



Universidad de la Republica
FACULTAD DE AGRONOMIA

EFICIENCIA DE DISTINTAS FUENTES DE
FOSFORO EN CULTIVOS ANUALES.

por

Olga Beatriz OTEGUI

T E S I S

1989

MONTEVIDEO

URUGUAY

F. 1967 C

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

10

EFICIENCIA DE DISTINTAS FUENTES DE
FOSFORO EN CULTIVOS ANUALES

Olga Beatriz OTEGUI

T E S I S

presentada como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.
[Orientación Agrícola-Ganadera]

FACULTAD DE AGRONOMIA



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA
Montevideo

1988

Tesis aprobada por:

Director: ING. AGR. ALFREDO CIAVASTONE
Nombre completo y firma

ING. AGR. MARTIN BORDOLI
Nombre completo y firma

ING. AGR. OMAR CASANOVA
Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autor: _____

Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Al terminar mi trabajo deseo expresar mi más sincero reconocimiento a:

- Ing.Agr. Armando RABUFFETTI, e Ing.Agr. Alfredo CIAVATONE por el permanente asesoramiento y colaboración prestados en todas las etapas del trabajo.
- Ing.Agr. José M. BORDOLI por su aporte y cooperación en el procesamiento y análisis estadístico de los datos.
- Ing.Agr. Carmen GOÑI por su invaluable ayuda en los análisis de laboratorio.
- a todos los integrantes de la CATEDRA DE SUELOS de la Facultad de Agronomía y de la DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES del MGAP, que de una u otra forma hicieron posible la finalización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
Página de aprobación	ii
Agradecimientos	iii
Lista de cuadros	vi
Lista de gráficos	viii
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
II. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	2
II.1. FOSFORO EN EL SUELO	2
1.1. <u>Introducción</u>	2
1.2. <u>Formas de P en el suelo</u>	2
1.3. <u>Disponibilidad de P del suelo.</u>	3
II.2. FERTILIZACION FOSFATADA DE LOS SUELOS	3
2.1. <u>Introducción</u>	3
2.2. <u>Características de los fertilizantes fosfatados</u>	5
II.3. EFICIENCIA DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS	7
3.1. <u>Formas de medir la eficiencia</u>	7
3.2. <u>Factores que afectan la eficiencia relativa</u>	8
3.2.1. <u>Características del suelo</u>	9
3.2.2. <u>Características del fertilizante</u>	10
3.2.3. <u>Tipo de cultivo</u>	11
3.2.3.1. <u>Longitud del ciclo</u>	11
3.2.3.2. <u>Extensión del sistema radicular</u>	11
3.2.3.3. <u>Capacidad del sistema radicular para aprovechar el fósforo ligado al Ca.</u>	11
3.2.4. <u>Forma y época de aplicación</u>	12

III. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	14
III.1. UBICACION DE LOS ENSAYOS	14
III.2. TIPO Y CARACTERIZACION DE LOS SUELOS	14
III.3. ESPECIES UTILIZADAS	14
III.4. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL	17
III.5. MANEJO DE LOS ENSAYOS	19
5.1. <u>San Ramón - Año 1982-1983</u> <u>Sorgo</u>	19
5.2. <u>Risso - Año 1983</u> <u>Avena</u>	20
III.6. DETERMINACIONES ANALITICAS	20
6.1. <u>Análisis de suelo</u>	20
6.2. <u>Análisis de planta</u>	20
III.7. ANALISIS ESTADISTICO	21
IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	22
IV.1. INFORMACION DE CULTIVOS	22
1.1. <u>Risso</u>	22
1.2. <u>San Ramón</u>	27
IV.2. INFORMACION DE SUELOS	32
2.1. <u>Risso</u>	32
2.2. <u>San Ramón</u>	38
V. <u>CONCLUSIONES</u>	46
V.1. RISSO	46
V.2. SAN RAMON	46
VI. <u>RESUMEN</u>	48
VII. <u>APENDICE</u>	49
VIII. <u>LITERATURA CITADA</u>	65

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro No. 1	- Componentes fosfatados más comunes en los fertilizantes y alguna de sus características	4
Cuadro No. 2	- Características físico-químicas del suelo utilizado en el ensayo No. 1	15
Cuadro No. 3	- Características físico-químicas del suelo utilizado en el ensayo No. 2.	16
Cuadro No. 4	- Fósforo total y fósforo soluble en algunos solventes en muestras de Superfosfato y Superfos. Datos en % porcentaje en peso.	18
Cuadro No. 5	- Tratamientos aplicados en los ensayos de Risso y San Ramón.	18
Cuadro No. 6	- Producción avena y P absorbido en función de los tratamientos aplicados. Risso 1983.	22
Cuadro No. 7	- Análisis de varianza: kg P absorbido; % P absorbido (x100); kg M.S. Risso 1983.	23
Cuadro No. 8	- Funciones de respuesta al P aplicado para cada una de las fuentes y para cada parámetro evaluado. Risso 1983.	25
Cuadro No. 9	- Producción de sorgo y absorción de P en función de los tratamientos aplicados. San Ramón, 1982.	28
Cuadro No. 10	- Análisis de varianza para cada una de las variables. San Ramón 1982.	29
Cuadro No. 11	- Funciones de respuesta al P aplicado para cada una de las fuentes y para cada parámetro evaluado. San Ramón, 1982.	31
Cuadro No. 12	- Fósforo asimilable en el suelo en función de los tratamientos aplicados. Datos en ppm. Risso 1983.	32
Cuadro No. 13	- Análisis de varianza de los valores de P asimilable. Risso 1983.	35
Cuadro No. 14	- Función de respuesta de P asimilable del suelo frente al agregado de P. Risso 1983.	36

Cuadro No. 15 - Función de respuesta de la disponibilidad de P con el rendimiento en M.S. y con el P. absorbido. Risso 1983.	37
Cuadro No. 16 - Fósforo asimilable en el suelo en función de los tratamientos. San Ramón 1982.	38
Cuadro No. 17 - Análisis de varianza de los valores de fósforo asimilable en los muestreos. San Ramón 1982.	40
Cuadro No. 18 - Funciones de respuesta del P asimilable del suelo frente al agregado de P. San Ramón 1982.	42

LISTA DE GRAFICOS

	<u>Página</u>
Gráfico No. 1 - Producción de avena en función de las dosis de fertilización. Risso. 1983.	26
Gráfico No. 2 - Absorción de fósforo en función de las dosis de fertilización. Risso 1983.	26
Gráfico No. 3 - Porcentaje de P en las hojas del sorgo en función de las dosis de fertilizante aplicado. San Ramón 1982.	32
Gráfico No. 4 - Producción de sorgo [parte vegetativa] en función de las dosis de fertilizantes. San Ramón 1982.	32
Gráfico No. 5 - Producción de sorgo [panojas] en función de las dosis de fertilización. San Ramón 1982.	33
Gráfico No. 6 - Absorción de P [total] en función de las dosis de fertilización. Risso 1983.	33
Gráfico No. 7 - Fósforo asimilable del suelo en función de las dosis de fertilización. Risso 1983.	37
Gráfico No. 8 - Fósforo asimilable en el suelo en función de las dosis de fertilización. San Ramón 1982. M ₁	41
Gráfico No. 9 - Fósforo asimilable en el suelo en función de las dosis de fertilización. San Ramón 1982. M ₂	43
Gráfico No. 10 - Fósforo asimilable en el suelo en función de las dosis de fertilización. San Ramón 1982. M ₃ .	44
Gráfico No. 11 - Fósforo asimilable en el suelo en función de las dosis de fertilización. San Ramón 1982. M ₄ .	45

I. INTRODUCCION

Los suelos del Uruguay en su estado natural, presentan diferencias de P que se manifiestan a valores bajos de P disponible. El rango de variación para la mayoría de los suelos del litoral del país se ubica entre 5,5 y 6,5 ppm (Bray); y para el resto del país se sitúa por debajo se 5,5 ppm, salvo algunas excepciones.

Debido a que los cultivos anuales completan su ciclo en períodos mas o menos breves [90-130 días] para obtener una alta producción de los mismos, la disponibilidad de P en las etapas en que el cultivo lo requiere debe ser asegurada.

Los cultivos anuales requieren una alta concentración de P disponible en el inicio de su crecimiento; esto es posible utilizando fuentes de P soluble, ya que con fuentes parcialmente solubles la disponibilidad de P es mínima en el momento de su aplicación y va aumentando lentamente con el transcurso del tiempo.

Al no existir suficientes antecedentes sobre la eficiencia relativa de fuentes fosfatadas solubles y parcialmente solubles en los suelos de la zona Sur y litoral Oeste, en términos de producción de cultivos anuales se realizó el presente trabajo con el siguiente objetivo: continuar el estudio de las respuestas al agregado de P bajo dos fuentes fertilizantes en la producción de cultivos anuales forrajeros y/o cosecha, en un período extenso.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

II.1. FOSFORO EN EL SUELO

1.1. Introducción

El P es clasificado como un macronutriente, siendo su contenido en las plantas menor que el de nitrógeno, potasio y calcio. El contenido total de P en los suelos es bajo, variando según el tipo de suelo de que se trate, entre 0.022, 0.083% como valores más comunes.

Las cantidades totales de 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].

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].

1.2. Formas de P en el suelo

El P se encuentra en el suelo en forma de ortofosfatos, o sea un átomo de fósforo central rodeado por cuatro átomos de oxígeno [Black, 1975]. El P es posible encontrarlo en la solución o en la fase sólida del suelo, en el primer caso las formas químicas presentes dependen en última instancia del pH del medio. Es de destacar que en la solución la concentración de P es pequeña y generalmente menor a 1 ppm., y el mantenimiento de la misma depende de la proporción relativa de la formación y descomposición de la materia orgánica y de la capacidad de fracción inorgánica del suelo de fijar los ortofosfatos solubles en formas insolubles o menos solubles [Tisdale y Nelson, 1970].

En la fase sólida del suelo, los fosfatos se podrán encontrar en forma orgánica o inorgánica. 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].

Se considera en general, que las plantas absorben la mayoría del P bajo la forma de ortofosfato primario ($H_2PO_4^-$) y en menor cantidad bajo la forma de ortofosfato HPO_4^- ; también absorben fosfatos orgánicos solubles, núcleos ácidos y fitinas que pueden provenir de la degradación de los productos de la descomposición de la materia orgánica de los suelos [Tisdale y Nelson, 1975].

1.3. Disponibilidad de P del suelo

Mediante los métodos de análisis se pueden lograr buenas estimaciones de la disponibilidad del P del suelo. Cuando los datos de análisis tienen una buena correlación con la disponibilidad real que está determinada por el propio cultivo, se puede afirmar que el método es apropiado para ese cultivo y para ese suelo. En nuestro país el método más usado para evaluar la disponibilidad de P es el Bray I.

En un experimento de invernáculo donde se hicieron determinaciones en suelos incubados y en no incubados, se pudo observar que en los primeros el P disponible era mayor. En los suelos no incubados, el P inorgánico extractable y el P total extractable estaban correlacionados con los valores de P en las plantas.

El P inorgánico del suelo determinado por los procedimientos de extracción fue adecuado para la evaluación del P disponible en los suelos, donde no era significativa la reserva de P disponible bajo forma orgánica [Soil.Sci.Soc. Am.J.L. Abbot]

II.2. FERTILIZACION FOSFATADA EN LOS SUELOS

2.1. Introducción

Cuando los suelos son deficientes en el aporte de fósforo a las plantas para lograr buenos rendimientos especialmente en granos y pasturas, la fertilización es el único medio para suplir dichas carencias.

Como factor limitante el fósforo es más importante que el calcio y probablemente más importante que el potasio.

Actualmente, la mayoría de los fertilizantes que aportan P proviene de la roca fosfatada; esto no ocurrió en siglos anteriores, los huesos, el guano y otros residuos orgánicos eran utilizados como fertilizantes, los cuales hoy día han sido desplazados.

En la industria de los fertilizantes, debido a razones de competencia en el mercado y el propio interés del consumidor, se ha requerido la realización de controles de calidad de los distintos fertilizantes y una de las características más importantes a medir es la solubilidad. En el caso de fertilizantes fosfatados, solubilidad significa la cantidad de fósforo que puede ser extraído de una muestra en determinadas condiciones preestablecidas. Cuando se habla de calidad de un fertilizante fosfatado, se refiere a la eficacia de ese material para el crecimiento del cultivo, por lo tanto, el mejor indicador de calidad es la respuesta del cultivo en el campo.

Según las normas legales vigentes en nuestro país, el fabricante debe garantizar el porcentaje de fósforo total y el fósforo asimilable de los fertilizantes.

En el siguiente cuadro se detallan los compuestos que tienen la mayor parte del fósforo de los fertilizantes generalmente usados, mostrándose su solubilidad en agua y citrato de amonio neutro.

