P en la pastura: se observa claramente el efecto consistente en el incremento del P absorbido en aquellos tratamientos que recibieron P en refertilización frente a los que no lo recibieron. Este comportamiento ocurre para los cortes individuales, así como también para los totales anuales. Las representaciones gráficas de la respuesta de la pastura a

Cuadro 31 - Efecto de la refertilización sobre el P absorbido - por corte y totales anuales acumulados (por sobre fuentes y niveles de P inicial) (kg/há de P).

ref.	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total 1er.año	Corte 4	Corte 5	Total 2do.año	Promedio
0	3,84	3,60	1,45	8,87	1,85	2,65	4,50	2,68
40	8,08	4,64	2,82	15,54	4,48	4,97	9,46	5,00
Promedio	5,96	4,12	2,14	12,21	3,17	3,81	6,98	

la refertilización para los totales anuales, por fuente y para los diferentes niveles de P inicial, se presentan en las figuras 22 y 23.

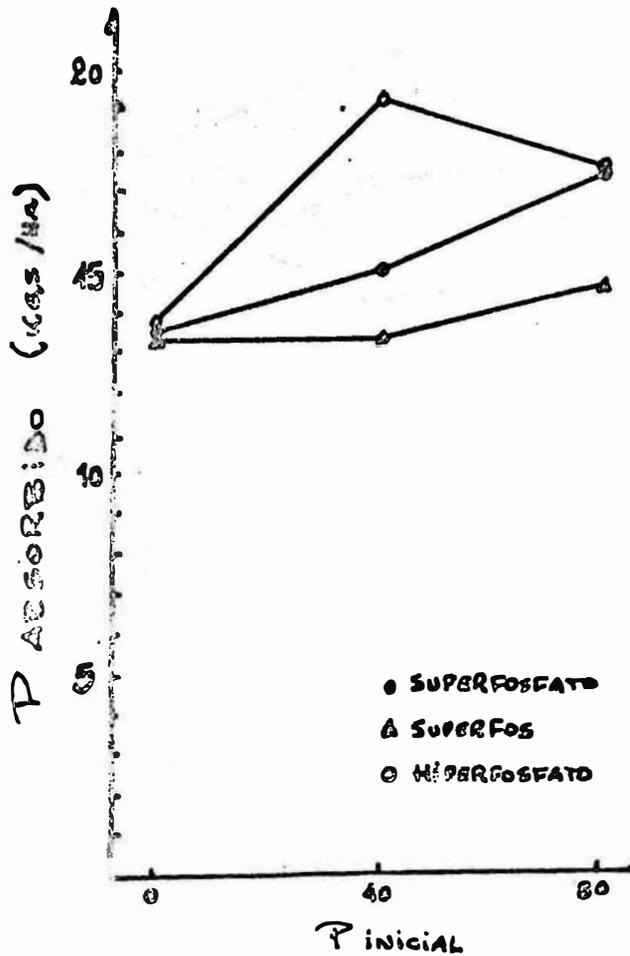


Figura 22 - Respuesta a la refertilización (40 kg/há de P) en P absorbido por la pastura para el primer año de evaluación.

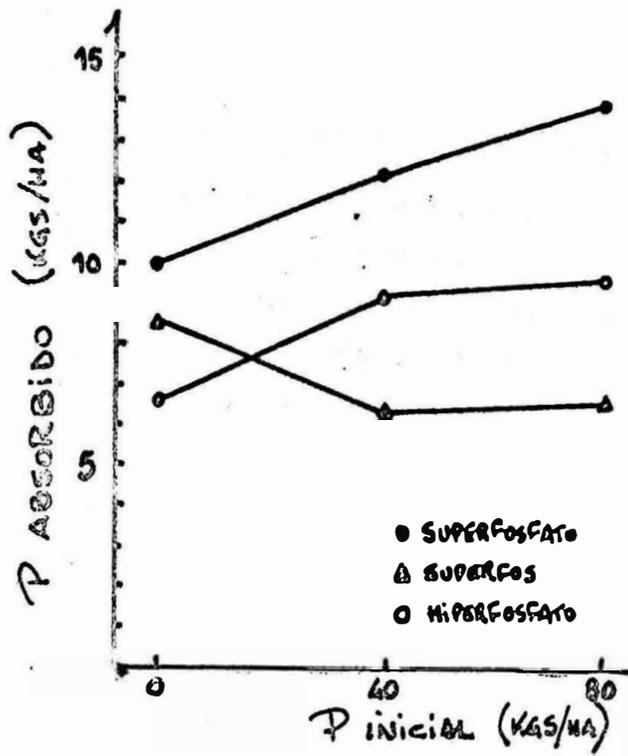


Figura 23 - Respuesta a la refertilización (40 kg/há de P) en P absorbido por la pastura para el segundo año de evaluación.

4.2.2.4. Efecto de las interacciones -

En términos generales, y tal como se dijo anteriormente, las interacciones fueron de escasa importancia; tanto para los cortes como para los totales anuales.

La interacción que presentó significación fue fuente x refertilización, hecho que se dió en el cuarto y quinto cortes, así como en el total del segundo año. Para observar más claramente la ausencia de interacción fuente x refertilización en el total del primer año se presentan las figuras 24, 25 y 26 en las cuales se grafica la respuesta a la refertilización en P absorbido para el superfosfato, superfos e hipofosfato, respectivamente. A su vez, las figuras 27, 28 y 29 nos muestran la interacción antes dicha para el total del segundo año y para las tres fuentes.

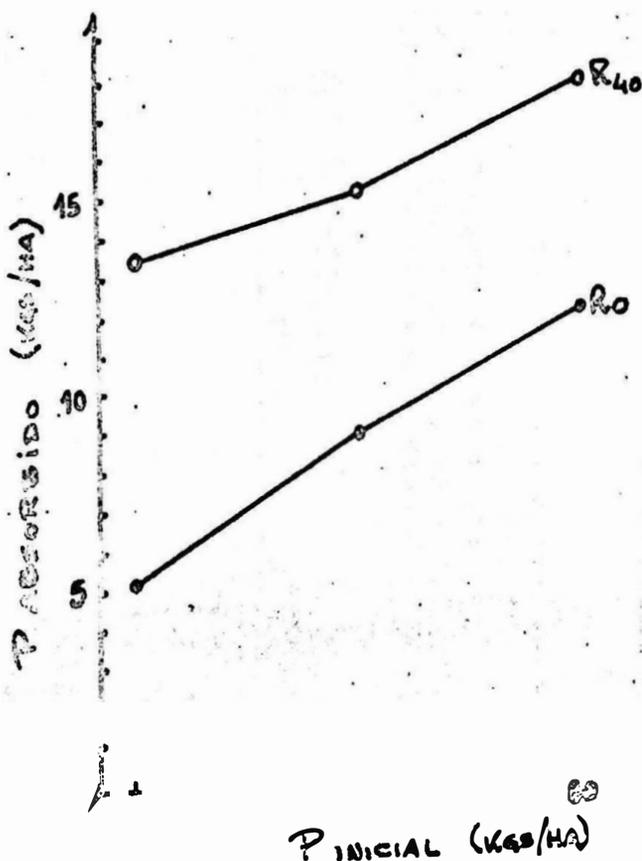


Figura 24 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total del P absorbido en el primer año de evaluación cuando la fuente empleada fue superfosfato.

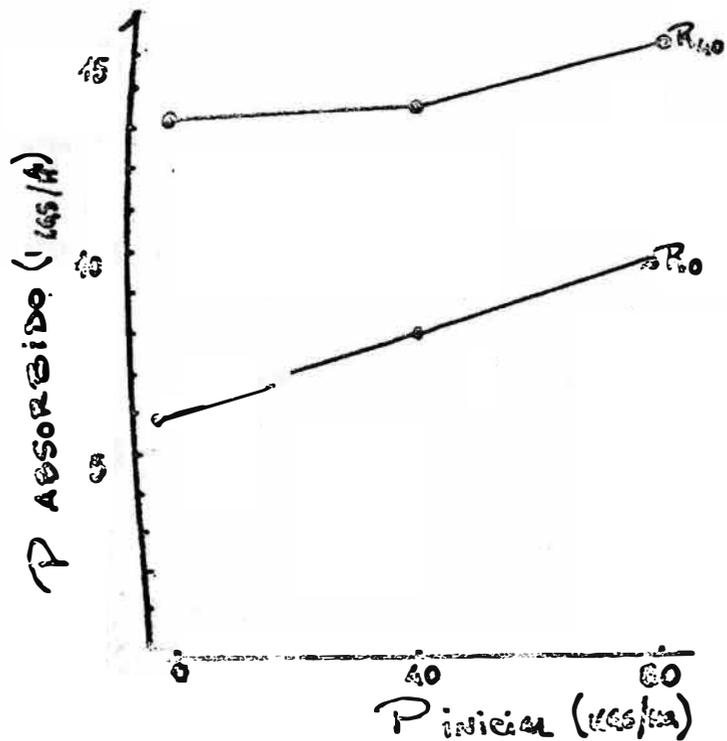


Figura 25 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total de P absorbido en el primer año de evaluación cuando la fuente fue superfos.

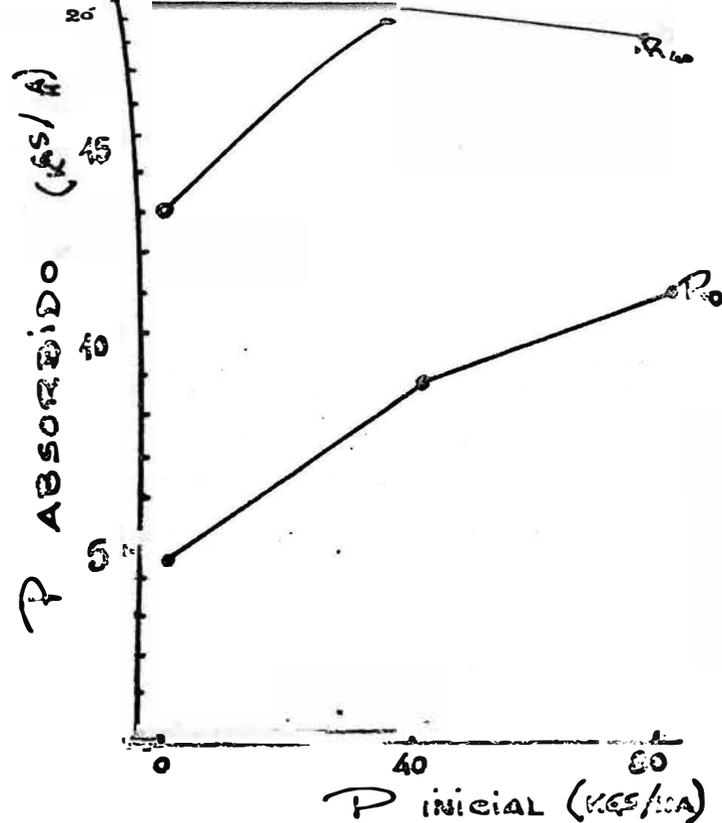


Figura 26 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total de P absorbido en el primer año de evaluación cuando la fuente empleada fue hiperfosfato.

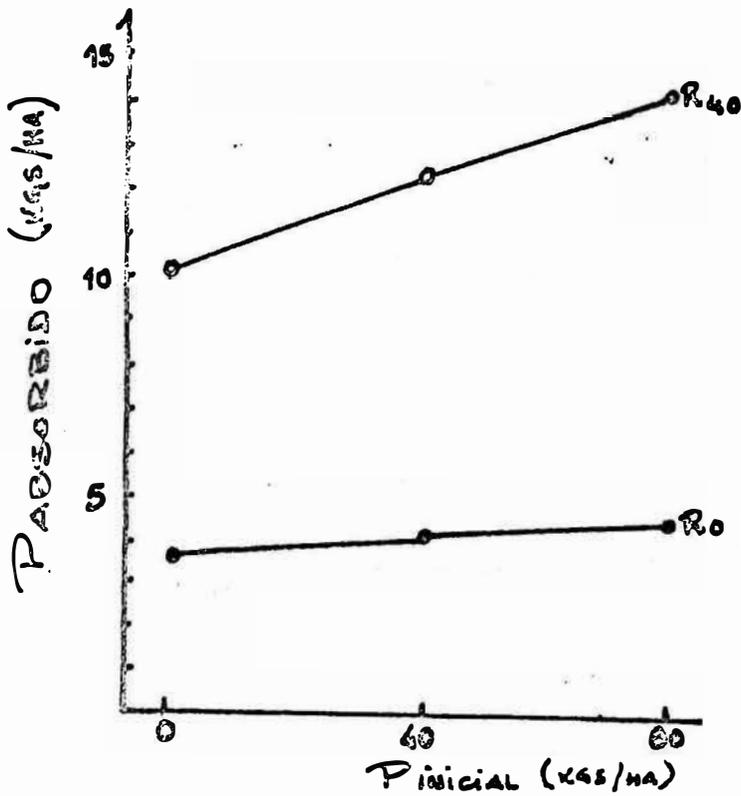


Figura 27 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total de P absorbido en el segundo año de evaluación cuando la fuente empleada fue superfosfato.