Cuadro No. 1 - Componentes fosfatados más comunes en los fertilizantes y alguna de sus características. [Labella, Rev.A.I.A. 1979]

Compuestos	Soluble en H ₂ O	Soluble en citrato de amonio
Acido fosfórico	si	si
Fosfato monocálcico	si	si
Fosfato dicálcico	no	si
Fosfato tricálcico	no	si
Fosfato de amonio		
Monoamónico	si	si
Diamónico	si	si
Apatitas		
Fluorapatitas	no	parcialmente
Cloroapatitas	no	parcialmente

Las plantas absorben sólo el P que está como ortofosfato disuelto en la solución del suelo [Black, 1975]. El P que está en formas solubles en agua es directamente asimilable mientras que, el P insoluble en agua no podrá ser utilizado por éstas hasta que los componentes que los contienen se

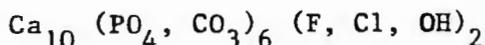
descompongan, y den lugar a la formación de fosfatos solubles.

2.2. Características de los fertilizantes fosfatados

Los materiales fosfatados brutos o crudos de interés en el agua y en la industria de los fertilizantes son complejos agregados de minerales agrupados bajo el nombre de fosfatos de roca o fosforita.

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. Es un yacimiento de roca de origen marino compuesto de carbonato-fluor-apatita microcristalina bajo forma de lámina, gránulos, oolitas, nódulos, esqueletos y fragmentos de conchilla.

El término fosforita ha sido aplicado a rocas sedimentarias compuestas en su totalidad de apatita y a rocas ígneas que contienen cantidades apreciables de apatita. La fórmula general de la apatita es:



* Dentro de los fertilizantes fosfatados mas importantes y de mayor uso, se encuentran el superfosfato de calcio. Es un fertilizante soluble en agua y citrato de amonio; se obtiene por tratamiento de roca fosfórica molida con ácido sulfúrico.

El superfosfato de Ca tiene 7-9% de P y 16-22% de P_2O_5 . Este producto es esencialmente una mezcla de fosfato monocálcico y yeso, en el cual al rededor del 90% del fósforo es soluble al agua y se lo califica como asimilable; contiene además alrededor de 8-10% de azufre como sulfato de calcio.

Son fosfatos acidificados artificialmente, lo que hace el fertilizante independiente de la presencia o no de acidez en el suelo.

* Los superfosfatos concentrados o superfosfatos triples, se obtienen mediante el tratamiento de la fosforita con ácido fosfórico. Estos superfosfatos triples tienen 19-23% de fósforo, 44-52% de P_2O_5 del cual 95-98% es soluble al agua y se clasifica como asimilable.

Cuando se agrega a un suelo materiales conteniendo fosfatos monocálcicos (superfosfatos) ocurre un humedecimiento con la posterior disolución de

éste. Los vapores de agua se mueven hacia cada gránulo de fertilizante y la solución que se forma está situada con fosfatos monocálcicos y dicálcicos [Tisdale y Nelson, 1970].

Dichos autores explican que esta solución formada es extremadamente ácida (pH 1.8) y de esa manera el agua continúa su movimiento hacia el gránulo. Se produce al mismo tiempo un desplazamiento de la solución saturada hacia el suelo produciéndose una precipitación de los compuestos fosfatados de calcio en el lugar del gránulo. El efecto de la disolución del fosforo monocálcico en el pH de la zona circundante es limitado en el tiempo y se restringe a unos pocos milímetros alrededor del gránulo. A medida que la solución se vuelve supersaturada en calcio, fósforo, hierro y aluminio se va produciendo una lenta precipitación de los diferentes compuestos fosfatados formados.

⊛ Otra fuente importante de fósforo son las fosforitas molidas. Se prepara moliendo rocas fosfóricas y se obtienen fertilizantes insolubles al agua pero con cantidades variables de fósforo soluble en ácido cítrico al 2% (10-12%) y de fósforo total (20-30%) y son de reacción neutra.

Hay fosforitas que presentan agregados variables de potasio, magnesio y azufre; estas fosforitas requieren acidez para solubilizarse, deben ser aplicados en suelos ácidos. Son de acción lenta por lo tanto no podrán ser utilizadas en cultivos de ciclo corto; para cultivos de ciclo largo, pueden ser satisfactorias pero deben ser mezcladas íntimamente con el suelo para maximizar su efecto, por lo tanto no deben ser aplicadas en bandas. En el caso de usarse en cultivos de ciclo corto, deberán ser aplicadas con anterioridad a la siembra.

Los resultados de ensayos de campo realizados en diferentes suelos demuestran que la eficiencia de las fosforitas en el suministro de fósforo a las plantas es inferior en los suelos neutros y alcalinos que en los ácidos.

Los fertilizantes fosfatados insolubles (fosforitas) no se disuelven rápidamente cuando son incorporados al suelo. El fósforo queda en el sitio de aplicación y para que sea asimilable es necesaria su transformación hacia otras formas fosfatadas que pueden ser absorbidos por las plantas - ($H_2PO_4^-$; HPO_4^{2-}). La mayor o menor intensidad de esta transformación depende a

su vez de las características del material fertilizante (composición química de la roca fosfatada y estado de división del gránulo) y de las características del suelo (fundamentalmente el pH).

Existen otras fuentes de fósforo, como son los fosfatos de amonio. Los más usados son fosfato monoamónico y fosfato diamónico. Son solubles al agua y poseen un efecto residual ácido en el suelo a causa del amonio.

Otro tipo de fuente de fósforo, son los fertilizantes orgánicos como por ejemplo harinas de huesos, pescado, etc.

II.3. EFICIENCIA DE LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS

3.1. Formas de medir la eficiencia

La evaluación de los distintos fertilizantes, tiene como objetivo final, la comparación económica de las distintas fuentes de nutrientes, la cual ha sido encarada con diferentes métodos. Los métodos más empleados son químicos o biológicos. En el método biológico se utiliza el rendimiento económico o el rendimiento del nutriente (cantidad absorbida por la planta) para comparar las distintas fuentes. En ambos casos es conveniente trabajar con curvas de respuestas y no con comparaciones a un determinado nivel de aplicación, porque la posibilidad de determinar la eficiencia relativa puede depender del nivel de la aplicación y además de la forma de las curvas de respuesta.

Reynaert y Castro, 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 decir la conveniencia económica de una u otra fuente de fósforo estando representada la eficiencia relativa por el índice económico de la relación:

$$\frac{PH}{PS} = \frac{\text{Precio de 1 Kg de } P_2O_5 \text{ Híper}}{\text{Precio de 1 Kg de } P_2O_5 \text{ Super}} = \frac{\text{Precio 1 ton Híper}/30.5}{\text{Precio 1 ton Super}/23}$$

Por otra parte, Morón 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. [CIAABN.42,1982]

3.2. Factores que afectan la eficiencia relativa

Cuando se incorpora al suelo un fertilizante fosfatado soluble en agua, la disponibilidad del fósforo es máxima en el momento de su aplicación, luego disminuye debido a los fenómenos de fijación.

En cambio, cuando se aplican fertilizantes insolubles la disponibilidad del fósforo es mínima en el momento de su aplicación, luego aumenta pues al ser atacado por los agentes del suelo, liberan fósforo soluble; este fósforo soluble reaccionará en forma similar al proveniente de una fuente soluble.

La eficiencia del fertilizante dependerá de dos procesos: fijación y retención. En el primero, el P reaccionará con el suelo en forma no disponible para las plantas, la retención es un proceso reversible en el cual el P se encuentra disponible [Tisdale y Nelson, 1970].

Zamalvide, Escudero y Morón [1978] en un estudio sobre la capacidad de fijación de 39 suelos del Uruguay, estimaron que las variables más importantes que explican la variación en la fijación del P son: arcilla, porcentaje de aluminio intercambiable y contenido de óxido de hierro. En este estudio se pudo ver que existe una buena relación entre la fijación y el porcentaje de arcilla, no obstante algunos suelos difieren bastante, fijando mayor o menor cantidad de P que lo esperado por su contenido de arcilla. Los suelos que fijan mayor cantidad de P en general presentan cantidades destacables de Al intercambiable y/o óxidos de hierro libres. En cambio, los suelos que fijan menos de lo esperado de acuerdo a su contenido de arcilla, en general no presentan Al, y tienen muy bajos contenidos de óxidos de Fe. La característica común que explicaría su menor capacidad de fijación, es la baja relación $\% Fe_2O_3$ /arcilla.

La velocidad con que se alteran los fertilizantes y su eficiencia relativa depende de los siguientes factores:

3.2.1. Características del suelo

3.2.2. Características del fertilizante

3.2.3. Tipo de cultivo

3.2.4. Forma y época de aplicación

3.2.1. Características del suelo -

Las diferencias entre fuentes solubles e insolubles en agua son máximas en suelos de pH alto (neutros o alcalinos) y disminuyen en suelos ácidos. Esto es debido a que la acidez del suelo acelera la disolución del P insoluble ya que en los suelos ácidos, el P soluble tiende a fijarse rápidamente.

Sin embargo, no todas las fuentes de P son afectadas por el pH, por ejemplo los fertilizantes solubles en agua que aportan P bajo la forma de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ o bajo forma combinada de N-P no ven afectados su solubilidad por el pH.

La eficiencia relativa de las fosforitas en relación a la de los fosfatos solubles, aumenta al disminuir el pH ya que éstos son útiles como fuente de P sólo en suelos ácidos.

Sin embargo, Labella y Améndola [1977], citan diversos autores que han encontrado en suelo de similar pH, eficiencias relativas diferentes de un mismo material.

Por el contrario, 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 ser materia orgánica, saturación de bases y capacidad de intercambio, podrán explicar las diferencias. [CIAAB, 1981].

En nuestro país, cuando se compara la eficiencia de las distintas fuentes, se separan los suelos en calcáreos y no calcáreos, porque se piensa que la escasa solubilidad de las fosforitas no se debe exclusivamente a pH altos sino a la gran cantidad de Ca que interfiere en su disolución. [CIAAB No. 5, 1971].

La actividad del ion Ca^{+2} en la solución del suelo es considerado 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 ion Ca^{+2} en la solución del suelo, mayor será la disolución de la fosforita [Rabuffetti et al, 1981].

Bennett et al, comparando dos suelos de similar pH encontraron que en el que había más calcio intercambiable, la respuesta a la aplicación de fosforita era menor.

En los suelos no calcáreos, la eficiencia de las fosforitas con respecto a los superfosfatos es de 75 - 85% en promedio; o sea que el empleo de fosforitas es más económico cuando la unidad de P_2O_5 total de fosforitas vale menos de 75 - 85% de la unidad de P_2O_5 total de superfosfatos.

3.2.2. Características del fertilizante -

Una de las propiedades del fertilizante que puede afectar significativamente la eficiencia relativa es el tamaño del gránulo.

Si el material presenta una alta 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. En otras palabras, las fuentes altamente solubles se ven favorecidas con tamaño de gránulo grande, ya que se disminuye la fijación de P.

Con respecto a las formas de P insoluble, su aplicación en forma pulverulenta aumenta el contacto entre las partículas de fertilizante y la solución del suelo con lo que se lograría una mayor velocidad de reacción y por lo tanto su eficiencia aumentaría. Las ventajas de las partículas más pequeñas sobre la disponibilidad del P proveniente de las fosforitas es mayor a valores altos de pH. El efecto del tamaño de partícula ha sido pequeño en la mayoría de las investigaciones; probablemente porque se ha trabajado dentro de un rango en el cual las partículas mayores ya eran suficientemente pequeñas. [CIAAB No. 24, 1977].

Otra característica de los fertilizantes que afecta la eficiencia relativa es el origen de la fosforita. El origen de la roca fosfatada es el que determina en gran forma la potencialidad de uso de la misma, ya sea para la aplicación directa o para la industria [Rabuffetti et al, 1981].

Las fosforitas de diferentes depósitos varían su efectividad; con respecto a las fosforitas norteamericanas, la de North Carolina es superior a la de Florida, Tennessee e Idaho [Nelson, 1975]

En nuestro país, Zamuz y Castro [1975] encontraron que para maíz, en dos tipos de suelos [Planosol zona este pH 5.2 y Pradera arenosa sobre Arenisca de Tacuarembó pH 5,7] los valores de eficiencia relativa con respecto al hiperfosfato seguían el siguiente orden: el hiperfosfato era equivalente al fosfato de Carolina del Norte, ambos eran mejor que el trifos el que a su vez era mejor que el fosfato de Florida. [CIAAB No. 24, 1977]

3.2.3. Tipo de cultivo -

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

3.2.3.1. Longitud del ciclo

3.2.3.2. Extensión del sistema radicular

3.2.3.3. Capacidad del sistema radicular para aprovechar el fósforo ligado al Ca.

3.2.3.1. Longitud del ciclo.

Los cultivos de crecimiento largo, tipo pasturas, son más eficientes en el uso de fuentes de menor solubilidad, debido a que presentan los requerimientos mejor distribuidos o a lo largo de su vida útil. Por el contrario, los cultivos de ciclo corto, son más exigentes en P disponible.

3.2.3.2. Extensión del sistema radicular

La aplicación del fertilizante fosfatado en forma localizada o sea próxima al sistema radicular, favorecerá a los cultivos con sistema radicular restringido. Por el contrario, los cultivos de sistema radicular extenso puede aprovechar mejor el P que no fue localizado.

3.2.3.3. Capacidad del sistema radicular para aprovechar el fósforo ligado al Ca.

La capacidad de absorción de P se relaciona con la capacidad de absorción de Ca y la acidificación de la rizosfera. Aquellas especies que acumulan mucho Ca o que acidifican en mayor grado el volumen de suelo en contacto con las raíces, podrán absorber más facilmente 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 en la absorción del P de las fosforitas [Rabuffetti et al, 1981].

Las especies con sistema radicular con alta capacidad de intercambio catiónico y alta disociación ácida son más eficientes en la obtención de P de las fosforitas [Lábella, 1979].

Adams pudo observar que en diferentes suelos a los cuales se les suministró dosis de fosfato diamonio, los rendimientos en forraje fueron menores que cuando se suministró fosfato monocálcico. Esta disminución de rendimiento posiblemente estuvo correlacionada por una baja concentración de Ca en la solución del suelo.

El ambiente crítico debido al nivel de Ca, en los suelos tratados con fosfato diamonio estuvo significativamente empobrecido por el crecimiento de las plantas a una dosis alta de P (300ppm) que a una dosis más baja (150ppm); esto se debió a que el nivel alto de P mejoró la extracción o utilización fisiológica del Ca [S.S.S.A. J 46 769-771].

3.2.4. Forma y época de aplicación -

Cuando se incorpora al suelo un fosfato soluble en agua, la disponibilidad del P aplicado es máxima en el momento de su aplicación y disminuye posteriormente a medida que progresan los fenómenos de fijación.

Con las fosforitas y otros fosfatos insolubles la disponibilidad es mínima o nula, en el momento de aplicación y luego aumenta en la medida que al ser atacado por los agentes del suelo, se descomponen liberando P soluble. Este P soluble liberado reaccionará con el suelo en forma similar al proveniente de una fuente soluble.

La aplicación en bandas de los fertilizantes fosfatados favorece a las fuentes de alta solubilidad, perjudicando a las insolubles, o sea para este tipo de fuentes el enterrado y mezclado del fertilizante aumenta su eficiencia.

Con fertilización en bandas se utilizan menores dosis en Kg/há y se aplican a la siembra, o sea que hay un menor tiempo de reacción suelo-fertilizante. Sin embargo, con fertilizaciones al voleo y con incorpora-

ción en presiembra, hay un mayor tiempo de reacción lo que permite una reacción completa entre el fertilizante y el suelo.

En un trabajo experimental realizado en invernáculo, usando dos tipos de suelos, el fertilizante fosfatado fue aplicado a una distancia aproximadamente igual de cada semilla de avena (*Avena sativa* L.) de 48 mm; mientras que las aplicaciones puntuales fueron espaciadas entre 0.16, 32 y 48 mm.



Los resultados de estos espacionamientos fueron analizados estadísticamente, observando en los análisis de varianza para los tratamientos incluyendo los controles diferencias significativas entre producción, fósforo absorbido del fertilizante y fósforo total observado.

En el suelo de pH más alto, el fósforo absorbido por el fertilizante fue incrementando con el mayor espaciamiento, o sea se observó una relación lineal entre el espaciamiento y el P absorbido del fertilizante, lo mismo para el fósforo total absorbido. Mientras que en el otro suelo no se observó relación entre el espaciamiento y el P absorbido. La aplicación en bandas puede ser un método efectivo de fertilización durante las fases iniciales de crecimiento, debido principalmente a un incremento en la probabilidad de contacto con la raíz. [S.S.S.A. J. 48:336-340].

FACULTAD DE AGRICULTURA



DEPARTAMENTO DE
DOCUMENTACION Y
BIBLIOTECA

III. MATERIALES Y METODOS

III.1. UBICACION DE LOS ENSAYOS

Los ensayos de campo se ubicaron en dos suelos que debido a sus propiedades físicas y químicas era dable esperar un comportamiento diferente de los fertilizantes fosfatados.

El ensayo No. 1 se instaló en el departamento de Soriano, Ruta 2, Km. 217, localidad Parada Risso (establecimiento del Sr. J. Cabrera), sobre suelos de la unidad Risso del mapa 1.1000.000 de la Dirección de Suelos y Fertilizantes.

El ensayo No. 2 se realizó en el departamento de Canelones, Ruta 64, Km. 19, localidad Rincón de Conde (establecimiento del Sr. A. Mallarino) sobre suelos de la unidad San Ramón, del mapa 1.1000.000 de la Dirección de Suelos y Fertilizantes.

III.2. TIPO Y CARACTERIZACION DE LOS SUELOS

El suelo utilizado en el ensayo No. 1 corresponde a un Vertisol rúptico lúvico (Unidad Risso). El manejo previo a la siembra del ensayo correspondió a una rotación de cultivos anuales (1979 avena; 1980 trigo; 1982 sorgo), siendo el último cultivo sembrado un sorgo permaneciendo en barbecho hasta la implantación del ensayo.

Su caracterización y descripción se presentan en el siguiente Cuadro No. 2.

El suelo utilizado en el ensayo No. 2 es un Planosol subéutrico melánico. Los cultivos anteriores al ensayo fueron una avena en el año 1980, y un trigo en el año 1981, luego del cual la tierra permaneció en barbecho.

Su caracterización y descripción se presentan en el Cuadro No. 3

III.3. ESPECIES UTILIZADAS

Se utilizaron dos cultivos anuales de producción cerealera y/o forrajera de diferente ciclo estacional, ambas especies son normalmente sembradas en la zona Sur y litoral oeste del país; cabiéndole una relevante importancia económica en la producción agrícola y lechera.

Cuadro No. 2 - Características físico-químicas del suelo utilizado en el ensayo No. 1

Horizonte	Espesor	Color	Textura	pH en H ₂ O	pH en KCl	% M.O.	P disp. pp.	K int. meq/100g/suelo	Ca	Mg	Na
A	0-30-45	negro	arcillo-limoso	- 7.6	6.6	2.2	7	0.64	28.0	1.0	0.4
Bt	40-50	negro a pardo-grisáceo	arcilloso								

Cuadro No. 3 - Características físico-químicas del suelo utilizado en el ensayo No. 2

Horizonte	Espesor	Textura	pH en H ₂ O	pH en KCl	% M.O.	P disp. pp.	K	Ca meq/100g/suelo	Mg	Na
A _p	20	franco arcilloso limoso	5.6	4.7	3.2	13	0.42	5.8	1.6	0.4
A ₂	10	franco limoso, o fr.arc.limoso								

La variedad de avena seleccionada fue Estanzuela 1095A siendo sembrada en el ensayo No. 1, mientras que en el ensayo No. 2 fue sembrado un sorgo variedad Cargill 103A.

III.4. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En los ensayos realizados se evaluó el efecto sobre los cultivos de dos fertilizantes fosfatados con diferente solubilidad y también se pretendió estimar la variación del rendimiento como consecuencia del agregado de diferente dosis de fertilizante.

Las fuentes de P utilizadas fueron:

- Superfosfato de Ca (0-21/23-0). Se obtiene mediante un acidificación de la roca fosforita molida con ácido sulfúrico. Tiene un 35% de fosfato monocalcico, 10% de fosfato dicálcico, 1% de tri cálcico, 10% de óxidos de Fe y Al y 45% de yeso (Ca SO_4).

Es un fertilizante que debido a su forma de obtención, puede usarse en todo el rango de pH de los suelos; por presentar fósforo soluble puede ser aplicado en el momento de la siembra y además puede ser de utilidad en los suelos con deficiencia de azufre. El P del Superfosfato tiene una disponibilidad máxima en el momento de aplicación, luego de ser aplicado evolucionó a formas menos solubles con el transcurso del tiempo, a medida que progresan los fenómenos de fijación.

- Superfos: (0-18/30-0): se obtiene agregando 400 kg de fosforita a 600 kg de superfosfato y sometiendo la mezcla a un proceso de granulación físico-química. Dicha fosforita es del mismo tipo de fosforita que la del Superfosfato. Es un fertilizante que contiene una parte del fósforo soluble al agua, otra parte soluble en ácido cítrico y otra no soluble en ese reactivo.

En el Cuadro No. 4 se observan algunas de las características de los fertilizantes.

Cuadro No. 4 - Fósforo total y fósforo soluble en algunos solventes en muestras de Superfosfato y Superfos. Datos en porcentaje en peso [Labella y Améndola, 1975].

Fuente de P	P total	P soluble en H ₂ O + P soluble en citrato de NH ₄	P soluble en ácido citríco al 2%	P soluble en H ₂ O
Superfos	29.0	11.2	17.8	11.2
Superfosfato de Ca	22.3	22.0	-	20.0

El diseño experimental elegido fue el de bloques al azar. En Risso, se realizaron 4 repeticiones y el tamaño de las parcelas fue de 4 x 8. En San Ramón fueron tres las repeticiones y el tamaño de las parcelas fue de 3 x 7.

La dosis de P aplicadas para ambos ensayos, fueron de 10-80kg P/ha siendo estas cantidades aplicadas previo a la siembra.

Cuadro No. 5 - Tratamientos aplicados en los ensayos de Risso y San Ramón.

No. de tratamiento	Dosis Kg P/há/año	Fuente de P.
1	10	Superfosfato
2	20	Superfosfato
3	40	Superfosfato
4	80	Superfosfato
5	10	Superfos
6	20	Superfos
7	40	Superfos
8	80	Superfos
9	0	Testigo

III.5. MANEJO DE LOS ENSAYOS

Se realizaron muestreos de suelo y de cultivos, con el fin de evaluar las distintas fuentes y dosis y sus posibles interacciones.

En los análisis de suelo se investigó la evolución de los fosfatos aplicados y los efectos residuales de las sucesivas fertilizaciones.

Con las muestras de cultivos se evaluó los rendimientos de MS/há ya sea de la parte vegetativa, como del grano y la absorción de P.

Los muestreos y trabajos de campo realizados en cada uno de los ensayos se describen a continuación.

5.1. San Ramón Año 1982-1983 Sorgo

Octubre: Se marcó las chacras, y se aplicaron las dosis correspondientes de fertilizante a cada parcela. Al día siguiente se sembró el ensayo a razón de 15 Kg/há de semilla, o sea 2,6 kg para 1700 m² (ensayo + borde).

Diciembre: Se realizó una carpida a azada del ensayo ya que se encontraba con una gran invasión de malezas.

Febrero: Se realizó un muestreo foliar, de la última hoja totalmente extendida; y se determinó el porcentaje de P en hojas como estimación de la absorción de P del cultivo.

Marzo: Se cosecha cada parcela. Por ser muy voluminosa la parte vegetativa se muestrearon sólo 4 m lineales por parcela de la zona central. Previo a la cosecha se extrajeron muestras del suelo [M1].

Agosto: Se realizó el segundo muestreo de suelos [M2]

Enero: Se realizó otro muestreo de suelos [M3]

Agosto: Se realizó el cuarto muestreo de suelos [M4]

5.2. Risso Año 1983 Avena

Abril: Se marcó el ensayo y se fertilizó con las dosis correspondientes a cada parcela. Posteriormente se siembra a razón de 120 kg/há de semilla.

Julio: Hubo un pastoreo por un toro, el cual perjudicó mucho la avena. Luego de ésto, se hizo una aplicación de N de 50 unidades/há a todo el ensayo.

Diciembre: Se realizó la cosecha de la avena (grano maduro) en fracciones de 1 m² por parcela.

Se determinaron los rendimientos en Kg.M.S./há de P absorbido.

Marzo: Se realizó un muestreo de suelos [M1] para obtener posteriormente los datos de P disponible.

III.6. DETERMINACIONES ANALITICAS

6.1. Análisis del suelo

Las muestras de suelo se secaron al aire, luego de molidas y tamizadas a un diámetro de 2 mm.

A cada una de las muestras se le efectuó análisis de fósforo disponible según el método de Bray No. 1.

6.2. Análisis de planta

Las muestras obtenidas se pesaron previamente a su introducción en estufa para su secado, el cual se realizó a una temperatura de 65^o centígrado.

Posteriormente de secadas se volvieron a pesar para así obtener por diferencia su contenido en materia seca.

Luego de secadas, se molieron y se realizaron los análisis que consistían en la determinación del contenido porcentual de fósforo. Esta determinación se realizó atacando las muestras con ácido sulfúrico puro y se pusieron en digestor a una temperatura de 360^o C por 45 minutos para completar así su destrucción total. Luego se completó la oxidación del

residuo con perhidrol. El producto de la digestión se envasó en matraces de 250 ml, de los cuales se tomó una alícuota de 2 ml; dicha alícuota fue utilizada para determinar fósforo con fotocolorimetría

III.7. ANALISIS ESTADISTICO

Con los datos obtenidos en los ensayos de campo, se realizaron análisis de varianza tomando como fuentes de variación: bloques, tratamientos y los desvíos al azar.

Posteriormente la variación atribuible a los tratamientos se descompuso en cuatro fuentes de variación: 1] efecto de la fertilización, testigo vs. fertilizado; 2] efecto de la dosis; 3] efecto de la fuente de P; 4] interacción entre los efectos de las dosis y las fuentes.