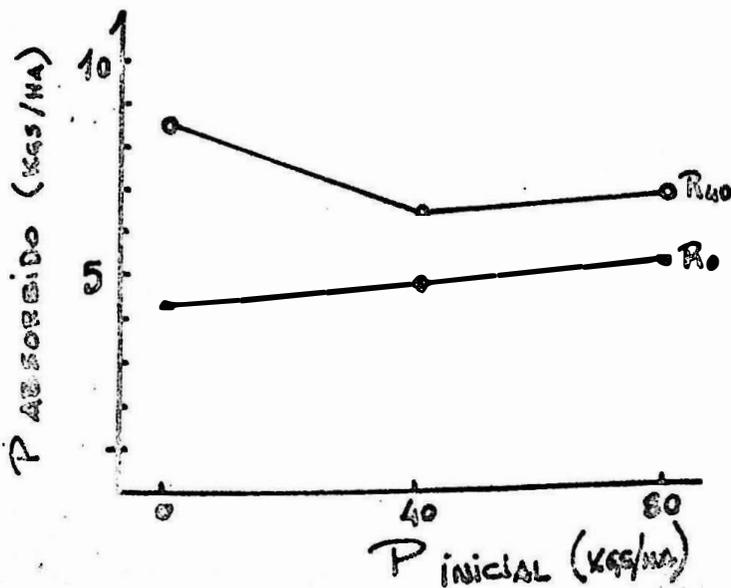


Figura 28 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kg/há de P) para el total de P absorbido en el segundo año de evaluación cuando la fuente empleada fue superfos.

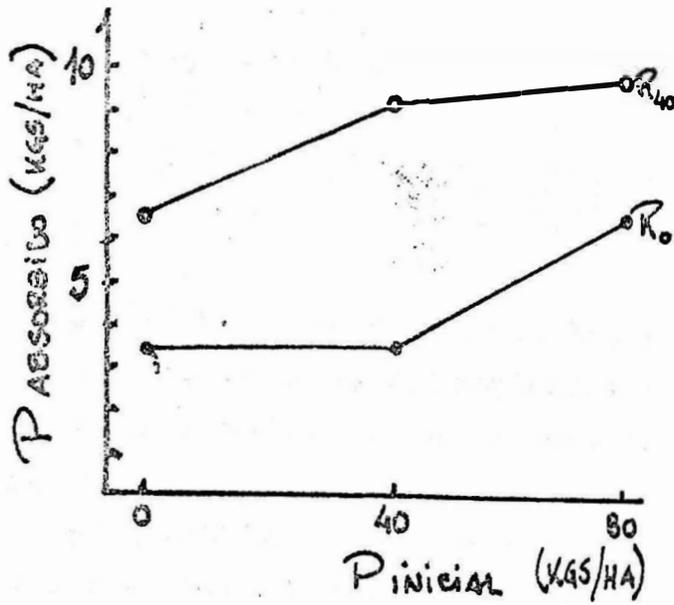


Figura 29 - Respuesta a dos niveles de refertilización (0 y 40 kgs/há de P) para el total de P absorbido en el segundo año de evaluación cuando la fuente empleada fue hiperfosfato.

Del estudio de las figuras 22 a 29 se destaca la marcada interacción fuente x refertilización para el segundo año de evaluación, frente al primero.

4.3. RELACION ENTRE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS Y LOS NIVELES DE FOSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO.

4.3.1. Efecto de los tratamientos en el fósforo disponible evaluado por los métodos de Bray N° 1 y Resinas Catiónicas.

En los cuadros 32 y 33 se presentan los resultados de P disponible en el suelo, en ppm, determinados por los métodos Bray N° 1 y Resinas Catiónicas para los dos años de evaluación. Comparando ambos métodos, en líneas generales, se observa que los valores de P disponible en el suelo determinados por el método de Resinas Catiónicas fueron, en todos los casos, mucho mayores que los determinados por el método Bray N° 1. Por otra parte, con ambos métodos, se observa que en la mayoría de los tratamientos los valores del segundo año son menores que los determinados para el primer año de evaluación.

En el cuadro 34 se resumen los resultados del análisis de varianza, para los dos años de evaluación y los dos métodos de análisis de suelo empleados.

Del análisis del mismo surge, en primer término, que para el primer año de evaluación ambos métodos de análisis de suelo detectan diferencias altamente significativas entre fuentes, mientras que solo el método de Resinas lo hace para el segundo año. En segundo término, el efecto residual del P inicial es detectado por ambos métodos en los dos años, con niveles de significación variables entre 1 y 10%. En tercer lugar, el efecto de la refertilización provoca diferencias significativas, entre 1 y 5% para los dos años de evaluación y por los dos métodos empleados. Por último, las interacciones en general fueron no significativas, con excepción de fuente x P inicial (al 5%, determinada por Bray N° 1 en el segundo año) y fuente x refertilización (al 1% determinada por Resinas Catiónicas en el segundo año. A continuación se procederá a la discusión en detalle de estos resultados.

Cuadro 32 - Valores de P disponible (en ppm) en el suelo determinados por el método de Bray N° 1 para los dos años de evaluación (valores promedio para tratamiento redondeados a número entero).

Fuente	Dosis P/há Inic.	Ref.	Primer año	Segundo Año
S U P E R F O S F A T O	0	0	4	4
		20	4	4
		40	5	5
	20	0	7	4
		20	7	4
		40	9	5
	40	0	5	4
		20	6	4
		40	7	5
	80	0	6	6
		20	7	7
		40	9	7
S U P E R F O S	0	0	7	5
		20	7	5
		40	7	5
	20	0	8	4
		20	7	5
		40	9	5
	40	0	7	4
		20	7	4
		40	9	4
	80	0	7	4
		20	7	5
		40	8	5
H I P E R F O S F A T O	0	0	4	3
		20	5	4
		40	4	5
	20	0	5	4
		20	7	5
		40	7	6
	40	0	4	4
		20	6	5
		40	6	6
	80	0	5	4
		20	5	5
		40	5	5

Cuadro 33 - Valores de P disponible (en ppm) en el suelo determinados por el método de Resinas Catiónicas para los dos años de evaluación. (Valores promedio por tratamiento redondeados a número entero)

Tratamientos		PRIMER AÑO	SEGUNDO AÑO
Fuente	P/há Inic. Ref.		
S	0	18	14
Ü	0 20	20	13
P	40	21	16
E	0	18	12
R	20 20	20	14
F	40	20	19
O	0	17	16
S	40 20	23	14
F	40	21	16
A	0	23	17
T	80 20	23	17
O	40	26	32
H	0	23	13
I	0 20	20	19
P	40	17	28
E	0	19	14
R	20 20	31	18
F	40	37	40
O	0	22	13
S	40 20	22	20
F	40	44	43
A	0	35	18
T	80 20	35	44
O	40	43	59

Cuadro 34 - Valores de Fo y su significación en el análisis de varianza para los datos de análisis de suelo determinados por los métodos de Bray N° 1 y Resinas Catiónicas

Fuente de variación	Bray N° 1 1er. año		Resinas Cat. 1er.año		Bray N° 1 2do. año		Resinas Cat. 2do. año	
Fuente	12,27	***	10,73	***	2,00	NS	11,075	***
P inicial	6,35	***	2,94	*	3,33	**	3,632	**
Fuente x P inicial	1,527	NS	1,11	NS	3,13	**	0,664	NS
Refertilización	10,65	***	4,85	**	11,8	***	23,797	***
Fuente x refertilización	1,66	NS	2,11	NS	1,182	NS	9,64	***
P inicial x refertilización	0,68	NS	1,586	NS	0,312	NS	1,50	NS
Fuente x P inic. x refertiliz.	0,49	NS	1,83	NS	0,164	NS	0,895	NS

NS - no significativo

* - significativo al 10%

** significativo al 5%

*** significativo al 1%

4.3.1.1 Efecto de las fuentes fosfatadas.

En el cuadro 35 se presentan los valores promedio por fuente, determinados por los dos métodos de análisis y para los dos años de evaluación, independientemente de los niveles de P inicial y de refertilización. Debe destacarse que no es totalmente válido el estudio de la fuente en forma independiente del P inicial en el caso de los valores hallados por Bray N° 1 en el segundo año y del nivel de refertilización para los valores hallados por Resinas para ese mismo año, debido a las interacciones significativas de fuente con los otros dos factores ya mencionados.

Cuadro 35 - Efecto de la fuente fosfatada sobre los niveles de fósforo disponible en el suelo, promediado por sobre niveles de P inicial y de refertilización (Valores en ppm redondeados a número entero).

Fuente	Bray N°1 1er.año	Resinas Cat. 1er.año	Bray N°1 2do.año	Resinas Cat.. 2°año
Superfosfato	6	21	5	17
Superfos	7	-	4	-
Hiperfosfato	5	29	5	27
Promedio	6	25	5	22

Del análisis del mismo surge que:

- para el 1er año de evaluación, las diferencias altamente significativas entre fuentes que arroja el análisis de varianza para el método Bray N° 1, estarían dadas por una leve superioridad del superfos frente al superfosfato y en último término el hiperfosfato; a pesar de que estas diferencias son pequeñas. En el caso del método de Resinas Catiónicas, además de presentarse valores mayores de P disponible, se observa un comportamiento inverso con respecto al método Bray N° 1, es decir,

los valores hallados para el hiperfosfato son mayores que los del superfosfato.

- para el segundo año de evaluación, los valores determinados por Bray N° 1 son bajos y prácticamente iguales; mientras que los hallados por el método de Resinas son mayores y con diferencias significativas al 1%. Al igual que para el año anterior, estas diferencias estarían dadas por los valores más altos que presenta el hiperfosfato frente al superfosfato.

4.3.1.2. Efecto residual del P aplicado en la implantación de la pastura -

En el cuadro 36 se presentan los datos de P disponibles en el suelo en función de la dosis inicial de P, promediado por sobre fuentes y niveles de refertilización..

Cuadro 36 - Efecto de los niveles de P inicial sobre los niveles de P disponible en el suelo, promediados por sobre fuentes y niveles de refertilización (valores en ppm redondeados a número entero).

P inicial	Bray N° 1 1er. año	Resinas Catiónicas 1er año *	Bray N° 1 2do.año	Resinas 2do.año*
0	5	20	4	17
20	7	24	5	20
40	6	25	4	21
80	6	31	5	31
Promedio	6	25	5	23

* - promedios a partir de superfosfato e hiperfosfato

Del análisis del mismo puede decirse que:

- para ambos métodos de análisis de suelo, los valores para una misma dosis, disminuyeron en el segundo año de evaluación.

- el método de Resinas Catiónicas fue para ambos años el que determinó las diferencias mayores en niveles de P disponible entre las parcelas que no recibieron P en forma inicial frente a las que lo recibieron; o sea que aparece como el método más relacionado con las dosis de P aplicadas en la implantación.

4.3.1.3. Efecto de la refertilización

En el cuadro 37 se presentan los valores de P disponible en el suelo en función de los niveles de refertilización, promediados por sobre fuentes y niveles de P inicial.

Cuadro 37 - Efecto de los tres niveles de refertilización sobre los niveles de P disponible en el suelo, promediados por sobre fuentes y niveles de P inicial (valores en ppm redondeados a número entero.

Refertilización	Bray N°1 1er.año	Resinas Cat. 1er.año *	Bray N°1 2do.año	Resinas Cat. 2do. año *
0	6	22	4	15
20	5	24	5	20
40	7	28	5	32
Promedio	5	25	5	22

* - promedios a partir de superfosfato e hiperfosfato.

A partir de él se concluye que:

- en el primer año de evaluación, el incremento del P disponible en el suelo provocado por la refertilización, fue más claro cuando el método empleado fue el de Resinas Catiónicas.
- en el segundo año se constata una tendencia similar a la del primero, con diferencias más marcadas aún, a favor del método de Resinas Catiónicas frente al de Bray N° 1.

4.3.1.4. Efecto de las interacciones -

Tal como se dijo anteriormente, las interacciones entre factores principales fueron de escasa importancia. Las únicas que presentaron significación son: 1) fuente x P inicial (al 5%), y 2) fuente x refertilización (al 1%); ambas se presentaron en el segundo año de evaluación; la primera se detectó a través del método Bray N° 1, mientras que la segunda lo fue a partir del método de Resinas Catiónicas. En los casos restantes no solamente no se presentó significación al 10%, sino que tampoco puede observarse una tendencia clara que permita afirmar que existen interacciones significativas a niveles de probabilidad menos exigentes, como podrían ser 15 o 20%. Esto nos indica que, salvo las interacciones señaladas, los factores fuente, P inicial y refertilización se comportan en forma independiente en lo que respecta a los niveles de P disponible en el suelo.