Se estimaron funciones de respuesta de cada uno de los parámetros estudiado, o sea la respuesta al agregado de P en sus dos fuentes y la respuesta a la dosis de P aplicada. Para este último parámetro se estimaron dos funciones de respuesta.

Se utilizó el modelo cuadrático; del tipo de $y = b_0 + b_1P + b_2P^2$

Luego se realizó un análisis de varianza de esas ecuaciones de respuesta para determinar con que grado de significación, la variación de los datos se podría asimilar a la que establece la función de respuesta. Se halló su correspondiente valor en la prueba F y su correspondiente valor de R^2 (coeficiente de determinación).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

IV.1. INFORMACION DE CULTIVOS

1.1. Risso: Avena

Los datos de producción de avena y P absorbido en función de los tratamientos aplicados se observan en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 6 - Producción de avena y P absorbido en función de los tratamientos aplicados.

Numero de Tratamiento	Tratamientos		Producción de M.S. y P absorbido por el cultivo		
	Fuente utilizada	Dosis de P aplicada en Kg/há	M.S.total Kg/ha	% P/há	P absorbido Kg/há
1	Superfosfato	10	4386.8	0.20	9.0
2	Superfosfato	20	4523.6	0.24	10.7
3	Superfosfato	40	4613.2	0.34	15.8
4	Superfosfato	80	5316.1	0.38	20.2
5	Superfos	10	3872.7	0.18	7.0
6	Superfos	20	4245.3	0.22	9.4
7	Superfos	40	4778.2	0.24	11.5
8	Superfos	80	5254.7	0.28	14.9
9	Testigo	0	3388.5	0.20	6.7

Se puede observar en los datos que la producción de M.S. y de P absorbido en general, fue mayor cuando la fuente utilizada fue superfosfato que con superfos. También se observa que para una misma fuente, la respuesta al aumento de la dosis aplicada fue positiva; pero el crecimiento en la producción no es proporcional al incremento en las dosis aplicadas.

Los análisis de varianza correspondientes aparecen en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 7 - Análisis de varianza: Kg. P absorbido; % P absorbido (x 100); Mg M.S.

Fuentes de variación	GL	Kg P abs.		% P abs. (x 100)		Kg M.S.	
		CM	F	CM	F	CM	F
Repeticiones	3						
Tratamientos	8	79.450	17.798**	185.234	22.033**	1515681.85	5.383**
T vs. F	1	112.461	25.193**	136.4	16.224**	5425848.8	19.269**
Fuentes	1	82.500	18.481**	294.031	34.974**	237170.0	1
Dosis	3	139.714	31.298**	308.865	36.739**	1984741.25	7.049**
D x F	3	7.167	1.606	41.615	4.950*	169403.833	1
Error	24	4.464		8.407		281569.802	

* 005. \geq P \geq 0.01

** p \leq 0.01

Los análisis de varianza permiten observar con respecto a los Kg de P absorbido un efecto altamente significativo de los tratamientos y dentro de éste, de un mayor grado de significación en dosis. Cuando se incrementó la dosis de 10 a 20 kg/há de P aplicado, el incremento producido fue de 25.35%, al pasar la dosis de 20-40 kg P/há el incremento fue de 35.91%, mientras que al variar la dosis de 40-80 kg P/há el incremento es de 28.34%; ésto nos permite ver que los incrementos no son proporcionales al agregado de Kg P/há. El grado de significación en testigo vs. fertilizado fue un poco menor, el incremento de P absorbido al fertilizar fue 83.9%. En fuentes, el valor de F también fue significativo (18.481) aunque menor que en los casos anteriores. Analizando los incrementos en Kg P absorbido/há vemos que cuando el fertilizante fue superfosfato mostró un 29.85% de superioridad respecto al superfos.

Cuando analizamos el porcentaje de P absorbido, los efectos también son altamente significativos, siendo los incrementos porcentuales los siguientes: cuando la dosis varió de 10 a 20 kg P/há, el incremento fue de 18.84%; al aumentar la dosis de 20 a 40 kg P/há, de 27.63% y al pasar de 40-80 kg P/há el incremento disminuye a 13.79%. En fuentes, donde la F es de 34.974 altamente significativa, el superfosfato incrementó el porcentaje del absorbido en un 26.47%. Si comparamos el dato del testigo con la fertilización existe un 31.16% de incremento del P absorbido. En este análisis de varianza dio significativo la interacción dosis por fuente.

Comparando los análisis anteriores con el análisis de varianza de kg M.S. se observa que los valores de F son menores, así como no dio significativo, ni fuentes ni la interacción dosis por fuente. Testigo vs. fertilizado dió una F de 19.269 altamente significativa; el aumento registrado con la fertilización fue de 36.45%. En dosis, la F fue menor, pero también muy significativa y los incrementos porcentuales al variar las dosis fueron los siguientes: 6.17% al pasar de 10 a 20 kg P/há, 7,09% al aumentar de 20 a 40 kg P/há y un 12.56% cuando se pasaba de 40 a 80 kg P/há. En este caso la respuesta al aumento en la dosis de kg de P/há fue siempre creciente.

A los efectos de cuantificar las respuestas observadas a las distintas dosis y para ambas fuentes se estimó la función de respuesta al agregado de fósforo de acuerdo al siguiente modelo: $y = b_0 + b_1P + b_2P^2$

siendo "y" kg/há de M.S. producida o de P absorbido

"P" dosis de fósforo aplicado en kg/há

Las funciones de respuesta resultante aparecen en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 8 - Funciones de respuesta al P aplicado para Superfosfato, Superfos, Materia Seca, P absorbido.

Modelo	Materia Seca		P absorbido	
	Superfosfato	Superfos	Superfosfato	Superfos
b_0	3865.807	3640.710	6.464	6.733
b_1	19.327	22.239	0.269	0.106
b_2	0	0	- 0.0012	0
F	15.774**	31.937**	72.012**	45.178**
R^2	0.46705	0.639	0.894	0.715

** $p \leq 0.01$

El ajuste del modelo matemático fue bueno, los valores de F son altos y muy significativos. Las funciones de respuesta calculados se presentan en forma gráfica.

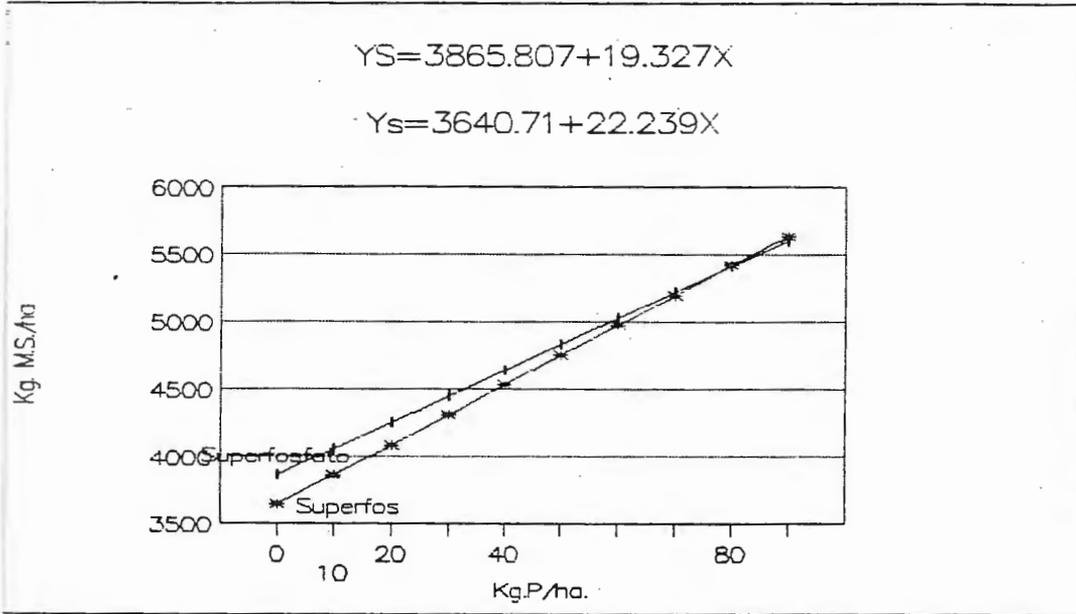


Gráfico No. 1 - Producción de avena en función de las dosis de fertilización.

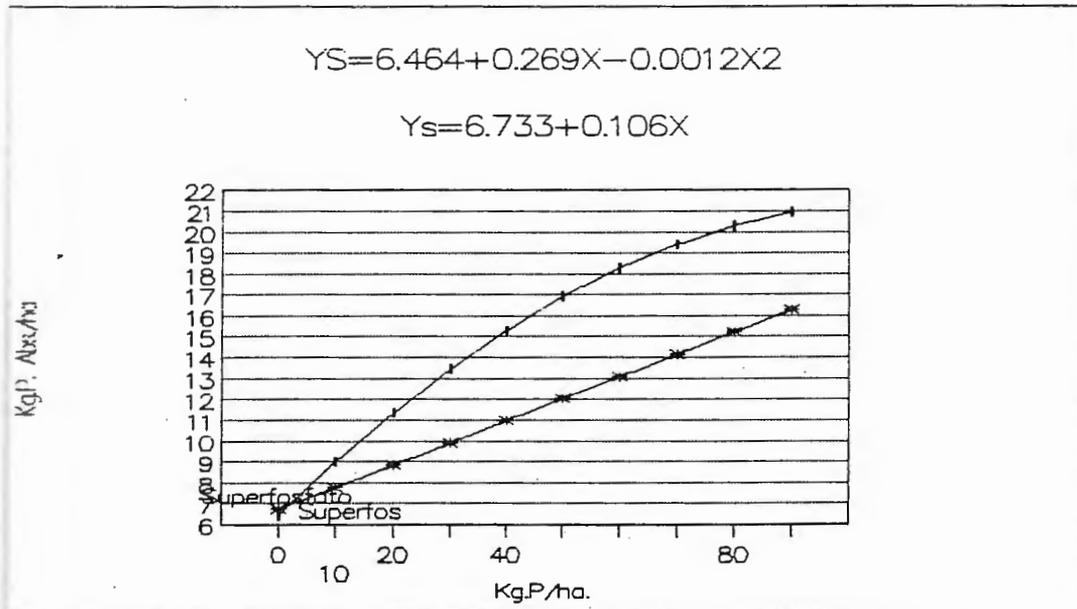


Gráfico No. 2 - Absorción de fósforo en función de las dosis de fertilización.

Las gráficas permiten observar que existen diferentes respuestas a las fuentes utilizadas así como a las dosis aplicadas. Estas diferencias son más intensas en la absorción de P que en la producción de materia seca.

Es de destacar la baja sensibilidad del parámetro M.S./há en detectar las posibles diferencias de fuentes, aunque la respuesta a la fertilización fue muy marcada como lo expresan los coeficientes obtenidos (19.327 y 22.239). En cambio P absorbido muestra diferencias importantes para fuente a niveles elevados de aplicación.

La elevada respuesta en M.S. y P absorbido observada es explicada por el bajo nivel inicial de fósforo para este sitio en partículas (7 ppm). Las diferencias en P absorbido para las dos fuentes pondrían de manifiesto un comportamiento diferencial en cuanto al suministro de P, contenido por cada fuente, lo cual sería lógico de esperarse en función del pH (7.6) de este suelo. Es sabido que condiciones de suelo alcalinas actúan en forma negativa sobre la asimilabilidad del P contenido por fuentes parcialmente solubles como el Superfos.

1.2. San Ramón ; Sorgo

Los datos obtenidos de producción de sorgo y fósforo absorbido en función de los tratamientos aplicados aparecen en el Cuadro No. 9.

Los datos permiten ver que hay una respuesta en la producción de M.S. con la aplicación de fertilizante comparando los datos con el trabajo.

Se observa una respuesta positiva de la producción con el aumento de dosis.

Para los datos de absorción de P en general, se puede concluir lo mismo que para la producción de M.S. Se da un mayor porcentaje de P absorbido en las panojas que en la parte vegetativa.

Los análisis de varianza correspondientes aparecen en el Cuadro No. 10.

Los análisis de varianza para M.S. nos están mostrando un efecto muy significativo de los tratamientos, dentro de esta variación se observan valores significativos solamente en dosis y en testigo de fertilizado, ya sea en grano, forraje y M.S. total. En relación a dosis, el aumento de M.S.

Cuadro No. 9 - Producción de sorgo y absorción de P en función de los tratamientos aplicados

No. de tratamiento	Fuente utilizada	Dosis de P kg/há	Floración Fósforo en hojas % de P	M.S. Parte vegetativa	Cosecha P. Abs.	M.S. Panojas	P. Abs.
1	Superfosfato	10	0.18	3670	3.1	3173	16.3
2	"	20	0.18	3699	3.3	3187	21.5
3	"	40	0.20	3817	3.3	3293	19.1
4	"	80	0.21	4298	4.2	3523	28.2
5	Superfos	10	0.17	3752	3.6	3140	17.2
6	"	20	0.17	3617	2.9	3127	17.0
7	"	40	0.18	3877	4.0	3340	19.5
8	"	80	0.20	3977	4.6	3433	20.9
9	Testigo	0	0.17	3564	2.7	3080	8.5

Cuadro No. 10 - Análisis de variación para cada una de las variables.

Fuentes de variación	GL	Kg MS grano		Kg MS forraje		Kg MS Total		Kg P abs. grano		Kg P abs. forraje		Kg P abs. TOTAL		% P última hoja desari		
		CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	
Rep	2															
Tratamientos	8	69059.262	9.149**	151613.449	4.809**	415971.563	7.345**	82.069	3.726*	1.231	1.319	97.696	3.896*	7.583	2.67	
T vs. F	1	103578.280	13.722**	199229.170	6.319**	590111.330	10.419**	349.063	15.848**	2.467	2.644	410.219	16.360**	10.667	3.76	
Fuente	1	7003.969	<1	24961.875	<1	58411.500	1.031	41.307	1.875	0.611	<1	31.869	1.271	4.167	1.471	
Dosis	3	142137.531	18.831**	278062.469	8.821**	811531.125	14.329**	64.911	2.947	1.854	1.987	85.836	3.423 ++	15.000	5.29	
D x F	3	5159.75	<1	51509.688	1.634	81552.125	1.440	23.817	1.081	0.401	<1	27.323	1.089	0.278	<1	
Error	16	7548.14		31524.313		56633.031		22.025		0.933		25.074		2.838		

* 0.05 ≥ P ≥ 0.01

** P ≤ 0.01

++ P ≥ 0.05

del grano fue el siguiente: de 10 a 20, 20 a 40 y 40 a 80 kg P/há, de 0.016%, 5,05% y 4,87% respectivamente. En M.S. del forraje, los aumentos fueron para dosis de 20 en adelante, correspondiente a 5,17% y 7,55%. Con respecto a testigo vs. fertilizado, en la parte vegetativa la fertilización incrementó el rendimiento de M.S. en un 7.69% en relación al testigo y en las panojas el incremento fue de 6,39%.

En los análisis de varianza de kg P absorbido, en el forraje no dieron efecto significativo los tratamientos; en grano y kg P total dieron efecto significativo los tratamientos y testigo vs. fertilizado. La fertilización permitió un incremento en los kg P absorbido en el grano, así como en kg P absorbido total de más de un 100%.

Los datos de P en floración da significativos en tratamien-
tos, dosis y testigo vs. fertilizado.

En la variación dada por los incrementos de dosis, la respuesta que se obtuvo fue siempre creciente. En testigo vs. fertilizado, se ve un incremento por al fertilización de 12.05%

A los efectos de cuantificar las respuestas observadas a las distintas dosis y para ambas fuentes se estimó la función de respuesta al agregado de fósforo de acuerdo al siguiente modelo: $y = b_0 + b_1P + b_2P^2$

siendo "y" Kg/há de M.S. producido o P absorbido

"P" dosis de P aplicada en Kg/há

Las funciones de respuesta resultante aparecen en en Cuadro No. 11

El modelo de regresión cuadrática tuvo un buen ajuste para casi todos los parámetros.

Las gráficas Nos. 3, 4, 5 y 6 representan algunas de las funciones de respuesta calculadas.

Cuadro No. 11 - Funciones de respuesta de P aplicado para cada una de las fuentes y para cada parámetro evaluado.

MODELO	Fosforo en hojas		Materia seca parte vegetativa		Materia seca panojas		P.absorb. parte vegetativa		P.absorb. panojas		P.absorb. total	
	SP	S	SP	S	SP	S	SP	S	SP	S	SP	S
b ₀	0.171	0.166	3540.4	3611.175	3091.08	3084.5	2.807	2.907	12.696	10.566	15.503	13.406
b ₁	0.00055	0.00048	8.946	4.867	5.342	4.65	0.169	0.221	0.201	0.389	0.218	0.418
b ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 0.0033	0	- 0.0034
F	19.490**	11.725**	15.532**	14.644**	19.102**	20.778	3.730 +	12.275**	13.525*	5.453 +	13.713**	7.387*
R ²	0.599	0.474	0.544	0.529	0.595	0.615	0.223	0.486	0.509	0.476	0.513	0.552

* 0.05 \geq P \geq 0.01

** P \leq 0.01

+ 0.10 \leq P \leq 0.20.

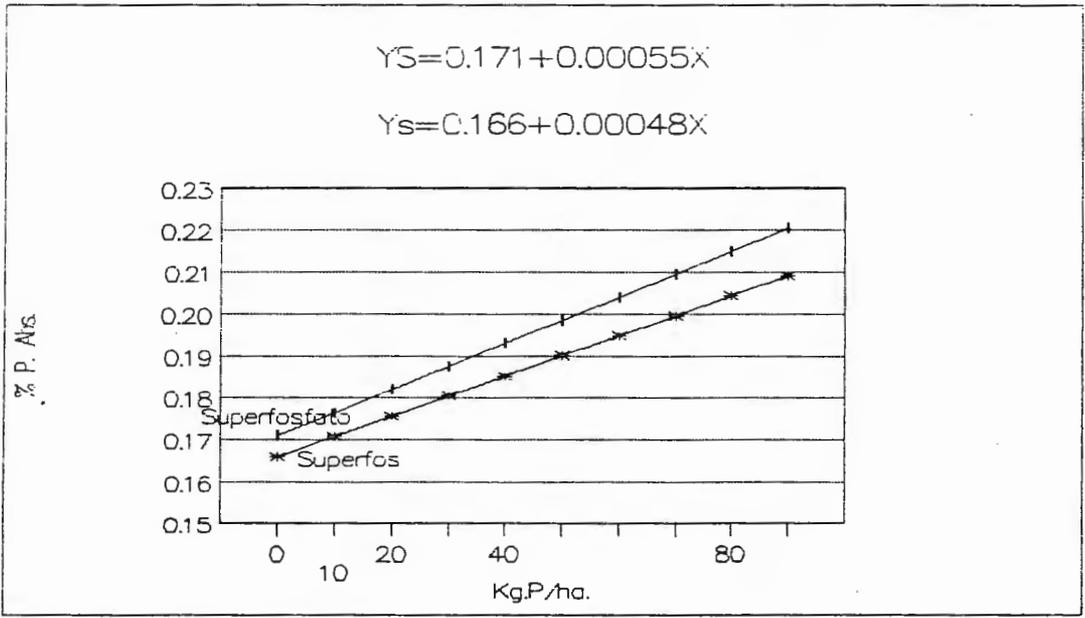


Gráfico No. 3 - Porcentaje de P en las hojas de sorgo en función de las dosis de los fertilizantes aplicados.

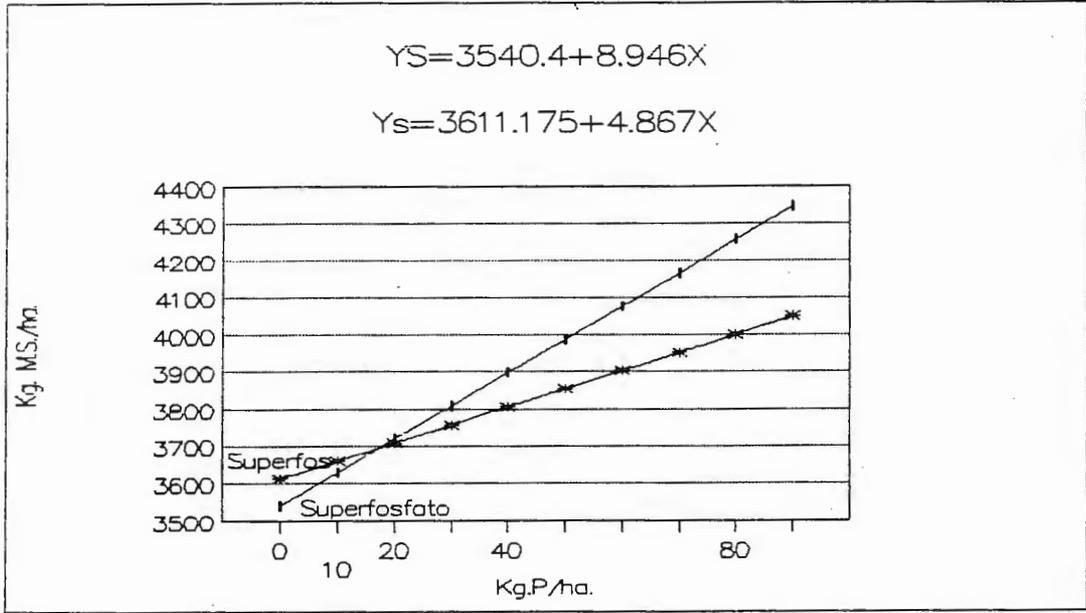
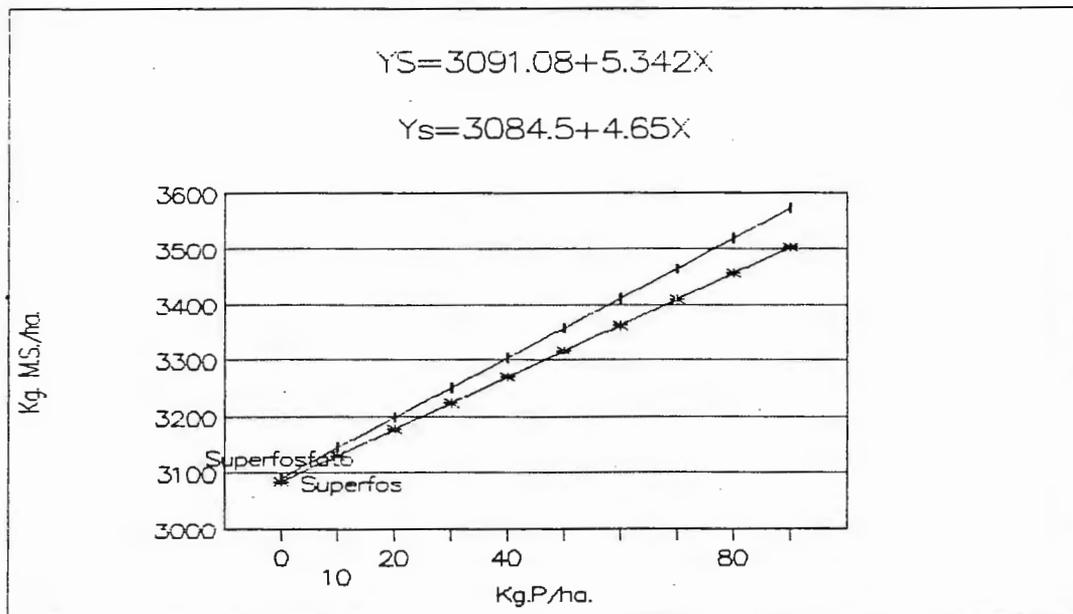
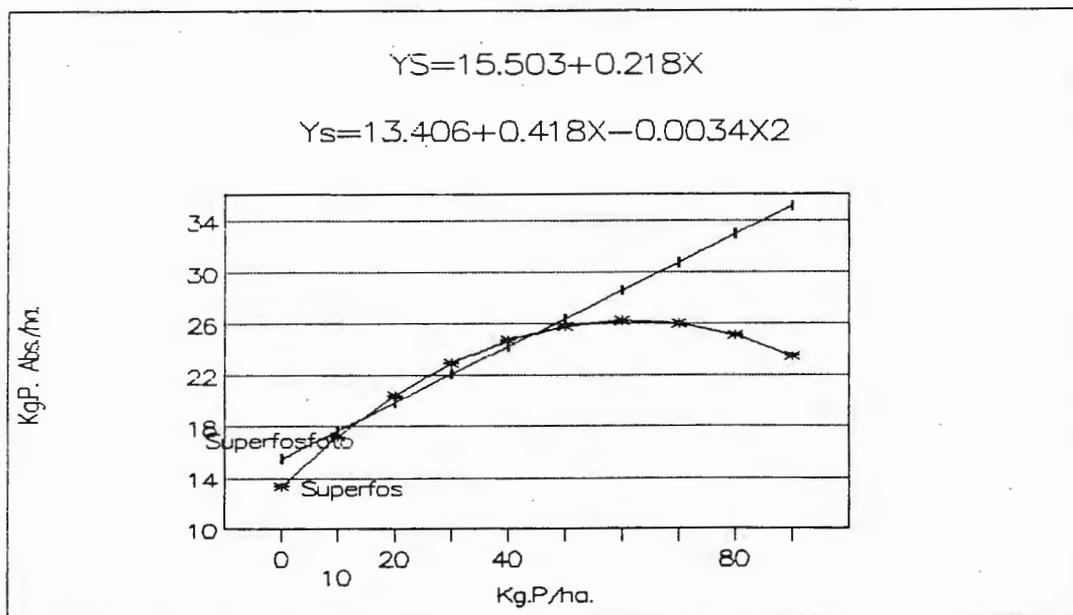


Gráfico No. 4 - Producción de sorgo [parte vegetativa] en función de las dosis de fertilización.



Gráfica No. 5 - Producción de sorgo [panojas] en función de las dosis de fertilización.