4.3.2. Relaciones funcionales entre P disponible y P aplicado.

Con el objetivo de determinar la relación existente entre el P disponible en el suelo y el P aplicado, se ajustaron ecuaciones en las cuales se relaciona el dato de análisis de suelo, determinado por Bray N° 1 y Resinas Catiónicas, con los niveles de fertilización, tanto inicial como anual. Este procedimiento se aplicó para el superfosfato e hiperfosfato, en forma individual y conjunta, en los dos años de evaluación.

4.3.2.1. Resultados del primer año de evaluación -

El cuadro 38 presenta las regresiones ajustadas para los factores antes citados. En las ecuaciones presentadas se incluyen sólo aquellas variables y términos que fueron significativos ($p < 0.15$). Los términos estudiados fueron P inicial, P refertilización tanto lineales como cuadráticas, y la interacción P inicial x P refertilización.

Cuadro 38 - Regresiones ajustadas entre el dato de análisis de suelo y el fósforo agregado en forma inicial (P) y en refertilización (R) para el primer año de evaluación

Método de Análisis	Fuente	Regresión	Ajuste (r ²)	Probabilidad (p)
Bray N° 1	Superfosfato	$y = 4.225 + 0,027P + 0,052R$	0,34	0,001
Res.Catiónicas	Superfosfato	$y = 17,22 + 0,058P + 0,074R$	0,15	0,067
Bray N° 1	Hiperfosfato	$y = 4,59 + 0,065P - 0,0008P^2$	0,14	0,084
Res.Catiónicas	Hiperfosfato	$y = 17,33 + 0,20P + 0,25R$	0,30	0,003
Bray N° 1	Superfosfato + Hiperfosfato	$y = 3,99 + 0,07P + 0,035R - 0,0007P^2$	0,22	<0,001
Res.Catiónicas	Superfosfato + Hiperfosfato	$y = 17,28 + 0,13P + 0,16R$	0,18	0,001

A partir de las mismas puede concluirse que: todas las regresiones presentan un ajuste (r^2) bajo, lo que indicaría una relación pobre entre el P aplicado y el valor de análisis de suelo.

- a pesar de los bajos valores de r^2 , el método Bray N°1 se adaptaría o evaluaría mejor a la fuente superfosfato; mientras que el método de Resinas Catiónicas lo haría con la fuente hiperfosfato.

cuando se estudiaron ambas fuentes en conjunto, el r^2 obtenido si bien fue superior para Bray N° 1, fue muy similar para ambos métodos de análisis; lo que estaría indicando que los dos métodos se adaptarían en forma similar en aquellos casos en que se estudian ambas fuentes en conjunto.

4.3.2.2. Resultados del segundo año de evaluación.

En el cuadro 39 se presentan las ecuaciones ajustadas para el segundo año de evaluación.

Del análisis de las mismas puede concluirse que: a diferencia del primer año, las regresiones ajustadas para el segundo año de evaluación presentaron coeficientes de determinación aceptables.

- se mantiene la tendencia del año anterior, en la cual el método BrayN°1 evaluaría mejor a la fuente soluble, mientras que el de Resinas lo haría para la fuente insoluble. Debe hacerse notar el bajo r^2 de las resinas catiónicas con superfosfato.
- al igual que para el primer año, al estudiar las dos fuentes en conjunto, el ajuste (r^2) fue muy similar para ambos métodos de análisis.

4.3.3. Relación entre ambos métodos de análisis de suelo.

Con la finalidad de establecer la posible relación existente entre los dos métodos de análisis de suelo empleados, se ajustaron regresiones entre los valores hallados a par

Cuadro 39 - Regresiones ajustadas entre el dato de análisis de suelo y el fósforo agregado en forma inicial (P) y en refertilización (R) para el segundo año de evaluación.

Método de Análisis	Fuente	Regresión	Ajuste (r ²)	Probabilidad (p)
Bray N° 1	Superfosfato	$y = 3,9 - 0,018P + 0,0292R + 0,00054P^2$	0,46	< 0,001
Res.Cation.	Superfosfato	$y = 10,22 + 0,098P + 0,148R$	0,23	0,013
Bray N° 1	Hiperfosfato	$y = 3,22 + 0,034P + 0,086R - 0,0003P^2 - 0,0011R^2 - 0,00001PR$	0,47	0,001
Res.Cation.	Hiperfosfato	$y = 10,06 + 0,097P + 0,43R + 0,0077PR$	0,61	< 0,001
Bray N° 1	Superfosfato + Hiperfosfato	$y = 3,55 + 0,018P + 0,034R$	0,34	< 0,001
Res.Cation.	Superfosfato + Hiperfosfato	$y = 11,44 + 0,06P + 2,24R + 0,006PR$	0,37	< 0,001

tir de los mismos, para el superfosfato e hiperfosfato por separado y en forma conjunta para los dos años de evaluación. Las mismas pueden observarse en el Cuadro 40.

A partir de ellas puede concluirse que existe un positivo pero muy bajo grado de correlación entre el método Bray N°1 y el de Resinas Catiónicas, independientemente de la fuente o del año considerado.

Esto indicaría que ambos métodos extraen formas de P distintas, lo que resulta lógico dado las características extractivas de ambos métodos. De acuerdo a éstos datos, esta diferente extracción no estaría relacionada a la fuente, ya que la relación entre ambos métodos es mala; ya sea que se estudie dentro de cada fuente o para el total de datos en conjunto.

4.3.4. Relación entre el P disponible inicial en cada año y la respuesta a la refertilización.

Con el objeto de establecer el poder predictivo de los métodos de análisis de suelo con respecto a la producción de materia seca, se ajustaron regresiones en las cuales se relacionó el dato de P disponible en el suelo (hallado por Bray N° 1 y Resinas Catiónicas) con el incremento producido por la refertilización con las dos fuentes estudiadas (superfosfato e hiperfosfato) en los dos años de evaluación de la pastura.

En primer lugar se relacionó el dato de análisis de P disponible en aquellas parcelas no refertilizadas con respecto al máximo incremento absoluto en materia seca logrado por la refertilización. Este último fue hallado como la diferencia entre el máximo rendimiento logrado en las parcelas refertilizadas (R₂₀ o R₄₀ indistintamente) menos el rendimiento de la parcela sin refertilizar (testigo) de la siguiente forma:

Máximo Incremento Absoluto = Máximo rendimiento logrado por la refertilización - rendimiento testigo.

Cuadro 40 - Regresiones ajustadas por fuente por año entre P disponible medido con los métodos Bray N° 1 (y) y Resinas Catiónicas (x).

Fuente	Año	Regresion	Ajuste (r ²)	Probabilidad (p)
Superfosfato	1er. año	$y = 15,69 + 0,81x$	0,09	0,07
Hiperfosfato	1er. año	$y = 7,84 + 4,07x$	0,21	0,005
Superfosfato	2do. año	$y = -6,86 + 6,33x - 0,30x^2$	0,24	0,011
Hiperfosfato	2do. año	$y = -10,32 + 8,04x$	0,24	0,002
Super + Hiper	1er. año	$y = 18,23 + 1,17x$	0,04	0,092
Super + Hiper	2do. año	$y = -22,08 + 13,28x - 0,80x^2$	0,16	0,002
Superfosfato	1er y 2do. año	$y = 9,70 + 1,60x$	0,18	< 0,001
Hiperfosfato	1er y 2do. año	$y = 1,43 + 5,41x$	0,21	< 0,001
Super + Hiper	1er y 2do. año	$y = -7,31 + 8,86x - 0,524x^2$	0,11	< 0,001

- en relación a las fuentes fosfatadas empleadas, salvo en un caso, los resultados indican que se presentaron diferencias significativas en los niveles de P disponible, ocasionadas por las mismas. Se constata que el método de Resinas Catiónicas extrae más P del hiperfosfato, mientras que el de Bray N° 1 lo hace, aunque con menos diferencias, con las fuentes de mayor solubilidad en agua.
 - con respecto al efecto residual del P inicial, debe decirse que el método de Resinas Catiónicas fue el que determinó diferencias mayores, en niveles de P disponible, entre aquellos tratamientos que recibieron P en la implantación y los que no lo recibieron.
 - en lo referente a la refertilización, también el método de Resinas es el que determina diferencias mayores entre los niveles de P disponible de los tratamientos con y sin refertilizar.
 - con respecto a las relaciones existentes entre el P disponible en el suelo y el P aplicado, las regresiones ajustadas para ambos años indican que el método de Resinas Catiónicas evalúa o se adapta mejor cuando la fuente empleada fue hiperfosfato, mientras que el método Bray N° 1 lo haría con el superfosfato. Cuando se evaluaron las dos fuentes en conjunto, el ajuste de ambos fue muy similar; ambos se adaptarían de la misma forma.
 - las regresiones halladas para determinar la relación existente entre ambos métodos de análisis del suelo, indican que la misma es positiva pero muy baja; hecho lógico dadas las características extractivas de cada uno.
- Por último, y con respecto al poder predictivo de ambos métodos de análisis, se concluye que el mismo no fue satisfactorio en las condiciones de este ensayo.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones más importantes obtenidas en este estudio son:

- con respecto al efecto de las fuentes fosfatadas, sobre la producción de forraje, se observó que las mismas no presentaron diferencias significativas entre sí; es decir, que en términos generales los rendimientos en materia seca obtenidos a partir de cualquiera de las tres fuentes fueron muy similares. Igual tendencia muestra el P absorbido por há.; no así el porcentaje de P en el forraje. Para este último se encontraron diferencias entre fuentes siendo mayor el porcentaje de P en parcelas tratadas con superfosfato o hiperfosfato en el primer año (3er. año de la pastura); en el segundo año de evaluación (4to. año de la pastura) los mayores porcentajes de P estuvieron asociados con el agregado de superfosfato.
- con respecto al efecto residual del P aplicado en la implantación, el mismo tuvo un efecto importante en la producción de forraje del primer año de evaluación (3er año de pastura), observándose una respuesta lineal, hasta las 80 unidades de P por há., de 30 kg/há de materia seca por kg de P; por otra parte, dicho efecto prácticamente desaparece durante el segundo año (4to. año de la pastura). Comportamientos similares presentaron tanto el P absorbido como el porcentaje de P en el forraje.
- con respecto al efecto de la refertilización, se observaron diferencias a favor de aquellas parcelas refertilizadas frente a las que no lo fueron, en términos de producción de materia seca porcentaje de P y kgs de P absorbido. Debe destacarse que la respuesta, en producción de forraje a la refertilización, se dió con incrementos más importantes hasta la dosis de 20 kg/há de P. Por otra parte, las únicas interacciones

significativas fueron las observadas entre "fuente" y "P inicial" con la "refertilización". En términos de producción de forraje la interacción "P inicial x refertilización" de signo negativo, presentó una tendencia a ser significativa durante el primer año de evaluación (3er. año de la pastura). A su vez la interacción "fuente x refertilización" se presentó con consistencia en el porcentaje de P y en los kg de P absorbidos, fundamentalmente durante el segundo año (4to. de la pastura) siendo el superfosfato la fuente que dió mayor respuesta en la refertilización.

- con respecto a los niveles de P disponible en el suelo, debe señalarse, en primer lugar, que los valores hallados a partir del método de Resinas Catiónicas son, en todos los casos, mayores a los hallados por el método Bray N° 1. En segundo lugar se observa que las diferencias entre fuentes estarían dadas por valores superiores de las fuentes solubles frente a las insolubles cuando el método usado fue Bray; mientras que al emplear Resinas se observó un comportamiento inverso. Por último, tanto el efecto residual del P inicial como el de la refertilización, fueron significativos. Para ambos, fue el método de Resinas Catiónicas el que arrojó diferencias más amplias entre aquellos tratamientos con y sin P inicial y con y sin P en refertilización.

- con respecto a la relación P disponible - P aplicado; se encontró que la misma fue pobre, dada por un ajuste bajo. A pesar de ello puede señalarse que el método Bray N° 1 extrajo más P de aquellos suelos que recibieron superfosfato; mientras que Resinas extrajo más P de los suelos a los que se agregó hiperfosfato. Por otra parte si se estudian ambas fuentes en conjunto, ambos métodos se adaptan en forma similar.

- con respecto a la relación entre ambos métodos de análisis, se observa que la misma fue pobre; probablemente como consecuencia de las diferencias entre las fuentes empleadas, así como también a las características extractivas de cada método.