Gráfica No. 6 - Absorción de P [fósforo total] en función de las dosis de fertilización.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto una alta respuesta al P aplicado aún con el nivel de P inicial correspondiente a este sitio (13 ppm), lo que pondría de manifiesto los altos requerimientos por parte del cultivo.

Se puede observar que la producción de M.S. así como la absorción de P manifiestan una respuesta positiva al aumento de la fertilización. En la parte vegetativa se observa que a dosis mayores de 10 la respuesta es mejor para el superfosfato que para el superfos, siendo a la inversa en dosis menores. La absorción de P total fue mayor cuanto mayor fue la dosis para el caso de superfosfato; en el caso de superfos se observa una respuesta hasta una dosis de 40, luego permanece invariable la absorción de P total.

Las condiciones de pH de este suelo (5.6) sugerían a priori un comportamiento similar de los fuentes de P usados, lo que fue verificado en términos de M.S. producido y en P absorbido para las dosis de 40 de P o menores.

IV.2. INFORMACION DE SUELOS

2.1. RISSE

Se realizó un muestreo de suelo luego de la cosecha, y se determinó por el método de Bray No. 1 la disponibilidad de P del suelo.

Los datos del muestreo se presentan en el Cuadro No. 12.

Cuadro 12 - Fósforo asimilable en el suelo en función de los tratamientos aplicados. Datos en ppm.

No. de tratamiento	Fuente de P utilizada	Dosis de P kg/há	Datos
1	Superfosfato	10	6.7
2	Superfosfato	20	7.5
3	Superfosfato	40	8.7
4	Superfosfato	80	14.7
5	Superfos	10	5.7
6	Superfos	20	6.2
7	Superfos	40	7.2
8	Superfos	80	9
9	Testigo	0	5.8

En este cuadro se observa que los datos de P asimilable cuando la fuente utilizada es Superfos son más cercanos al testigo. Estos datos no indican cuan fijador puede ser este suelo, sería necesario tener determinaciones posteriores a ésta.

En un trabajo realizado por Moron y Escudero (1978) los resultados mostraron una alta correlación entre el porcentaje de arcilla y la capacidad de fijación del suelo; esta variable (% de arcilla) explicaba el 29% de la variación en la capacidad de fijación del P.

El Vertisol de Risso, es un suelo arcilloso, pero solo con esta característica no se puede decir que sea un suelo fijador de P.

A continuación se presenta el análisis de varianza realizado:

Cuadro No. 13 - Análisis de varianza de los valores de P disponible.

Fuente de variación	GL	CM	F
Repeticiones	3		
Tratamientos	8	31.285	12.965**
T vs. F	1	21.78	9.026**
Fuente	1	45.125	18.700**
Dosis	3	50.917	21.101**
D x F	3	10.208	4.230*
Error	24	2.413	

* $0.05 \geq P \geq 0.01$

** $P \leq 0.01$

El efecto de los tratamientos fue muy significativo ($P \leq 0.01$) y dentro de la variación todos los otros datos también fueron muy significativos.

En dosis donde la F fue la mayor, vemos que el aumento fue en forma positiva con el aumento de kg P/ha. En fuente, el incremento en la disponibilidad del P en el suelo con el agregado de superfosfato en vez de Superfos fue del 33.63%. En testigo vs. fertilizado, vemos que la fertilización aumentó un 42.86% la disponibilidad de P en el suelo.

En la interacción D x F dio significativo, siendo menor esta significación que en los casos anteriores pero en el primer cuadro se ve que a igualdad de dosis, los valores de superfosfato son mayores que los de superfos.

Se estimó una función de respuesta de la disponibilidad de P del suelo, con los datos de P disponible.

El modelo fue el siguiente: $y = b_0 + b_1P + b_2P^2$ donde "y" significa ppm de P en el suelo y "P" significa dosis de P aplicado (kg/há).

Cuadro No. 14 - Función de respuesta de P asimilable del suelo frente al agregado de P.

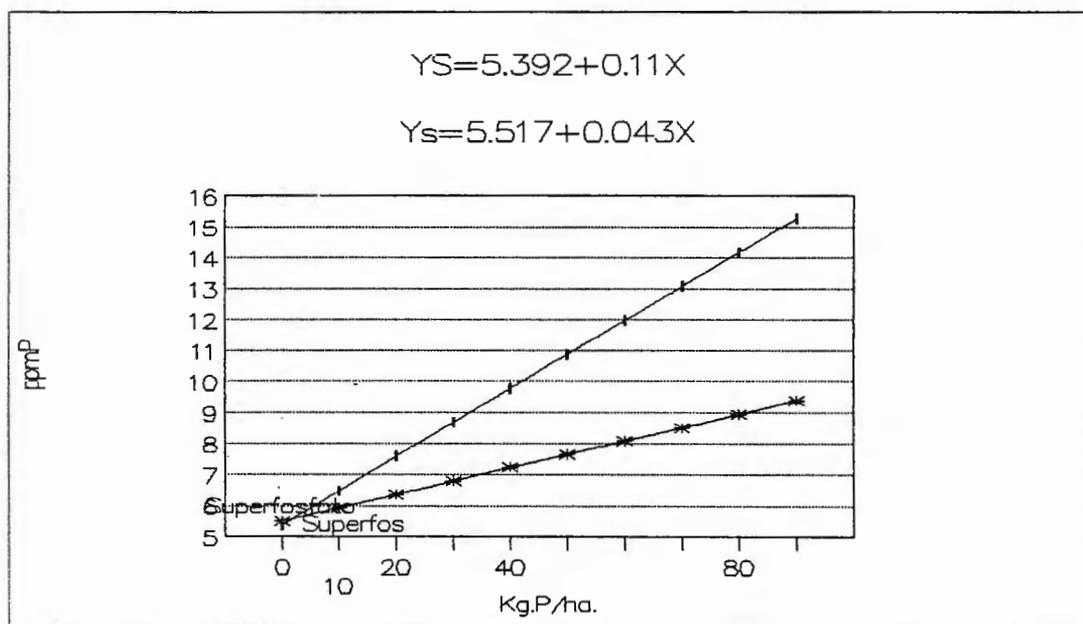
Modelo	Superfosfato	Superfos
b_0	5.392	5.517
b_1	0.110	0.043
b_2	0	0
F	53.394**	35.848**
R^2	0.748	0.666

* $0.05 \geq P \geq 0.01$

** $P \leq 0.01$

El ajuste del modelo matemático con los datos experimentales fue bueno, ya que los valores de F son de alta significación, siendo mejor el ajuste para la función de Superfosfato que para el Superfos.

Se representa gráficamente la función de respuesta estimada.



Gráfica No. 7 - Fósforo asimilable del suelo en función de las dosis de fertilización.

Se puede observar que el agregado de P en forma de Superfosfato, aumenta considerablemente la disponibilidad del P del suelo. Se buscó una función de respuesta de la disponibilidad de P a marzo 1984 con el rendimiento en M.S. y con el P absorbido.

Cuadro No. 15 - Función de respuesta de ppm M84-M.S.; ppm M84-P abs.

Modelo	Superfosfato	Superfos	Superfosfato	Superfos
b_0	3089.95	-3954.19	1.66	- 1.63
b_1	155.73	1943.41	1.24	1.69
b_2	0	- 102.28	0	0
F	17.611**	11.229**	58.507**	18.562**
R^2	0.494	0.569	0.765	0.508

** P ≤ 0.01

El ajuste del modelo matemático fue bueno, presentó una alta significación.

2.2. SAN RAMON

En este sitio se realizaron 4 determinaciones de P; la primera en marzo 1983 (M_1), luego de la cosecha de sorgo, las otras fueron en agosto 1983 (M_2); enero 1984 (M_3) y agosto 1984 (M_4).

Todos los muestreos de suelos fueron analizados con el método de Bray No. 1.

Los valores de disponibilidad de P obtenidos de los análisis aparecen en el siguiente cuadro.

Cuadro No. 16 - Fósforo asimilable en el suelo en función de los tratamientos. (datos en ppm)

No de tratamiento	Fuente utilizada	Dosis aplicada	M_1	M_2	M_3	M_4
1	Superfosfato	10	14.7	10	9.3	8.3
2	Superfosfato	20	16.0	10	9.3	8.3
3	Superfosfato	40	18.7	12.7	13.3	11.0
4	Superfosfato	80	24.3	13.3	24.3	13.7
5	Superfos	10	14.3	9.3	9.0	8.0
6	Superfos	20	13.7	9.0	9.0	7.3
7	Superfos	40	16.0	11.7	11.3	9.0
8	Superfos	80	18.0	12.0	15.0	10.7
9	Testigo	0	13.2	9.7	8.2	7.0

En general en todos los muestreos los valores de Superfosfato son mayores que los valores de Superfos, así como son valores crecientes con el aumento de fertilización.

El nivel inicial de P disponible de este suelo es 13 ppm, de los datos se observa que para mantener este nivel es necesario una dosis de 80 kg P/há. Este suelo ha sido fertilizado durante una serie de años y aún así es necesario estas dosis para mantener el nivel inicial; esto podría estar indicando que este suelo tiene una alta capacidad de fijación de P.

En trabajos de tesis realizados anteriormente a este, hechos en este suelo, se pudo corroborar lo anteriormente mencionado. Las ca

racterísticas del suelo tales como su acidez, el régimen de alternancias de condiciones de óxido-reducción, la cantidad de óxidos de Fe y Al libres encontrados en este suelo, explicarían las altas tasas de descenso del P disponible.

En Cuadro 17, se presenta el análisis de varianza realizado.

En el primer muestreo, los tratamientos dieron muy significativo, y la variación dentro de éstos también fueron valores muy significativos.

En dosis se podría decir que los incrementos en dosis dieron los siguientes aumentos de la disponibilidad: 2,3%, 16,83% y 22,09%; para dosis de 10-20; 20-40 y 40-80 respectivamente. Fueron aumentos crecientes con las dosis.

En fuentes, se ve que al poner Superfosfato en vez de Superfos, la variación fue de 18.82% a favor del Superfosfato.

En testigo vs. fertilizado, la fertilización aumentó la disponibilidad de P en 28.77%.

En el segundo muestreo, los tratamientos dieron significativo, así como dosis y fuentes. La variación de las dosis produjo, las siguientes variaciones a la disponibilidad de P, 10-20: no hubo aumento de la disponibilidad, 20-40: 29.47% y 40-80: 4%. La variación de las fuentes, dio como resultado un aumento de 9,5% con el Superfosfato. En testigo vs. fertilizado, la significación fue menor estadísticamente y el aumento al fertilizar fue de 13.75%.

En el tercer muestreo los tratamientos también dieron significativo, así como a dosis y fuentes, y menor significación a testigo vs. fertilizando. En dosis vemos que los incrementos fueron: 10-20: no hubo incremento; 20-40: 34,53% y de 40-80: 59.49%. En fuentes la variación en la disponibilidad al variar los fertilizantes de Superfos a Superfosfato fue 27.05%. La fertilización incrementó la disponibilidad en 53.99%.

En el cuarto muestreo, se observa que la significación fue mucho menor, siendo más alto en dosis. En este caso la variación de dosis dieron los

Cuadro No. 17 - Análisis de varianza de los valores de fósforo asimilable en los muestreos.

Fuente de variación	GL	M ₁		M ₂		M ₃		M ₄	
		CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Rep	2								
Tratamiento	8	35.995	13.995**	12.565	7.284	78.162	8.888**	13.731	2.458++
T vs F	1	38.338	14.906**	6.686	3.876++	53.004	6.027++	17.227	3.084++
Fuentes	1	51.042	19.845**	13.5	7.826**	57.042	6.480*	15.042	2.693
Dosis	3	56.819	22.091**	24.500	14.203**	144.931	16.481**	23.819	4.264*
D x F	3	9.375	3.645*	2.278	1.321	26.819	3.049	2,042	1
Error	16	2.572		1.725		8.794		5.586	

* $0.05 \geq P \geq 0.01$

** $P \leq 0.01$

++ $P \geq 0.05$

siguientes valores: 10-20 : no hubo incremento; 20-40: 27.3% y 40-80 : 21.7%. La fertilización presentó una variación del 36.3% con respecto al testigo.

Solamente en el primer muestreo, dio significativo la interacción dosis x fuentes.

Se estimó una función de respuesta que representara la disponibilidad de P del suelo en función de la dosis aplicada.

El modelo utilizado fue: $y = b_0 + b_1P + b_2P^2$ siendo:

"Y" ppm P en el suelo

"P" dosis de P aplicado (kg/há)

En el cuadro 18 se muestran las funciones estimadas.

Los datos nos están mostrando que todas las funciones presentaron muy buen ajuste, en general con valores altos de significación. A continuación, se representan gráficamente las funciones estimadas.