- con respecto a la relación entre el P disponible al comienzo de cada año y la respuesta a la refertilización, los resultados indican que la misma fue muy baja; con lo cual el valor predictivo del dato de análisis de suelo respecto a la respuesta en producción de forraje sería, en el mejor de los casos, de relativa confiabilidad.

6. RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar en un suelo Vertisol rúptico, típico de la cuenca lechera sur del Uruguay, el efecto de las diferentes dosis de fertilización inicial y de refertilización sobre la producción de forraje y absorción de P por una pastura convencional durante el 3er. y 4to. año de su ciclo, utilizando tres fuentes fosfatadas. Las mismas fueron: superfosfato, superfos, e hiperfosfato; se aplicaron en forma inicial en dosis de 0, 20, 40 y 80 kg/há de P; y en refertilización anual a niveles de: 0, 20 y 40 kgs/há de P. La pastura estaba compuesta por una mezcla de Lotus (*Lotus corniculatus*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y Raigrás anual (*Lolium multiflorum*) y se le efectuaron 5 cortes durante el período de 2 años de evaluación. En lo que respecta al efecto de las fuentes fosfatadas, éstas no provocaron diferencias en términos de producción de forraje y P absorbido. El porcentaje de P se vio incrementado cuando la fuente empleada fue superfosfato. El efecto residual de P aplicado en la implantación mostró un efecto importante en el incremento de producción de materia seca, P absorbido y porcentaje de P durante el primer año de evaluación, efecto que no fue significativo durante el 2do. año. La refertilización incrementó en forma significativa los rendimientos de forraje y P absorbido, así como el porcentaje de P en ambos años. Respecto a los métodos de análisis de suelo, Resinas Cationicas extrajo más P del suelo que Bray N° 1. A pesar de la baja relación existente, el método Bray N° 1 extrajo más P de aquellos suelos que recibieron superfosfato, mientras que Resinas Cationicas haría lo propio con aquellos a los que se aplicó hiperfosfato. El valor predictivo del dato de análisis se presenta como de relativa utilidad.

7. SUMMARY

The objective of this trial was to evaluate in a "Vertisol rúptico" soil, typical of the southern dairy area of Uruguay, the effects of different rates of initial phosphorus (P) fertilization and topdressing in the forage production and phosphorus uptake by a legume-grass pasture during the 3rd. and 4th. years after establishment using three phosphate sources. Phosphate sources were: superphosphate, superfos and hyperphosphate; the rates applied were: 0, 20, 40 and 80 kg/há of P and the rates topdressed annually were: 0, 20 and 40 kg/há of P. The species of the pasture were birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*), white clover (*Trifolium repens*) and annual ryegrass (*Lolium multiflorum*). Five cuts were made over a two-year period. The phosphate sources didn't show differential effects either on forage yields nor in P uptake, but P concentration in the forage was higher when superphosphate was used. Phosphorus rates applied at planting still showed an important effect up to the highest rate applied in dry matter production, P uptake and P concentration during the first year evaluated, but there weren't any significant effects during the second year. Phosphorus topdressing significantly increased forage and P yields and P concentration in both years. Soil test using cation exchange resins (CER) extracted more P from the soil than Bray N° 1. Despite a poor relation between both methods, Bray N° 1 extracted more P from plots that received superphosphate whereas CER did so in those plots where hyperphosphate was applied. The predictive value of soil tests used appeared as very poor.

TRATAMIENTOS		B L O Q U E S			TOTAL POR	PROMEDIO POR		
Fuente	P/há	Inic.	Ref.	I	II	III	TRATAMIENTO	TRATAMIENTO
S U P E R F O S F A T O	0	0	0	946	1808	1589		
		20	20	2939	3056	4978	4343	1448
		40	40	5015	4037	2681	10973	3658
	20	0	0	1536	2412	1972		
		20	20	4567	3253	4097	5920	1973
		40	40	4035	4182	2736	1197	3972
	40	0	0	1749	2959	2272		
		20	20	4879	4507	4118	6980	2327
		40	40	4125	3356	3560	13504	4501
	80	0	0	3959	3114	4006		
		20	20	3036	3192	3393	11079	3693
		40	40	4827	4369	2783	9621	3207
S U P E R F O S F A T O	0	0	0	1905	1515	2364	5784	1928
		20	20	2625	1903	4136	8664	2888
		40	40	4072	3719	3259	11050	3683
	20	0	0	2148	2399	4007		
		20	20	4225	2740	3495	8554	2851
		40	40	4027	2552	3588	10460	3487
	40	0	0	1468	2680	2600		
		20	20	3944	2735	4636	6748	2249
		40	40	3733	2399	5009	11315	3772
	80	0	0	1569	2776	3121		
		20	20	3529	2822	4143	11141	3714
		40	40	3167	4760	4682	7166	2389
H I P E R F O S F A T O	0	0	0	990	1873	1556	4419	1473
		20	20	3215	3029	3508	9752	3251
		40	40	4266	3753	3711	11730	3910
	20	0	0	2388	2456	2813		
		20	20	3422	3881	4069	7657	2552
		40	40	3625	4351	4510	11372	3791
	40	0	0	2798	3583	3344		
		20	20	4559	3464	3250	12486	4162
		40	40	4928	4639	4091	9725	3242
	80	0	0	4280	1980	3041		
		20	20	2781	4560	5829	11273	3758
		40	40	3985	5071	3131	13658	4553

Cuadro 41 - Rendimiento en Materia Seca (kgs ./há) del PRIMER corte.

TRATAMIENTOS FUENTE	P/há		B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	INIC.	Ref.	I	II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	638	1010	1382	3030	1010
		20	1446	1704	1168	4318	1439
		40	1374	1172	1202	3748	1249
	20	0	616	1052	748	2416	805
		20	1020	1692	1158	3870	1290
		40	1354	1410	1006	3770	1257
	40	0	1020	1834	1354	4208	1403
		20	1894	1660	1492	5046	1682
		40	1362	1412	1424	4198	1399
80	0	1074	1352	1228	3654	1218	
	20	1418	1164	906	3488	1163	
	40	1216	1670	998	3884	1295	
S U P E R F O S F A T O	0	0	700	770	1260	2730	910
		20	1238	1100	1692	4030	1343
		40	1484	1398	1922	4804	1601
	20	0	1396	1774	1658	4828	1609
		20	1450	746	1276	3472	1157
		40	1840	1660	1048	4548	1516
	40	0	792	1636	1524	3952	1317
		20	762	1728	1350	3840	1280
		40	1808	1878	1656	5342	1781
80	0	1258	1698	2198	5154	1718	
	20	1840	1462	1324	4626	1542	
	40	1712	2142	1456	5310	1770	
H I P E R F O S F A T O	0	0	1052	924	696	2672	891
		20	1192	2000	1224	4416	1472
		40	1346	2070	1328	4744	1581
	20	0	1198	1976	1254	4428	1476
		20	1916	962	1536	4414	1471
		40	1874	1642	2044	5560	1853
	40	0	1578	1748	1222	4548	1516
		20	820	1602	1234	3656	1219
		40	1842	2254	1954	6050	2017
80	0	2072	1140	1352	4564	1521	
	20	1972	1312	1268	4552	1517	
	40	2154	1270	1298	4722	1574	

Cuadro 42 - Rendimiento en materia seca (kgs./há) del
SEGUNDO corte.

TRATAMIENTO FUENTE	P/há		B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO x TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	851	744	886	2481	827
		20	1442	870	3026	5338	1779
		40	3002	1417	2469	6888	2296
	20	0	882	913	721	2516	839
		20	915	1766	750	3431	1144
		40	3065	2235	1559	6859	2286
	40	0	1353	878	648	2879	960
		20	2200	2111	1644	5955	1985
		40	1955	1441	1856	5252	1751
	80	0	1804	1506	1945	5255	1752
		20	563	3413	2646	6622	2207
		40	1624	2555	3198	7377	2459
S U P E R F O S	0	0	588	738	2068	3394	1131
		20	1339	460	1207	3006	1002
		40	1532	2279	1961	5772	1924
	20	0	801	1094	610	2505	835
		20	1623	1582	1889	5094	1698
		40	1357	2020	2645	6022	2007
	40	0	1116	945	1749	3810	1270
		20	3642	1442	2094	7178	2393
		40	1706	577	1903	4186	1395
	80	0	642	1547	1741	3930	1310
		20	1155	1715	1955	4825	1608
		40	1370	1147	2388	4905	1635
H I P E R F O S F A T O	0	0	1210	727	747	2684	895
		20	943	1138	929	3010	1003
		40	1273	1465	805	3543	1181
	20	0	910	1149	575	2634	878
		20	1416	2332	1370	5118	1706
		40	1899	2966	1360	6225	2075
	40	0	737	389	621	1747	582
		20	877	1094	1335	3306	1102
		40	1877	1701	2266	5844	1948
	80	0	734	1367	2278	4379	1466
		20	1824	2049	2595	6468	2156
		40	2337	3162	2444	7943	2648

Cuadro 43 - Rendimiento en Materia Seca (Kgs./há) del TERCER corte

TRATAMIENTO FUENTE	P/há Inic. Ref.	B L O Q U E			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
		II	III			
0	0	2435	3562	3857	9854	3285
	20	5827	5630	9172		
	40	9391	6626	6352		
20	0	3034	4377	3441	10852	3617
	20	6502	6711	6005		
	40	8454	7827	5301		
40	0	4122	5671	4274	14067	4689
	20	8973	8278	7254		
	40	7442	6269	6840		
80	0	6837	5972	7179	19988	6663
	20	5017	7769	6945		
	40	7667	8594	6979		
0	0	3193	3023	5692	11908	3969
	20	5202	3463	7035		
	40	7088	7396	7142		
20	0	4345	5267	6275	15887	5296
	20	7298	5068	6660		
	40	7224	6232	7281		
40	0	3376	5261	5873	14510	4836
	20	8348	5905	8080		
	40	7247	4854	8568		
80	0	3469	5721	7060	16250	5417
	20	6524	5999	7422		
	40	6249	8049	8526		
0	0	3252	3524	2999	9775	3258
	20	5350	6167	5661		
	40	6885	7238	5844		
20	0	4496	5581	4642	14719	4906
	20	6754	7175	6975		
	40	7398	8959	7914		
40	0	5113	5720	5187	16020	5340
	20	6256	6160	5819		
	40	8647	8594	8311		
80	0	7086	4487	6671	18244	6081
	20	6577	7921	9692		
	40	8476	9503	6873		

Cuadro 44 - Rendimiento total acumulado en Materia Seca (kgs./há) del PRIMER año de evaluación

TRATAMIENTO FUENTE	P/há		B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	100	973	1086		
		20	271	1897	2704	2159	720
		40	1692	1316	3300	4872	1624
	20	0	920	987		6308	2103
		20	1845	2675	922	2829	943
		40	1848	2473	1066	5586	1862
	40	0	909	1198		5570	1857
		20	2658	2315	1037	3144	1048
		40	2351	2966	1572	6545	2182
	80	0	1185	521		6408	2136
		20	156	1579	649	2355	785
		40	2462	2146	4042	5777	1926
S U P E R F O S	0	0	178	415	2013	2606	869
		20	1370	586	2669	4625	1542
		40	2151	1374	2467	5992	1997
	20	0	123	1199	1438	2760	920
		20	595	977	2235	3807	1269
		40	1336	1779	2732	5847	1949
	40	0	139	912	2258	3309	1103
		20	332	2330	2570	5232	1744
		40	192	1849	1843	3884	1295
	80	0	189	1133	1532	2854	951
		20	1166	2052	972	4190	1397
		40	492	1917	1207	3616	1205
H I P E R F O S F A T O	0	0	108	709	847	1664	555
		20	271	1802	1508	3581	1194
		40	663	1831	290	2784	928
	20	0	640	1043	225	1908	636
		20	1794	1082	1530	4406	1469
		40	410	3096	2090	5596	1865
	40	0	588	1223	435	2246	749
		20	175	1970	591	2736	912
		40	853	2466	1489	4808	1603
	80	0	2081	198	2068	4347	1449
		20	2142	442	1469	4053	1351
		40	1753	640	2504	4897	1632

Cuadro 45 - Rendimiento en Materia Seca (kgs/há) del CUARTO corte.