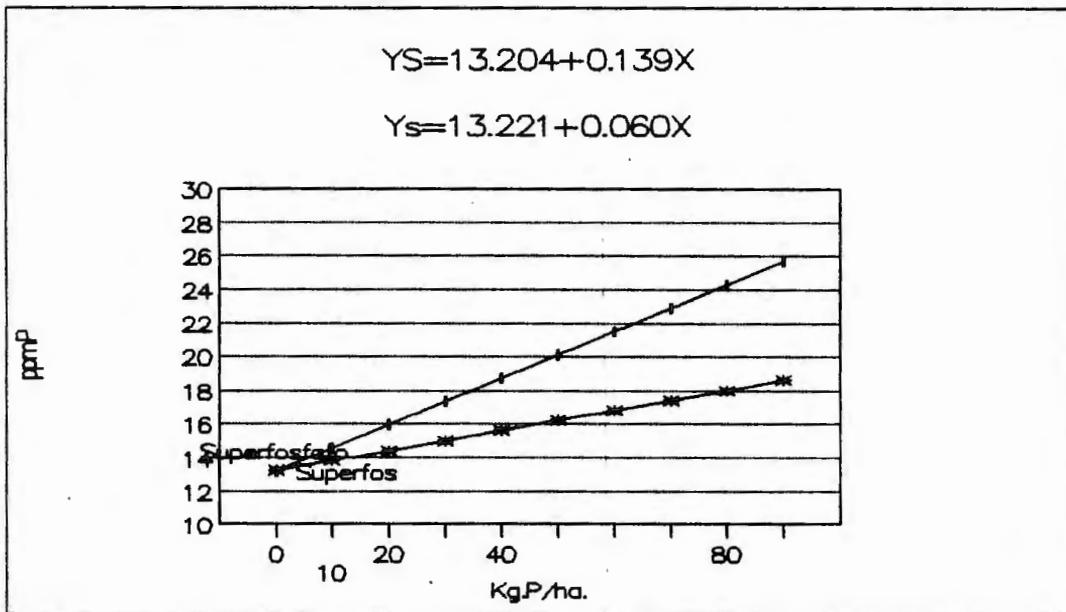


Gráfico No. 8 - Fósforo asimilable en el suelo (M_1) en función de la dosis de fertilización.

Cuadro No. 18 - Funciones de respuesta del P del suelo frente al agregado de P.

Modelo	M1		M2		M3		M4	
	Superfosfato	Superfos	Superfosfato	Superfos	Superfosfato	Superfos	Superfosfato	Superfos
b ₀	13.204	13.221	9.258	9.208	6.804	7.887	7.167	7.050
b ₁	0.139	0.060	0.076	0.037	0.205	0.087	0.083	0.045
b ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
F	211.279**	18.712**	29.681**	12.216**	36.192**	139.214**	16.796**	9.934*
R ₂	0.942	0.590	0.695	0.484	0.736	0.915	0.564	0.433

* 0.05 P 0.01

** P 0.01

En este muestreo, se puede observar que el efecto del Superfosfato fue superior al efecto del Superfos, mostrando tener una mejor respuesta.

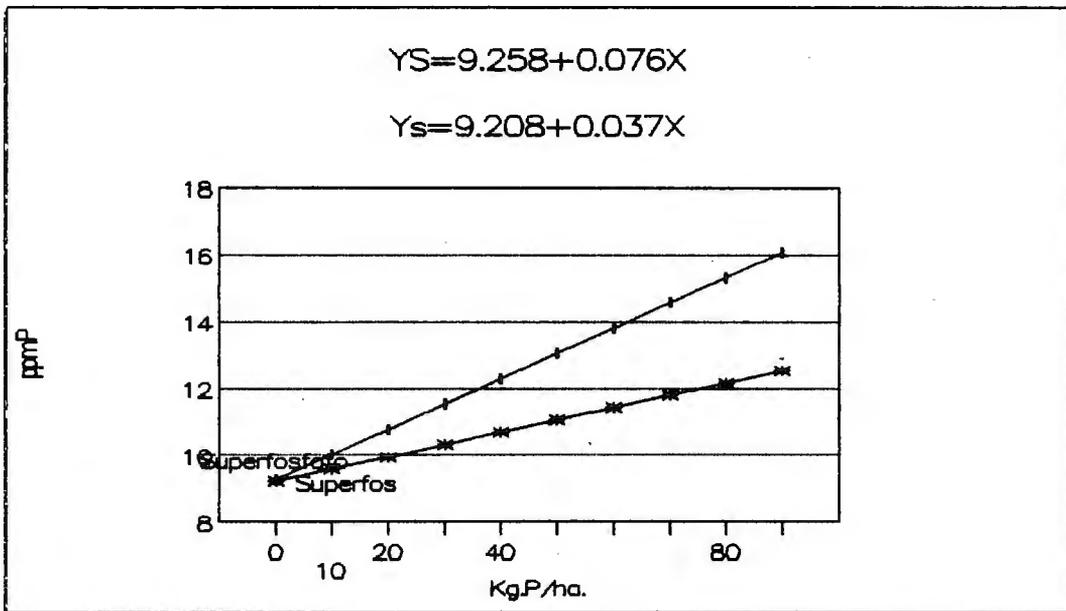


Gráfico No. 9 - Fósforo asimilable en el suelo (M_2) en función de la dosis de fertilización

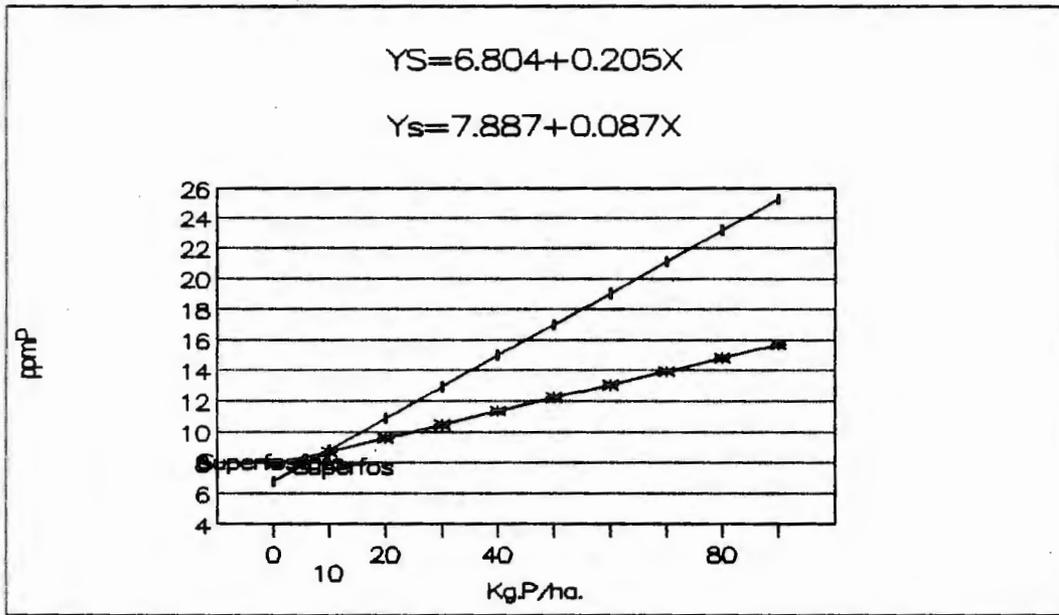


Gráfico No. 10 - Fósforo asimilable en el suelo (M_3) en función de las dosis de fertilización.

La tendencia en general de estos muestreos son muy similares, siempre que el Superfosfato mostrando una superioridad frente al Superfos.

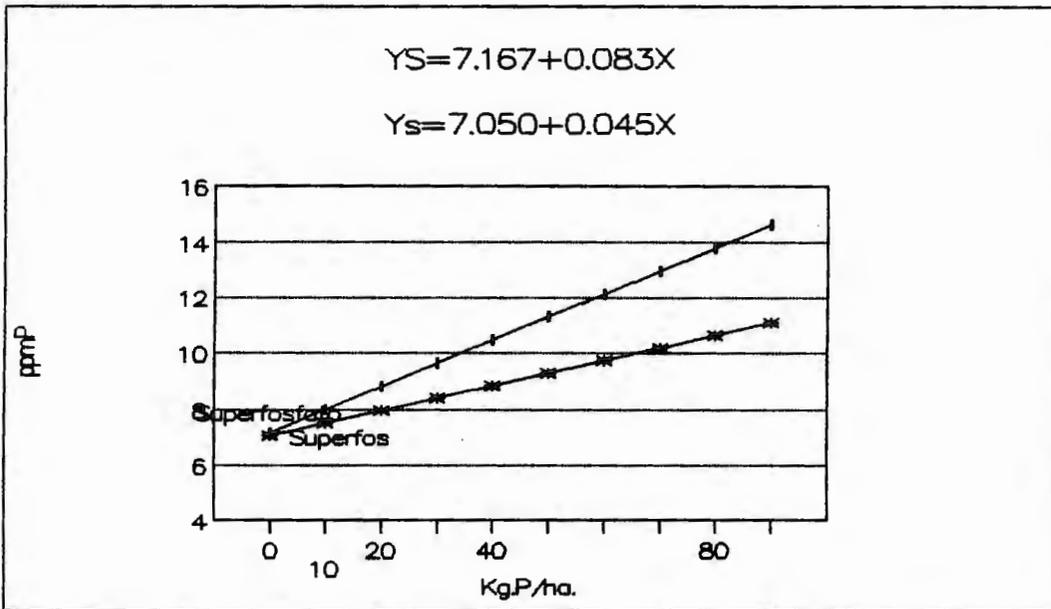


Gráfico No. 11 - Fósforo asimilable en el suelo (M_4) en función de las dosis de fertilización.

En este muestreo, se observa un excelente efecto del Superfosfato, pero no así del Superfos

V. CONCLUSIONES

RISSO

Los resultados obtenidos muestran una respuesta significativa a la fertilizantes en el cultivo anual utilizado, para los parámetros analizados. Esta respuesta es mayor aún en Kg. de P absorbido que en el caso de Kg M.S./há, es evidente que tiene que haber afectado otros factores de la disponibilidad de P, la producción del cultivo.

Los datos muestran claramente la superioridad del Superfosfato o sea la fuente soluble frente a la fuente de menor solubilidad que es el Superfos.

En el caso de Kg P absorbido/há, el aumento con Superfosfato fue de un 29.85% frente al Superfos.

En el caso de Kg M.S., el análisis de varianza no mostró efecto significativo ni en fuente ni en la interacción fuentes por dosis. Esto se puede visualizar en la gráfica de la función de respuesta, donde casi no se ven diferencias entre Superfosfato y Superfos.

Con respecto a los datos de fósforo asimilable [Bray], se observa que hay diferencias significativas entre la parcela testigo y las parcelas fertilizadas. Dentro de la variación de tratamientos también da rán datos muy significativos, en primer lugar dosis, donde los incrementos con mayores con dosis más altas de fertilizante aplicado. La interacción dosis por fuentes también dio muy significativo; esto explica que la mayor diferencia entre los fertilizantes o sea entre el Superfosfato y el Superfos se da en dosis altas lo cual se ve claramente en la gráfica de la función de respuesta.

SAN RAMON

A través de los parámetros Kg M.S. y Kg P absorbido, se observa un efecto significativo de la fertilización. Solo para el caso de kg M.S., la variación mostrada en dosis dio significativo y en ninguno de los dos ca sos dieron significación los valores de fuentes.

Con respecto a los datos de P asimilable [Bray] se observa que en todos los muestreos los tratamientos tuvieron efecto significativo; no se da así en las otras fuentes de variación como por ejemplo, testigo de fertilizado en donde los siguientes muestreos el de la cosecha no son tan significativos como en la primera; esto es debido a que con el tiempo, el P del suelo se ve retrogradando a formas más insolubles; de esta manera las diferencias entre parcela testigo y fertilizadas van siendo menores. Esto se ve en los datos de forma asimilable donde son cada vez menores con el correr del tiempo o sea

$$P_{M1} > P_{M2} > P_{M3} > P_{M4}$$

Las diferencias entre fuentes también van siendo menores por la retrogradación del P.

VI. RESUMEN

El presente trabajo está englobado en un proyecto de investigación cuyo propósito es cubrir cierta carencia de información sobre la eficiencia relativa de fuentes fosfatadas solubles y parcialmente solubles en suelos del litoral y del Sur.

Las fuentes de P utilizadas fueron: Superfosfato (0-21/23-0) y Superfos (0-18/30-0). Las dosis aplicadas fueron 0, 10, 20, 40 y 80 kg de fósforo por hectárea.

Los suelos utilizados fueron:

- a] Vertisol rúptico lúvico perteneciente a la Unidad Risso con pH 7.6, M.O. 2,2% y 7 ppm de fósforo asimilables;
- b] Planosol subéutrico melánico perteneciente a la Unidad San Ramón con pH 5.6, M.O. 3.2% y 13 ppm de fósforo asimilable.

Los cultivos fueron especies cerealeras y/o forrajeras de producción anual, como lo son avena y sorgo, sembradas en la Unidad Risso y Unidad San Ramón respectivamente. En cada cultivo se midió la respuesta y la eficiencia de uso del fertilizante por:

- a] Rendimiento en materia seca (grano o forraje) y b] Absorción de P.