TRATAMIENTO FUENTE	P/há	Inic. Ref.	B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
			I	II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	1027	1984	2463	5474	1825
		20	2447	2490	2636	7573	2524
		40	2466	2094	2131	6691	2030
	20	0	1925	2154	1505	5584	1861
		20	2495	3470	1809	7774	2591
		40	3177	3175	1618	7970	2657
	40	0	1777	1435	1662	4874	1625
		20	3064	2975	2728	8767	2922
		40	3032	3754	2399	9185	3062
	80	0	1776	2237	1070	5083	1694
		20	2671	2581	2209	7461	2487
		40	3323	4617	2129	10069	3356
S U P E R F O S	0	0	1466	1574	2639	5679	1893
		20	2805	1915	2549	7269	2423
		40	3006	2229	2459	7694	2565
	20	0	1268	1873	1992	5133	1711
		20	2333	1152	2660	6145	2048
		40	2266	3111	3238	8615	2872
	40	0	1840	1673	2687	6200	2067
		20	2210	2223	3519	7952	2651
		40	2740	2923	2384	8047	2682
	80	0	1241	2487	2473	6201	2067
		20	1637	2770	2726	7133	2378
		40	2400	2954	2571	7925	2642
H I P E R F O S F A T O	0	0	1511	1863	2042	5416	1805
		20	2468	2730	2298	7496	2499
		40	2117	3799	1924	7840	2613
	20	0	1371	1947	1466	4784	1595
		20	3040	2080	1899	7019	2340
		40	2409	3020	1768	7197	2399
	40	0	1237	1814	1869	4920	1640
		20	1694	2455	2033	6182	2061
		40	2579	2730	3029	8338	2779
	80	0	2094	1629	3487	7210	2403
		20	2665	3025	2348	8038	2679
		40	3081	3198	3555	9834	3278

Cuadro 46 - Rendimiento en Materia Seca (kgs./há) del QUINTO corte.

TRATAMIENTO	FUENTE P/há		B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	1127	2957	3549	7633	2544
		20	2718	4387	5340	12445	4148
		40	4158	3410	5431	12999	4333
	20	0	2845	3141	2427	8413	2804
		20	4340	6145	2875	13360	4453
		40	5025	5648	2867	13540	4513
	40	0	2686	2633	2699	8018	2673
		20	5722	5290	4300	15312	5104
		40	5383	6720	3490	15593	5198
	80	0	2961	2758	1719	7438	2479
		20	2827	4160	6251	13238	4413
		40	5785	6763	3988	16536	5512
S U P E R F O S	0	0	1644	1989	4652	8285	2762
		20	4175	2501	5218	11894	3965
		40	5157	3603	4926	13686	4562
	20	0	1391	3072	3430	7893	2631
		20	2928	2129	4895	9952	3317
		40	3602	4890	5970	14462	4821
	40	0	1979	2585	4945	9509	3170
		20	2542	4553	6089	13184	4395
		40	2932	4772	4227	11931	3977
	80	0	1430	3620	4005	9055	3018
		20	2803	4822	3698	11323	3774
		40	2892	4871	3778	11541	3847
H I P E R F O S F A T O	0	0	1619	2572	2889	7080	2360
		20	2739	4532	3806	11077	3692
		40	2780	5630	2214	10624	3541
	20	0	2011	2990	1691	6692	2231
		20	4834	3162	3429	11425	3808
		40	2819	6116	3858	12793	4264
	40	0	1825	3037	2304	7166	2389
		20	1869	4425	2624	8918	2973
		40	3432	5196	4518	13146	4382
	80	0	4175	1827	5555	11557	3852
		20	4807	3467	3817	12091	4030
		40	4834	3838	6059	14731	4910

Cuadro 47 - Rendimiento total acumulado en Materia Seca (Kgs./Há) del segundo año de evaluación.

Cuadro 48 - Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del PRIMER corte

Fuente de Variación	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	1574824		
Fuente	2	2200240,130	2,50	NS
P inicial	3	8161053,380	6,185	***
Fuente x P inicial	6	1163254,500	0,44	NS
Error (a)	22	9676238,000		
Refertilización	2	45307770,400	69,92	***
Fuente x refertilización	4	822486,375	0,317	NS
P inicial x refertilización	6	4894462,130	1,26	NS
Fuente x P inicial x refertilización	12	9016444,880	1,16	NS
Error (b)	48	31104014		
TOTAL	107	113920787		

Cuadro 49 - Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del SEGUNDO corte

Fuente de variación	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	427018,250		
Fuente	2	1181116,410	3,524	**
P inicial	3	910511,157	1,81	NS
Fuente x P inicial	6	964072,969	0,96	NS
Error (a)	22	3686368,800		
Refertilización	2	1583854,310	9,12	***
Fuente x refertilización	4	825675,375	2,377	*
P inicial x refertilización	6	1085211,560	2,083	*
Fuente x P inicial x refertilización	12	1130454,280	1,085	NS
Error (b)	48	4167903,100		
TOTAL	107	15962186,300		

Cuadro 50 Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del TERCER corte

Fuente de variación	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	1020492,500		
Fuente	2	972004,313	0,83	NS
P inicial	3	4988764,590	2,845	*
Fuente x P inicial	6	4012987,600	1,144	NS
Error (a)	22	12859740		
Refertilización	2	15195457,300	31,377	***
Fuente x refertilización	4	1011625,410	1,044	NS
P inicial x refertilización	6	2118323,340	1,458	NS
Fuente x P inicial x refertilización	12	4548823,690	1,566	NS
Error (b)	48	11622931		
TOTAL	107	58351149,600		

Cuadro 51 Análisis de varianza del rendimiento total acumulado en materia seca del PRIMER año de evaluación

Fuente de Variación	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	3135672		
Fuente	2	2209672,5	0,78	NS
P inicial	3	31757208	7,506	***
Fuente x P inicial	6	7625724	0,901	NS
Error (a)	22	31026476		
Refertilización	2	136930409	60,74	***
Fuente x refertilización	4	12867886	0,965	NS
P inicial x refertilización	6	9975628,5	1,475	NS
Fuente x P inicial x refertilización	12	19900924,5	1,47	NS
Error (b)	48	54106903		
TOTAL	107	301018161		

Cuadro 52 - Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del CUARTO corte

Fuente de variación	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	8335683,630		
Fuente	2	3182567,160	1,326	NS
P inicial	3	402880,969	0,112	NS
Fuente x P inicial	6	2246493,090	0,312	NS
Error (a)	22	26405724		
Refertilización	2	13751284,900	18,217	***
Fuente x refertilización	4	1711867,590	1,134	NS
P inicial x refertilización	6	660943,125	0,292	NS
Fuente x P inicial x refertilización	12	3080736,560	0,68	NS
Error (b)	48	18116147		
TOTAL	107	77894328,300		

Cuadro 53 - Análisis de varianza del rendimiento en materia seca del QUINTO corte

Fuente de variación	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	1286329,750		
Fuente	2	105243,750	0,102	NS
P inicial	3	1736576,810	1,12	NS
Fuente x P inicial	6	1826184,940	0,59	NS
Error (a)	22	11383465		
Refertilización	2	15613958,300	33,42	***
Fuente x refertilización	4	698999,438	0,748	NS
P inicial x refertilización	6	1026179,630	0,732	NS
Fuente x P inicial x refertilización	12	2137591,310	0,763	NS
Error (b)	48	11214169		
TOTAL	107	47028697,500		

Cuadro 54 - Análisis de varianza del rendimiento total acumulado en materia seca del SEGUNDO año de evaluación

Fuente de Variación	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	13582489		
Fuente	2	4310171,630	0,845	NS
P inicial	3	2941203,380	0,38	NS
Fuente x P inicial	6	6354194,630	0,415	NS
Error (a)	22	56124283		
Refertilización	2	58510615,100	34,612	***
Fuente x refertilización	4	4311784,880	1,275	NS
P inicial x refertilización	6	1163858,250	0,23	NS
Fuente x P inicial x refertilización	12	8316244,130	0,82	NS
Error (b)	48	40571653		
TOTAL	107	196186496		

	Fuente de variación	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
C O R T E 1	Contraste 1	1	44369839	68,47	***
	Contraste 2	1	938258,21	1,45	N.S.
	Error	48	31104014		
C O R T E 2	Contraste 1	1	912584,4	10,51	***
	Contraste 2	1	671246,5	7,73	***
	Error	48	4167903,1		
C O R T E 3	Contraste 1	1	133698,15	55,21	***
	Contraste 2	1	1825693	7,54	***
	Error	48	11622931		
T O T A L 1 er año	Contraste 1	1	127076680	112,73	***
	Contraste 2	1	9853781	8,74	***
	Error	48	54106903		

Cuadro 55 - Análisis de varianza de los contrastes ortogonales del efecto de la refertilización en la producción de materia seca del PRIMER año de evaluación; (por corte y para el total anual).

	Fuente de variación	G.de L	S.C.	Fo	Significación
C O R T E 4	Contraste 1	1	13115182	34,75	***
	Contraste 2	1	636011,53	1,69	NS
	Error	48	18116147		
C O R T E 5	Contraste 1	1	14054582	60,16	***
	Contraste 2	1	15593778	6,67	**
	Error	48	11214169		
T O T A L 2do Año	Contraste 1	1	54323282	64,27	***
	Contraste 2	1	4187155	4,95	**
	Error	48	40571653		

Nota: El error (para los contrastes) corresponde al error (b) de los análisis de varianza respectivos.

$$\text{Contraste 1} = R_0 \text{ v.s. } \frac{R_{20} + R_{40}}{2}$$

$$R_0 = \text{dosis de refertilización} = 0$$

$$R_{20} = \text{dosis de refertilización} = 20$$

$$\text{Contraste 2} = R_{20} \text{ v.s. } R_{40}$$

$$R_{40} = \text{dosis de refertilización} = 40.$$

Cuadro 56 - Análisis de varianza de los contrastes ortogonales del efecto de la refertilización en la producción de materia seca del SEGUNDO año de evaluación; por corte y para el total anual.

TRATAMIENTOS FUENTE	P/Há		B L O Q U E S			PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III	
S U P E R F O S F A T O	0	0	0,1505	0,1204	0,1419	0,1376
		40	0,1763	0,1935	0,1548	0,1749
	40	0	0,1677	0,1505	0,1548	0,1577
		40	0,2580	0,1935	0,2365	0,2293
	80	0	0,1720	0,1720	0,1720	0,1720
		40	0,2322	0,2150	0,2666	0,2379
S U P E R F O S	0	0	0,1591	0,1118	0,1634	0,1448
		40	0,2021	0,1505	0,1548	0,1691
	40	0	0,1806	0,1376	0,1247	0,1476
		40	0,1849	0,1806	0,2021	0,1892
	80	0	0,1204	0,1548	0,1935	0,1562
		40	0,1849	0,1634	0,2150	0,1878
H I P E R F O S F A T O	0	0	0,1290	0,1634	0,1204	0,1376
		40	0,1978	0,1849	0,2021	0,1949
	40	0	0,1376	0,1849	0,1333	0,1519
		40	0,2709	0,2064	0,1763	0,2179
	80	0	0,1419	0,1462	0,2107	0,1663
		40	0,2236	0,2236	0,2236	0,2236

Cuadro 57 - Porcentaje de fósforo en el forraje del primer corte

TRATAMIENTOS FUENTE	P/há		B L O Q U E S			PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III	
S U P E R F O S F A T O	0	0	0,1813	0,2058	0,2156	0,2009
		40	0,3087	0,2940	0,2891	0,2973
	40	0	0,2744	0,2548	0,2352	0,2548
		40	0,2989	0,2891	0,3038	0,2973
	80	0	0,2793	0,2450	0,2499	0,2581
		40	0,3675	0,3283	0,3577	0,3512
S U P E R F O S	0	0	0,1677	0,1634	0,2322	0,1878
		40	0,2695	0,2499	0,2744	0,2646
	40	0	0,2499	0,2646	0,2499	0,2548
		40	0,2401	0,2891	0,2646	0,2646
	80	0	0,2009	0,2058	0,3038	0,2368
		40	0,2499	0,2303	0,3038	0,2613
H I P E R F O S F A T O	0	0	0,2083	0,2107	0,2058	0,2083
		40	0,3087	0,2548	0,2793	0,2809
	40	0	0,2303	0,2254	0,2007	0,2188
		40	0,3038	0,3430	0,3038	0,3169
	80	0	0,2597	0,2695	0,2842	0,2711
		40	0,3332	0,3332	0,2842	0,3169

Cuadro 58 - Porcentaje de fósforo en el forraje del segundo corte.

TRATAMIENTOS FUENTE	P/há		B L O Q U E S			PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III	
S U P E R F O S F A T O	0	0	0,1225	0,1372	0,1075	0,1224
		40	0,1247	0,1161	0,1462	0,1290
	40	0	0,1323	0,1323	0,1204	0,1283
		40	0,1323	0,1720	0,1505	0,1516
	80	0	0,1421	0,1421	0,1591	0,1478
		40	0,1720	0,1634	0,1715	0,1690
S U P E R F O S	0	0	0,1204	0,1333	0,1505	0,1347
		40	0,1204	0,1274	0,1806	0,1428
	40	0	0,1176	0,0946	0,1127	0,1083
		40	0,0989	0,0946	0,1372	0,1102
	80	0	0,0817	0,1333	0,1421	0,1190
		40	0,1419	0,1323	0,1764	0,1502
H I P E R F O S F A T O	0	0	0,1176	0,0946	0,1176	0,1099
		40	0,1548	0,1161	0,1421	0,1377
	40	0	0,1225	0,1225	0,1323	0,1258
		40	0,1911	0,1462	0,1470	0,1614
	80	0	0,1421	0,1225	0,1376	0,1341
		40	0,1333	0,1720	0,1376	0,1476

Cuadro 59 - Porcentaje de fósforo en el forraje del tercer corte.

TRATAMIENTOS FUENTE	P/há		B L O Q U E S			PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III	
S U P E R F O S F A T O	0	0	0,1828	0,1763	0,1892	0,1828
		40	0,2924	0,2838	0,2666	0,2829
	40	0	0,1763	0,1763	0,1935	0,1820
		40	0,2752	0,2924	0,2881	0,2852
	80	0	0,2580	0,2021	0,2752	0,2451
		40	0,3784	0,3096	0,3354	0,3411
S U P E R F O S	0	0	0,1634	0,1634	0,2150	0,1806
		40	0,2365	0,2021	0,2236	0,2207
	40	0	0,1806	0,1806	0,1978	0,1863
		40	0,2494	0,2107	0,2408	0,2336
	80	0	0,1505	0,1849	0,2236	0,1863
		40	0,2838	0,2236	0,3010	0,2695
H I P E R F O S F A T O	0	0	0,1763	0,1763	0,2021	0,1849
		40	0,2709	0,2150	0,2279	0,2379
	40	0	0,1849	0,1892	0,2107	0,1949
		40	0,2795	0,2322	0,2408	0,2508
	80	0	0,1849	0,1763	0,2537	0,2050
		40	0,2580	0,3010	0,2795	0,2795

Cuadro 60 - Porcentaje de fósforo en el forraje del cuarto corte.

TRATAMIENTOS FUENTE	P/há		B L O Q U E S			PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III	
S U P E R F O S F A T O	0	0	0,1118	0,1333	0,1376	0,1276
		40	0,2021	0,1978	0,1677	0,1892
	40	0	0,1419	0,1204	0,1290	0,1304
		40	0,2064	0,2279	0,1849	0,2064
	80	0	0,1290	0,1505	0,1806	0,1534
		40	0,2021	0,2279	0,2150	0,2150
S U P E R F O S	0	0	0,1333	0,1290	0,1419	0,1347
		40	0,1634	0,1505	0,1591	0,1577
	40	0	0,1290	0,1290	0,1333	0,1304
		40	0,1419	0,1376	0,1204	0,1333
	80	0	0,1161	0,1204	0,1591	0,1319
		40	0,1505	0,1505	0,2021	0,1677
H I P E R F O S F A T O	0	0	0,1247	0,1376	0,1290	0,1304
		40	0,1333	0,1634	0,2150	0,1706
	40	0	0,1290	0,1118	0,1505	0,1304
		40	0,2107	0,2021	0,1763	0,1964
	80	0	0,1204	0,1247	0,1935	0,1462
		40	0,1849	0,1677	0,1548	0,1691

Cuadro 61

Porcentaje de fósforo en el forraje del quinto corte.

Cuadro 62 - Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del PRIMER corte.

FUENTE DE VARIACION	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	1755,444		
Fuente	2	3826,336	2,635	NS
P inicial	2	9203,446	6,338	***
Fuente x P inicial	4	1932,220	0,665	NS
Error (a)	16	11616,555		
Refertilización	1	34251,853	53,946	***
Fuente x refertilización	2	2178,035	1,715	NS
P inicial x refertilización	2	881,592	0,694	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	409,851	0,161	NS
Error (b)	18	11428,667		
TOTAL	53	77484,000		

Cuadro 63 Analisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del SEGUNDO cort

FUENTE DE VARIACION	G.de L	S.C.	Fo	Significación
Bloques	.2	1038,812		
Fuente	2	9840,146	5,294	**
P inicial	2	16952,922	9,12	***
Fuente x P inicial	4	3145,077	0,846	NS
Error (a)	16	14870,19		
Refertilización	1	51584,461	148,08	***
Fuente x refertilización	2	4249,928	6,10	***
P inicial x refertilización	2	2811,595	4,036	**
Fuente x P inicial x refertilización	4	5534,183	3,972	**
Error (b)	18	6270,327		
TOTAL	53	116297,642		

CUADRO 64 -Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del TERCER corte.

FUENTE DE VARIACION	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	1649,147		
Fuente	2	1746,371	2,25	NS
P inicial	2	2495,147	3,214	*
Fuente x P inicial	4	5045,741	3,25	**
Error (a)	16	6211,519		
Refertilización	1	4704,000	16,82	***
Fuente x refertilización	2	328,445	0,587	NS
P inicial x refertilización	2	160,334	0,287	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	1191,888	1,066	NS
Error (b)	18	5033,332		
TOTAL	53	28565,924		

Cuádro 65 -Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del CUARTO corte.

FUENTE DE VARIACION	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	6284,776		
Fuente	2	14885,775	15,92	***
P inicial	2	16145,441	17,27	***
Fuente x P inicial	4	3706,114	1,982	NS
Error (a)	16	7480,226		
Refertilización	1	70850,662	126,3	***
Fuente x refertilización	2	4844,449	4,318	**
P inicial x refertilización	2	1036,783	0,924	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	970,771	0,433	NS
Error (b)	18	10098,331		
TOTAL	53	136303,329		

Cuadro 66 - Análisis de varianza del porcentaje de fósforo en el forraje del QUINTO corte

FUENTE DE VARIACION	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	1474,925		
Fuente	2	6951,705	9,07	***
P inicial	2	1487,816	1,94	NS
Fuente x P inicial	4	2147,851	1,401	NS
Error (a)	16	6132,073		
Refertilización	1	25306,686	53,745	***
Fuente x refertilización	2	4671,258	4,960	**
P inicial x refertilización	2	167,147	0,177	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	2274,740	1,208	NS
Error (b)	18	8475,666		
TOTAL	53	59089,869		

TRATAMIENTOS FUENTE	P/Há		B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	I	II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	1,42	2,18	2,25	5,85	1,95
		40	8,41	7,81	4,15	20,37	6,79
	40	0	4,51	4,45	3,52	12,48	4,16
		40	10,64	6,49	8,42	25,55	8,52
	80	0	6,81	5,36	6,89	19,06	6,35
		40	11,21	9,39	7,42	28,02	9,34
S U P E R F O S	0	0	3,03	1,69	3,86	8,58	2,86
		40	8,23	5,60	5,05	18,88	6,29
	40	0	2,65	3,69	3,24	9,58	3,19
		40	6,90	4,33	10,12	21,35	7,12
	80	0	1,89	3,83	6,04	11,76	3,92
		40	5,86	7,78	10,07	23,71	7,90
H I P E R F O S F A T O	0	0	1,28	3,06	1,87	6,21	2,07
		40	8,44	6,94	7,50	28,88	7,63
	40	0	3,85	6,62	4,46	14,93	4,98
		40	13,35	9,57	7,21	30,13	10,04
	80	0	6,07	2,89	6,41	15,37	5,12
		40	8,91	11,34	7,00	27,25	9,08

Cuadro 67 - Fósforo absorbido (Kgs/há) del primer corte

TRATAMIENTOS			B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
FUENTE	P/há		I	II	III		
	Inic.	Ref.					
S U P E R F O S P A T O	0	0	1,16	2,08	2,98	6,22	2,07
		40	4,24	3,45	3,48	11,17	3,72
	40	0	2,80	4,67	3,19	10,66	3,55
		40	4,07	4,08	4,33	12,48	4,16
	80	0	3,00	3,31	3,07	9,38	3,13
		40	4,47	5,48	3,57	13,52	4,51
S U P E R F O S	0	0	1,17	1,26	2,93	5,36	1,79
		40	4,00	3,49	5,27	12,77	4,26
	40	0	1,98	4,33	3,81	10,12	3,37
		40	4,34	5,43	4,38	14,15	4,72
	80	0	2,53	3,49	6,68	12,7	4,23
		40	4,28	4,93	4,42	13,64	4,55
H I P E R F O S P A T O	0	0	2,19	1,95	1,43	5,57	1,86
		40	4,16	5,27	3,71	13,14	4,38
	40	0	3,63	3,94	2,45	10,03	3,34
		40	5,60	7,73	5,94	19,26	6,42
	80	0	5,38	3,07	3,84	12,30	4,10
		40	7,18	4,23	3,69	15,10	5,03
Cuadro	68		- Fósforo absorbido, (Kgs./há) del segundo corte				

TRATAMIENTOS			B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
FUENTE	P/há	Ref.	I	II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	1,04	1,02	0,95	3,01	1,00
		40	3,74	1,65	3,61	9,00	3,00
	40	0	1,79	1,16	0,78	3,73	1,24
		40	2,59	2,48	2,79	7,86	2,62
		0	2,56	2,14	3,09	7,79	2,60
		80	2,79	4,17	5,49	12,45	4,15
S U P E R F O S	0	0	0,71	0,98	2,79	4,48	1,49
		40	1,84	2,90	3,54	8,28	2,76
	40	0	1,31	0,89	1,97	4,17	1,39
		40	1,69	0,55	2,61	4,85	1,62
		0	0,52	2,06	2,47	5,05	1,68
		80	1,94	1,53	4,21	7,68	2,56
H I P E R F O S F A T O	0	0	1,42	0,69	0,88	2,99	1,00
		40	1,97	1,70	1,14	4,81	1,60
	40	0	0,90	0,48	0,82	2,20	0,73
		40	3,59	2,49	3,33	9,41	3,14
	50	0	1,04	1,67	3,13	5,84	1,95
		40	3,12	5,44	3,36	11,92	3,97

Cuadro 69 - Fósforo absorbido (Kgs./há) del tercer corte.

TRATAMIENTOS FUENTE	P/há		B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
	Inic.	Ref.	II	III			
S U P E R F O S F A T O	0	0	3,62	5,28	6,18	15,08	5,03
		40	16,39	12,91	11,24	40,54	13,51
	40	0	9,10	10,28	7,49	26,87	8,96
		40	17,3	13,05	15,54	45,89	15,30
	80	0	12,37	10,81	13,05	36,23	12,08
		40	18,47	19,04	16,48	53,99	18,00
S U P E R F O S	0	0	4,91	3,93	9,58	18,42	6,14
		40	14,07	11,99	13,86	39,92	13,31
	4	0	5,94	8,91	9,02	23,87	7,96
		40	12,93	10,31	17,11	40,35	13,45
	80	0	4,94	9,38	15,19	29,51	9,84
		40	12,08	14,24	18,70	45,02	15,01
H I P E R F O S F A T O	0	0	4,89	5,70	4,18	14,77	4,92
		40	14,57	13,91	12,35	40,83	13,61
	40	0	8,38	11,04	7,73	27,15	9,05
		40	22,54	19,79	16,48	58,81	19,60
	80	0	12,49	7,63	13,38	33,50	11,17
		40	19,21	21,01	14,05	54,27	18,09

Cuadro 70 - Fósforo absorbido total (kgs/há) en el primer año de evaluación

TRATAMIENTOS			B L O Q U E S			TOTAL POR	PROMEDIO POR
FUENTE	P/Há	Inic. Ref.		II	III	TRATAMIENTO	TRATAMIENTO
S U P E R F O S F A T O	0	0	0,18	1,72	2,05	3,95	1,32
		40	4,95	3,73	8,80	17,48	5,83
	40	0	1,60	2,11	2,00	5,71	1,90
		40	6,47	8,67	3,14	18,28	6,09
	80	0	3,06	1,05	1,79	5,90	1,97
		40	9,32	6,64	6,24	22,20	7,40
S U P E R F O S	0	0	0,29	0,68	4,33	5,3	1,77
		40	5,09	2,78	5,52	13,39	4,46
	40	0	0,25	1,65	4,47	6,37	2,12
		40	0,48	3,90	4,48	8,86	2,95
	80	0	0,28	2,09	3,40	5,77	1,92
		40	1,40	4,29	3,63	9,32	3,11
H I P E R F O S F A T O	0	0	0,19	1,25	1,71	3,15	1,05
		40	1,80	3,94	0,66	6,4	2,13
	40	0	1,09	2,31	0,92	4,32	1,44
		40	2,38	5,73	3,59	11,70	3,90
	80	0	3,85	0,35	5,25	9,45	3,15
		40	4,52	1,93	7,00	13,45	4,48

Cuadro 71 - Fósforo absorbido (Kgs./há) del cuarto corte

TRATAMIENTOS FUENTE	P/há Inic.	Ref.	B L O Q U E S		TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO	
			II	III			
S U P E R F O S F A T O	0	0	1,15	2,64	3,39	7,18	2,39
		40	4,98	4,14	3,57	12,69	4,23
	40	0	2,52	1,73	2,14	6,39	2,13
		40	6,26	8,56	4,44	19,26	6,42
	80	0	2,29	3,37	1,93	7,59	2,53
		40	6,72	10,52	4,58	21,82	7,27
S U P E R F O S	0	0	1,95	2,03	3,74	7,72	2,57
		40	4,91	3,35	3,91	12,17	4,06
	40	0	2,37	2,16	3,58	8,11	2,70
		40	3,89	4,02	2,87	10,78	3,59
	80	0	2,79	2,99	3,93	9,71	3,24
		40	1,87	4,45	5,20	11,52	3,84
H I P E R F O S F A T O	0	0	1,88	2,56	2,63	7,07	2,36
		40	2,82	6,21	4,14	13,17	4,39
	40	0	1,60	2,03	2,81	6,44	2,15
		40	5,43	5,52	5,34	16,29	5,43
	80	0	2,52	2,03	6,75	11,30	3,77
		40	5,70	5,36	5,50	16,56	5,52

Cuadro 72 - Fósforo absorbido (Kgs./há) del quinto corte

TRATAMIENTOS			B L O Q U E S			TOTAL POR TRATAMIENTO	PROMEDIO POR TRATAMIENTO
FUENTE	P/há	Ref.	I	II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	1,33	4,36	5,44	11,13	3,71
		40	9,93	7,87	12,37	30,17	10,06
	40	0	4,12	3,84	4,14	12,10	4,03
		40	12,73	17,23	7,58	37,54	12,51
	80	0	5,35	4,42	3,72	13,49	4,50
		40	16,04	17,16	10,82	44,02	14,67
S U P E R F O S F A T O	0	0	2,24	2,71	8,07	13,02	4,34
		40	10,00	6,13	9,43	25,56	8,52
	40	0	2,62	3,81	8,05	14,48	4,83
		40	4,37	7,92	7,35	19,64	6,55
	80	0	3,07	5,08	7,33	15,48	5,16
		40	3,27	8,74	8,83	20,84	6,95
H I P E R F O S F A T O	0	0	2,07	3,81	4,34	10,22	3,41
		40	4,62	10,15	4,80	19,57	6,52
	40	0	2,69	4,34	3,73	10,76	3,59
		40	7,81	11,25	8,93	27,99	9,33
	80	0	6,37	2,38	12,00	20,75	6,92
		40	10,22	7,29	12,50	30,01	10,00

Cuadro 73 - Fósforo absorbido total (Kgs./há) en el segundo año de evaluación

Cuadro 74 - Análisis de varianza del fósforo absorbido (Kgs./há) del PRIMER corte

FUENTE DE VARIACION	G.del L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	3,310		
Fuente	2	15,920	2,643	NS
P inicial	2	53,679	8,911	***
Fuente x P inicial	4	12,843	1,066	NS
Error (a)	16	48,192		
Refertilización	1	242,020	68,37	***
Fuente x refertilización	2	2,832	0,4	NS
P inicial x refertilización	2	2,414	0,341	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	2,639	0,186	NS
Error (b)	18	63,746		
TOTAL	53	447,592		

Cuadro 75 - Análisis de varianza del fósforo absorbido (Kgs./há) del SEGUNDO corte

FUENTE DE VARIACION	G.del L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	1,013		
Fuente	2	4,129	1,307	NS
P inicial	2	18,718	5,927	**
Fuente x P inicial	4	1,659	0,263	NS
Error (a)	16	25,264		
Refertilización	1	33,860	51,225	***
Fuente x refertilización	2	2,341	1,77	NS
P inicial x refertilización	2	4,084	3,09	*
Fuente x P inicial x refertilización	4	3,902	1,477	NS
Error (b)	18	11,889		
TOTAL	53	106,860		

Cuadro 76 - Análisis de varianza del fósforo absorbido (Kgs/há) del TERCER corte

FUENTE DE VARIACION	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	5,964		
Fuente	2	2,567	1,604	NS
P inicial	2	12,454	7,784	***
Fuente x P inicial	4	5,436	1,70	NS
Error (a)	16	12,806		
Refertilización	1	25,352	52,82	***
Fuente x refertilización	2	2,277	2,371	NS
P inicial x refertilización	2	0,094	0,1	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	3,733	1,944	NS
Error (b)	18	8,642		
TOTAL	53	79,326		

Cuadro 77 - Análisis de varianza del fósforo total absorbido (Kgs/há) del PRIMER año de evaluación

FUENTE DE VARIACION	G.deL.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	4,343		
Fuente	2	30,209	1,904	NS
P inicial	2	196,427	12,382	***
Fuente x P inicial	4	34,995	1,103	NS
Error (a)	16	126,915		
Refertilización		697,538	119,9	***
Fuente x refertilización	2	17,612	1,514	NS
P inicial x refertilización	2	10,487	0,901	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	8,329	0,36	NS
Error (b)	18	104,717		
TOTAL	53	1231,570		

Cuadro 78 - Análisis de varianza del fósforo absorbido (Kgs/há) del CUARTO corte

FUENTE DE VARIACION	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
BLOQUES	2	13,573		
Fuente	2	22,751	2,22	NS
P inicial	2	7,747	0,757	NS
Fuente x P inicial	4	12,269	0,60	NS
Error (a)	16	81,936		
Refertilización	1	93,773	66,365	***
Fuente x refertilización	2	29,085	10,3	***
P inicial x refertilización	2	0,165	0,0587	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	5,648	1	NS
Error (b)	18	25,429		
TOTAL	53	292,377		

Cuadro 79 - Análisis de varianza del fósforo absorbido (Kgs/há) del QUINTO corte

FUENTE DE VARIACION	G.de L.	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	4,302		
Fuente	2	6,602	1,70	NS
P inicial	2	9,652	2,48	NS
Fuente x P inicial	4	3,537	0,455	NS
Error (a)	16	31,113		
Refertilización	1	72,918	45,52	***
Fuente x refertilización	2	15,583	4,864	**
P inicial x refertilización	2	2,430	0,758	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	7,501	1,17	NS
Error (b)	18	28,839		
TOTAL	53	182,479		

Cuadro 80 - Análisis de varianza del fósforo total absorbido (Kgs/há) del SEGUNDO año de evaluación

FUENTE DE VARIACION	G.de L	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	26,677		
Fuente	2	46,484	2,292	NS
P inicial	2	34,663	1,71	NS
Fuente x P inicial	4	25,801	0,636	NS
Error (a)	16	162,227		
Refertilización	1	332,072	80,4	***
Fuente x refertilización	2	81,415	9,85	***
P inicial x refertilización	2	1,344	0,163	NS
Fuente x P inicial x refertilización	4	22,576	1,37	NS
Error (b)	18	74,364		
TOTAL	53	807,624		

Tratamiento			B L O Q U E S			Promedio por tratamiento
Fuente	P/Há Inic.Ref.		II	III		
S U P E R F O S F A T O	0	0	3	4	4	4
		20	4	4	4	4
		40	5	5	5	5
	20	0	7	7	7	7
		20	6	8	6	7
		40	8	12	8	9
	40	0	5	4	5	5
		20	6	5	6	6
		40	8	5	7	7
	80	0	5	5	8	6
		20	6	6	10	7
		40	7	8	11	9
S U P E R F O S	0	0	6	6	8	7
		20	9	4	9	7
		40	9	7	6	7
	20	0	8	7	8	8
		20	8	7	7	7
		40	11	5	11	9
	40	0	10	6	6	7
		20	8	8	5	7
		40	9	8	9	9
	80	0	6	7	7	7
		20	6	6	8	7
		40	7	6	10	8
H I P E R F O S F A T O	0	0	4	5	3	4
		20	4	5	5	5
		40	3	4	5	4
	20	0	6	5	5	5
		20	7	7	7	7
		40	6	9	7	4
	40	0	5	3	5	6
		20	6	4	7	6
		40	8	5	4	5
	80	0	5	3	8	5
		20	4	5	5	5
		40	5	5	5	5

Cuadro 81 - Valores de P disponible en el suelo determinados por el método Bray N° 1 para el PRIMER año de evaluación.

Nota - los valores promedio por tratamiento fueron redondeados.

Tratamientos			B L O Q U E S			Promedio por tratamiento
Fuente	P/Há Inic.	Ref.	I	II	III	
		0	9,4	16,4	27,5	18
S	0	20	10,5	24,0	26,4	20
U		40	17,6	21,1	23,4	21
P		0	20,5	19,3	12,8	18
E	20	20	14,6	32,8	12,2	20
R		40	19,3	26,9	13,5	20
F		0	15,8	18,9	17,6	17
O	40	20	20,5	29,9	18,2	23
S		40	20,5	23,4	18,2	21
F		0	23,5	24,0	20,3	23
A	80	20	21,7	23,4	24,3	23
T		40	22,3	28,1	27,0	26
O		0	18,2	47,4	10,1	23
H	0	20	17,6	28,1	12,8	20
I		40	19,3	14,6	16,9	17
P		0	25,2	18,7	12,2	19
E	20	20	24,6	47,4	22,3	31
R		40	34,6	46,9	29,3	37
F		0	15,8	26,4	23,6	22
O	40	20	14,6	28,7	23,6	22
S		40	54,5	56,8	20,9	44
F		0	39,8	19,3	47,3	36
A	80	20	36,3	28,1	41,2	35
T		40	43,9	38,7	45,9	43
O		0				

-Cuadro 82 -Valores de P disponible en el suelo deter-
minados por el método de resinas catiónicas
para el PRIMER año de evaluación

Nota - Los valores promedio por tratamiento fueron redon-
deados a número entero.

Tratamiento Fuente	P/Há		B L O Q U E S			Promedio por tratamiento
	Inic.	Ref.	I	I	III	
S U P E R F O S F A T O	0	0	4	4	4	4
		20	4	4	5	4
		40	6	4	5	5
	20	0	4	3	4	4
		20	5	3	5	4
		40	6	6	4	5
	40	0	5	4	4	4
		20	5	4	4	4
		40	5	5	5	5
	80	0	5	7	5	6
		20	11	4	6	7
		40	7	6	8	7
S U P E R F O S	0	0	5	4	5	5
		20	6	3	5	5
		40	6	4	5	5
	20	0	4	4	5	4
		20	5	5	4	5
		40	4	5	6	5
	40	0	4	3	4	4
		20	4	4	5	4
		40	3	4	5	4
	80	0	4	3	5	4
		20	4	4	6	5
		40	4	4	6	5
H I P E R F O S F A T O	0	0	3	4	3	3
		20	3	5	5	4
		40	3	5	6	5
	20	0	4	3	5	4
		20	5	5	6	5
		40	5	6	6	6
	40	0	4	3	4	4
		20	5	5	5	5
		40	7	5	5	4
	80	0	4	3	5	5
		20	4	5	7	5
		40	5	5	6	5

Cuadro 83 -Valores de P disponible en el suelo determinados por el método Bray N° 1 para el SEGUNDO año de evaluación

Nota - Los valores promedio por tratamiento fueron redondeados a número entero.

Tratamientos Fuente	P/Há Inic.	Ref.	B L O Q U E S			Promedio por tratamiento	
			I	II	III		
S U P E R F O S F A T O		0	8,8	10,8	20,9	14	
	0	20	8,8	13,5	16,9	13	
		40	18,2	14,9	14,2	16	
		0		14,2	12,8	10,1	12
	20	20	14,9	18,2	10,1	14	
		40	20,3	23,0	12,8	19	
		0		11,5	20,3	16,2	16
	40	20	13,5	14,2	14,2	14	
		40	12,8	17,6	16,2	16	
		0		17,6	18,2	14,2	17
	80	20	17,6	14,9	18,2	17	
		40	16,9	21,6	58,1	32	
H I P E R F O S F A T O		0	14,9	12,8	11,5	13	
	0	20	18,9	22,3	15,5	19	
		40	20,9	44,6	18,2	28	
		0		17,6	11,5	13,5	14
	20	20	17,6	18,2	18,2	18	
		40	60,8	29,0	31,0	40	
		0		8,8	18,2	11,5	13
	40	20	10,8	23,6	26,3	20	
		40	25,0	64,2	39,9	43	
		0		20,9	11,5	21,6	18
	80	20	31,7	38,6	61,5	44	
		40	42,6	43,9	89,8	59	

Cuadro 84-Valores de P disponible en el suelo determinados por el método de resinas catiónicas para el SEGUNDO año de evaluación.

Nota - Los valores promedio por tratamiento fueron redondeados a número entero.

FUENTE	GL	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	13,722		
fuentes	2	87,056	12,27	***
P inicial	3	67,583	6,35	***
Fuente x P inicial	6	32,500	1,527	NS
Error (a)	22	78,056		
Refertilización	2	31,722	10,65	***
Fuente x refertilización	4	9,889	1,66	NS
P inicial x refertilización	6	6,056	0,68	NS
Fuente x P inicial x refert.	12	8,778	0,49	NS
Error (b)	48	71,555		
Total	107	406,917		

Cuadro 85 - Análisis de varianza de los datos de P disponible en el suelo determinados por el método Bray N° 1 para el PRIMER año de evaluación.

<u>Fuente</u>	<u>GL</u>	<u>S.C.</u>	<u>Fo</u>	<u>Significación</u>
Bloques	2	511,7		
Fuente	1	1298,8	10,73	***
P inicial	3	1066,8	2,94	*
Fuente x P inicial	3	401,7	1,11	NS
Error (a).	14	1694		
Refertilización	2	506,2	4,85	**
Fuente x refertilización	2	220,7	2,11	NS
P inicial x refertilización	6	497,0	1,586	NS
Fuente x P inicial x refertilización	6	574,4	1,83	NS
Error (b)	32	1670,5		
Total	71	8441,8		

Cuadro 86 -

Análisis de varianza de los datos de P disponible en el suelo determinados por el método de resinas catiónicas para el PRIMER año de evaluación.

Fuente	GL	S.C.	Fo	Significación
Bloques	2	11,056		
Fuente	2	5,056	2,00	NS
P inicial	3	12,630	3,33	**
Fuente x P inicial	6	23,759	3,13	**
Error (a)	22	27,834		
Refertilización	2	22,167	11,8	***
Fuente x refertilización	4	4,444	1,182	NS
P inicial x refertilización	6	1,759	0,312	NS
Fuente x P inicial x refertilización	12	1,852	0,164	NS
Error (b)	48	45,111		
Total	107	155,667		

Cuadro 87

Análisis de varianza de los datos de P disponible en el suelo determinados por el método Bray N°1 para el SEGUNDO año de evaluación.

Fuente	GL	S.C.	Fo	Significación
Blóques	2	282,023		
Fuente	1	2114,667	11,075	***
P inicial	3	2080,339	3,632	**
Fuente P inicial	3	380,557	0,664	NS
Error (a)	14	2673,108	—	
Refertilización	2	3600,491	23,797	***
Fuente x refertilización	2	1458,825	9,64	***
P inicial x refertilización	6	658,031	1,5	NS
Fuente x P inicial x refertilización	6	406,137	0,895	NS
Error (b)	32	2420,755	—	
Total	71	16074,935		

Cuadro 88 - Análisis de varianza de los datos de P disponible en el suelo determinados por el método de resinas catiónicas para el SEGUNDO año de evaluación.

Cuadro 89 - Regresiones ajustadas entre el dato de P disponible en el suelo evaluado por los métodos Bray N° 1 y Resinas Catiónicas y el índice de incremento absoluto de rendimiento, para superfosfato e hiperfosfato en los dos años de evaluación.

METODO	AÑO	FUENTE	REGRESION
Bray N° 1	1	Superfosfato	$y = 10772,4 - 2221,7P + 145,1P^2$ $r^2 = 0.24$ $p = 0.29$
Resinas catiónicas	1	Superfosfato	$y = 16.621,03 - 1391,92P + 34,4P^2$ $r^2 = 0.36$ $p = 0.13$
Bray N° 1	1	Hiperfosfato	$y = 3965,88 - 155,05P$ $r^2 = 0.07$ $p = --$
Resinas catiónicas	1	Hiperfosfato	$y = 3674,53 - 17,57 P$ $r^2 = 0,074$ $p = --$
Bray N° 1	2	Superfosfato	$y = 226,12 + 553,71 P$ $r^2 = 0.21$ $p = 0.13$
Resinas catiónicas	2	Superfosfato	$y = 1275,4 + 95,42 P$ $r^2 = 0.10$ $p = 0.32$
Bray N° 1	2	Hiperfosfato	$y = 2528,07 - 176,24 P$ $r^2 = 0.022$ $p = --$
Resinas catiónicas	2	Hiperfosfato	$y = -3911,47 + 888,37P - 31,45P^2$ $r^2 = 0.40$ $p = 0.098$

NOTA: (1) P = Fósforo disponible en el suelo en ppm.

(2) y = rendimiento absoluto en kg/há de MS.

(3) Incremento absoluto = $\frac{\text{Máximo rendimiento logrado por la refer tilización} - \text{Rendimiento testigo}}{\text{refer tilización}}$

Cuadro 90 - Regresiones ajustadas entre el dato de P disponible en el suelo evaluado por los métodos Bray N° 1 y resinas catiónicas y el porcentaje de incremento relativo de rendimiento, para superfosfato e hiperfosfato en los dos años de evaluación.

METODO	AÑO	FUENTE	REGRESION
Bray N° 1	1	Superfosfato	$y = 1,55 + 19,42P - 1,32 P^2$ $r^2 = 0.12$ $p = --$
Resinas catiónicas	1	Superfosfato	$y = 57,85 + 11,89 P - 0,27P^2$ $r^2 = 0.31$ $p = 0.19$
Bray N° 1	1	Hiperfosfato	$y = 47,42 + 4,03 P$ $r^2 = 0.18$ $p = 0.17$
Resinas Catiónicas	1	Hiperfosfato	$y = 26,84 + 2,79 P - 0.04 P^2$ $r^2 = 0.33$ $p = 0.17$
Bray N° 1	2	Superfosfato	$y = 72,98 - 3.54 P$ $r^2 = 0.05$ $p = --$
Resinas catiónicas	2	superfosfato	$y = 42,77 + 2,11 P - 0,07P^2$ $r^2 = 0.0035$ $p = --$
Bray N° 1	2	Hiperfosfato	$y = 163 - 55,3 P + 7,7 P^2$ $r^2 = 0.07$ $p = --$
Resinas catiónicas	2	Hiperfosfato	$y = 241,93 - 26,18 P + 0.91 P^2$ $r^2 = 0.58$ $p = 0,02$

NOTA: (1) P = Fósforo disponible en el suelo en ppm
 (2) y = rendimiento relativo en kg/há de MS.

(3) Porcentaje de incremento relativo
$$re = \frac{\text{Rendimiento de parcelas sin refert.} \times 100}{\text{Rendimiento promedio de las parcelas refertilizadas}}$$

9. LITERATURA CITADA

1. ADAN GOMEZ, J.H.; CAJUSTE, L.H. y NUNEZ ESCOBAR, R. Caracterización química, mineralógica y evaluación agronómica de roca fosfórica de diferentes depósitos. *Agrociencia (Mexico)* (41):95-112, 1980.
2. ANDERSON, G. Assessing organic phosphorus in soils. In Symposium of the role of phosphorus in agriculture, Muscle Shoals, Ala., 1976. Proceedings. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1980. pp 411-428.
3. AROCENA, M.; ALLEGRI, M.; CASTRO, E., y FORMOSO, F. Fertilización inicial y anual de pasturas convencionales en la zona Noreste del Uruguay. Uruguay. *Miscelánea N° 37*, 1981. 15p.
4. BLACK, C.A. Soil-plant relationships. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1975. v.2. pp. 613-716.
5. BRAY, R.H. and KURTZ, L.T. Determination of total, organic and available forms of phosphate in soils. *Soil Science* 59:39-45, 1958.
6. CARADUS, J.R. Distinguishing between grass and legume species for efficiency of phosphorus use. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 23(1): 75-81, 1980.
7. CARAMBULA, M. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur, 1977. pp.400-401.

8. CARO, J.H. and HILL, W.L. Characteristics and fertilizer value of phosphate rock from different fields. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 4:684-687, 1956.
9. CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M. de y BARBOZA, S. Fertilización de pasturas en el litoral oeste de Uruguay. Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Dr. Alberto Boerger. *Investigaciones Agronómicas* (2):56-67, 1981.
10. CERVENANSKY, A. y DA ROSA, F. Evaluación de fuentes de fósforo en pasturas convencionales sobre un suelo ácido de la cuenca lechera sur (Primer Año). Tesis. Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1983. 184p.
11. COOK, S.J.; LAZENBY, A. and BLAIR, G.J. Pasture degeneration. I. Effect on total and seasonal pasture production. *Australian Journal of Agricultural Research* 29(1):9-18, 1978.
12. COTTIER, K. Trials with Nauru rock phosphate as pasture topdressing. *New Zealand Journal of Agriculture* 84(3): 183-189, 1952.
13. ENGELSTAD, O.P. and TERMAN, G.L. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In. Symposium of the role of phosphorus in Agriculture. Muscle Shoals, Ala., 1976. *Proceedings*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1980. pp.311-329.

14. ESCUDERO, J.L. y MORON, A.E. Caracterización de la capacidad de fijación de fósforo de distintos suelos del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1978. 100p.
15. FASSBENDER, H.W. Los fosfatos naturales de Sechura, Perú. Turrialba 17(2):159-164, 1967.
16. GRIGG, J.L.; CROUCHLEY, G. and POWNALL, D.B. Relative efficiency of phosphatic fertilizers in pasture topdressing. III. Effects on a Rosedale silt loam. New Zealand Journal of Agricultural Research 25(4):565-576, 1982.
17. HÖWELER, R.H. and WOODRUFF, C.M. Dissolution and availability to plant of rock phosphates of igneous and sedimentary origins. Soil Science Society of America. Proceedings. 32:79-82, 1968.
18. KÄCHELE, T.H. Tablas de requerimientos nutricionales y de composición de los alimentos. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1982. 44p. (mimeografiado)
19. KARLOVSKY, J. Pasture responses to phosphatic fertilizers. New Zealand Journal of Agricultural Research 1(1):51-60, 1958.
20. LINDER, R.C. Rapid analytical methods for some of the more common inorganic constituents of plant tissues. Plant Physiology 19:76-89, 1944.
21. LYNCH, P.B. Alternative fertilizers to superphosphate. New Zealand Journal of Agriculture 83(6):420-428, 1951.

22. MAYS, D.A.; WILKINSON, S.R. and COLE, C.V. Phosphorus nutrition of forages. In Symposium of the role of phosphorus in agriculture, Muscle Shoals, Ala., 1976. Proceedings. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1980. pp. 805-840.
23. MC CLELLAN; G.H. and GRÉMILLION, L.R. Evaluation of phosphatic raw materials. In Symposium of the role of phosphorus in agriculture, Muscle Shoals, Ala., 1976. Proceedings. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1980. pp. 43-79.
24. MORON, A.E. Fuentes de fósforo para pasturas. Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. Miscelánea N°42. 1982. 9p.
25. _____; BEMHAJA, M.L. y CASTRO, E. Comparación de fuentes de fósforo para pasturas en un suelo de basalto. Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Dr. Alberto Boerger. Miscelánea N° 42, 1982. 9p.
26. NOVELLA, M.B. y CASTRO, J.L. Fertilización de pasturas con mezclas de fósforitas y azufre. Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Dr. Alberto Boerger. Investigaciones Agronómicas (1):37-40, 1980.
27. OLSEN, S.R. Inorganic phosphorus in alkaline and calcareous soils. In. Symposium on soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition, Urbana, Illinois, 1952. Proceedings. New York, Pierre y Norman, 1953. 492 p. (Agronomy IV).

28. _____ and KHASAWNEH, F.E. Use and limitations of physical chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In Symposium of the Role of Phosphorus In Agriculture, Muscle Shoals, Ala., 1976. Proceedings. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1980. pp. 361
29. RABUFFETTI, A.; ZAMALVIDE, J.P. y MALLARINO, A.- Fósforo. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1981. 106p. (mimeografiado).
30. ROGERS, J. A vision materialised - The Phosphate Saga. New Zealand Journal of Agriculture 136(3):43-45, 1978.
31. SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J. and RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers In soils. In Symposium of the role of phosphorus in agriculture. Muscle Shoals, Ala., 1976. Proceedings. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1980. pp.263-304.
32. SANTINAQUE, F.H. El fósforo en relación con la persistencia y productividad en pasturas convencionales. Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Dr. Alberto Boerger: Miscelánea N° 37. 1981. p. irr.
33. TISDALE, S.L. and NELSON, W.L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, Montaner y Simón, 1970. 760p.
34. URUGUAY. Centro de Investigaciones Agrícolas Dr. Alberto Boerger. Estación Experimental La Estanzuela. Fertilización de pasturas. La Estanzuela, 1971. 40p. (Boletín de Divulgación N° 5).