A P E N D I C E

Cuadro No. 1 - Riso: Muestreo de suelos realizado luego de la cosecha. Datos en ppm de P,
Método Bray N^o 1.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio
1	Superfosfato	10	5	9	6	7	6.75
2	Superfosfato	20	7	10	6	7	7.50
3	Superfosfato	40	7	8	9	11	8.75
4	Superfosfato	80	13	17	18	11	14.75
5	Superfos	10	6	5	6	6	5.75
6	Superfos	20	6	6	7	6	6.25
7	Superfos	40	6	10	6	7	7.25
8	Superfos	80	8	9	10	9	9.00
9	Testigo	0	5.7	6	5.7	5.7	5.77

Cuadro No. 2 - Risso: Absorción de P, contenido en el grano. Datos en %

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/ha)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio
1	Superfosfato	10	0.20	0.22	0.22	0.18	0.20
2	superfosfato	20	0.24	0.29	0.22	0.20	0.24
3	Superfosfato	40	0.33	0.34	0.37	0.33	0.34
4	Superfosfato	80	0.39	0.37	0.38	0.38	0.38
5	Superfos	10	0.19	0.17	0.17	0.19	0.18
6	Superfos	20	0.28	0.24	0.18	0.18	0.22
7	Superfos	40	0.25	0.24	0.26	0.21	0.24
8	Superfos	80	0.27	0.24	0.28	0.34	0.28
9	Testigo	0	0.21	0.21	0.20	0.17	0.20

Cuadro No. 3 - Riso: Absorción de P, contenido en el grano. Datos en Kg P/há.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio
1	Superfosfato	10	7.02	9.64	10.83	8.66	9.04
2	Superfosfato	20	10.78	11.76	10.96	9.13	10.66
3	Superfosfato	40	16.13	13.28	17.80	16.00	15.80
4	Superfosfato	80	17.30	20.31	24.60	18.50	20.18
5	Superfos	10	7.35	4.88	6.83	8.99	7.01
6	Superfos	20	12.47	11.05	7.88	6.38	9.44
7	Superfos	40	12.64	11.86	12.71	8.87	11.52
8	Superfos	80	12.89	12.41	15.80	18.48	14.89
9	Testigo	0	7.16	6.46	6.36	6.82	6.7

Cuadro No. 4 - Riso: Producción de avena. Datos en Kg M.S./há.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/ha)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Promedio
1	Superfosfato	10	3509.4	4301.9	4924.5	4811.3	4386.77
2	Superfosfato	20	4490.6	4056.6	4981.1	4566.0	4523.57
3	Superfosfato	40	4886.8	3905.7	4811.3	4849.1	4613.22
4	Superfosfato	80	4434.0	5490.6	6471.7	4868.0	5316.07
5	Superfos	10	3868.0	2868.0	4018.9	4735.9	3872.70
6	Superfos	20	4452.8	4603.8	4377.4	3547.2	4245.30
7	Superfos	40	5056.6	4943.4	4886.8	4226.0	4778.20
8	Superfos	80	4773.6	5169.8	5641.5	5434.0	5354.72
9	Testigo	0	3421.7	3025.2	3188.7	3918.4	3388.5

Cuadro No. 5 - San Ramón: Muestreo de suelos, realizado luego de la cosecha. Datos en ppm de P,
Método Bray No. 1.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/ha)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	14	16	14	14.67
2	Superfosfato	20	17	17	14	16.00
3	Superfosfato	40	18	20	18	18.67
4	Superfosfato	80	25	25	23	24.33
5	Superfos	10	15	14	14	14.33
6	Superfos	20	13	15	13	13.67
7	Superfos	40	16	13	19	16.00
8	Superfos	80	19	16	19	18.00
9	Testigo	0	13	13	13.5	13.17

Cuadro No. 6 - San Ramón: Muestreo de suelos, realizado luego de 5 meses del anterior.
 Datos en ppm de P. Método Bray No. 1

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/ha)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	10	13	7	10.00
2	Superfosfato	20	10	10	10	10.00
3	Superfosfato	40	13	14	11	12.67
4	Superfosfato	80	16	16	14	13.33
5	Superfos	10	9	11	8	9.33
6	Superfos	20	9	9	9	9.00
7	Superfos	40	11	11	13	11.67
8	Superfos	80	13	11	12	12.00
9	Testigo	0	10.5	10	8.5	9.67

Cuadro No 7 - San Ramón: Muestreo de suelos, realizado 6 meses después que el anterior.
 Datos en ppm de P. Método Bray No. 1

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	9	10	9	9.33
2	Superfosfato	20	9	10	10	9.33
3	Superfosfato	40	15	13	12	13.33
4	Superfosfato	80	34	22	17	24.33
5	Superfos	10	10	9	8	9.00
6	Superfos	20	9	10	8	9.00
7	Superfos	40	11	12	11	11.33
8	Superfos	80	14	16	15	15.00
9	Testigo	0	8	8.5	8	8.17

Cuadro No. 8 - San Ramón: Muestreo de suelos, realizado 7 meses después que el anterior.
 Datos en ppm de P. Método Bray No. 1

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/ha)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	8	11	6	8.33
2	Superfosfato	20	8	8	9	8.33
3	Superfosfato	40	15	7	11	11.00
4	Superfosfato	80	12	12	17	13.67
5	Superfos	10	9	9	6	8.00
6	Superfos	20	7	9	6	7.33
7	Superfos	40	8	11	8	9.00
8	Superfos	80	13	8	11	10.67
9	Testigo	0	7	7.5	6.5	7.00

Cuadro No. 9 - San Ramón. Absorción de P, contenido en el grano. Datos en % P.

Número de Tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	0.58	0.44	0.52	0.51
2	Superfosfato	20	0.52	0.87	0.63	0.67
3	Superfosfato	40	0.83	0.42	0.48	0.58
4	Superfosfato	80	0.92	0.90	0.58	0.80
5	Superfos	10	0.67	0.51	0.46	0.55
6	Superfos	20	0.50	0.51	0.52	0.54
7	Superfos	40	0.72	0.51	0.52	0.58
8	superfos	80	0.62	0.82	0.38	0.61
9	Testigo	0	0.225	0.37	0.24	0.28

Cuadro No. 10 - San Ramón: Absorción de P, contenido en el grano. Datos en kg P

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	18.62	14.48	15.70	16.27
2	Superfosfato	20	17.11	29.06	18.46	21.54
3	Superfosfato	40	28.30	13.86	15.22	19.13
4	Superfosfato	80	33.30	31.14	20.24	28.24
5	Superfos	10	21.57	16.27	13.85	17.23
6	Superfos	20	15.75	19.46	15.81	17.01
7	Superfos	40	24.41	16.73	17.42	19.52
8	Superfos	80	22.32	27.88	12.54	20.91
9	Testigo	0	7.32	11.17	7.12	8.54

Cuadro No. 11 - San Ramón: Absorción de P, contenido en el forraje. Datos en % P.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	0.10	0.08	0.07	0.08
2	Superfosfato	20	0.07	0.12	0.08	0.09
3	Superfosfato	40	0.10	0.04	0.12	0.09
4	Superfosfato	80	0.11	0.07	0.11	0.10
5	Superfos	10	0.11	0.08	0.08	0.09
6	Superfos	20	0.07	0.10	0.07	0.08
7	Superfos	40	0.10	0.12	0.09	0.10
8	Superfos	80	0.10	0.10	0.15	0.12
9	Testigo	0	0.07	0.06	0.08	0.07

Cuadro No. 12 - San Ramón: Absorción de P, contenido en el forraje. Datos en Kg P/há.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	3.71	3.04	2.45	3.07
2	Superfosfato	20	2.67	4.63	2.72	3.34
3	Superfosfato	40	3.95	1.53	4.41	3.30
4	Superfosfato	80	5.34	2.80	4.44	4.19
5	Superfos	10	4.11	2.96	3.90	3.66
6	Superfos	20	2.55	3.68	2.48	2.90
7	Superfos	40	3.92	4.58	3.50	4.00
8	Superfos	80	4.16	3.94	5.74	4.61
9	Testigo	0	2.86	2.24	2.93	2.68

Cuadro No. 13 - San Ramón: Producción de sorgo, contenido en el grano. Datos en Kg M.S./há.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/ha)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	3210	3290	3020	3173.33
2	Superfosfato	20	3290	3340	2930	3186.67
3	Superfosfato	40	3410	3300	3170	3293.33
4	Superfosfato	80	3620	3460	3490	3523.33
5	Superfos	10	3220	3190	3010	3140.00
6	Superfos	20	3150	3190	3040	3126.67
7	Superfos	40	3390	3280	3350	3340.00
8	Superfos	80	3600	3400	3300	3433.33
9	Testigo	0	3255	3020	2965	3980

Cuadro No. 14 - San Ramón: Producción de sorgo, contenido en el forraje. Datos en Kg M.S./há

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	3710	3805	3495	3670.00
2	Superfosfato	20	3820	3860	3405	3695.00
3	Superfosfato	40	3950	3825	3675	3816.67
4	Superfosfato	80	4854	4000	4040	4298.00
5	Superfos	10	3740	3695	3820	3751.67
6	Superfos	20	3645	3685	3520	3616.67
7	Superfos	40	3920	3820	3890	3876.67
8	Superfos	80	4165	3940	3825	3976.67
9	Testigo	0	3810	3440	3442.5	3564.17

Cuadro No. 15 - San Ramón: Producción de sorgo, contenido en grano + forraje. Datos en Kg M.S./há.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	6920	7095	6515	6843.33
2	Superfosfato	20	7110	7200	6335	6881.67
3	Superfosfato	40	7360	7125	6845	7110.00
4	Superfosfato	80	8474	7460	7530	7821.33
5	Superfos	10	6960	6885	6830	6891.67
6	Superfos	20	6795	6875	6560	6743.33
7	Superfos	40	7310	7100	7240	7216.67
8	Superfos	80	7765	7340	7125	7410.00
9	Testigo	0	7065	6460	6407.5	6644.17

Cuadro No. 16 - San Ramón: Absorción de P, contenido en la última hoja desarrollada. Datos en % P.

Número de tratamiento	Fuente de P	Dosis (kg P/há)	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
1	Superfosfato	10	0.17	0.16	0.20	0.18
2	Superfosfato	20	0.18	0.19	0.18	0.18
3	Superfosfato	40	0.20	0.20	0.19	0.20
4	Superfosfato	80	0.22	0.23	0.19	0.21
5	Superfos	10	0.16	0.16	0.20	0.17
6	Superfos	20	0.18	0.16	0.18	0.17
7	Superfos	40	0.16	0.19	0.20	0.18
8	Superfos	80	0.22	0.20	0.20	0.21
9	Testigo	0	0.15	0.18	0.17	0.17

VIII. LITERATURA CITADA

1. ADAMS, F.A. A Comparison of the Effects of Monocalcium Phosphate and Diammonum Phosphate on Phosphorus and Calcium Availabilities. Soil Science Society of America Journal 46:769-771, 1982.
2. BLACK, C.A. Relaciones suelo-planta. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1975. 2v.
3. CASTRO, J.L., ZAMUZ, E.M. de y BARBOSA, S. Fertilización de pasturas en el litoral oeste de Uruguay. Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas, Dr. Alberto Boerger, 1987. Miscelánea no. 24.
4. GUILLAMON SANZ, G. Eficiencia y efecto residual de distintas fuentes de fósforo en cultivos anuales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, 1983. 153p.
5. LABELLA, S.J. y AMENDOLA, L.A. Eficiencia relativa de alguna fuente de fósforo para la fertilización directa de cultivos de verano. C.I.A.A.B. Estación Experimental del Norte. Treinta y Tres, 1977. 16p. (Boletín Técnico no. 24)
6. -----; ----- . Fuentes de fósforo para cultivos anuales. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay, no. 13: 17-23, 1979.
7. MORON, A.E. Fuentes de fósforo para pasturas. Centro de Investigaciones Agrícolas Dr. Alberto Boerger, 1982. Miscelánea no. 42. 9p.
8. NELSON, L.B. Advances in fertilizers. Advances in Agronomy 17:1-84, 1965.
9. RABUFFETTI, A. et al. Fósforo. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1981. 106p. (Mimeógrafo)
10. REYNAERT, E.E. y CASTRO, J.L. Eficiencia de tres fertilizantes fosfatados en la fertilización inicial de pasturas. C.I.A.A.B., La Estanzuela, 1968. 24p. (Boletín Técnico no. 7)
11. SKAFAR, Michael. Evaluación de tres fuentes de fósforo en el cultivo de avena-raigras. Tesis Ing. agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1983. 88p.
12. SLEIGHT, D.H.; SANDER, D.H. and PETERSON, G.A. Effect of Fertilizer Phosphorus Placement on the Availability of Phosphorus. Soil Science Society of America Journal 48:336-340, 1984.

13. TISDALE, S.L. and NELSON, W.L. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, Montaner y Simon, 1970. 760p.
14. URUGUAY. CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS DR. ALBERTO BOERGER. Estación Experimental La Estanzuela. Fertilización de pasturas. La Estanzuela, Colonia, 1971. 40p. (Boletín de Divulgación No. 5)
15. ZAMUZ, E.M. de y CASTRO, J.L. Evaluación de métodos de análisis de suelos para determinar fósforo asimilable. C.I.A.A.B., La Estanzuela, 1974. 15p. (Boletín Técnico No.15)
16. -----; -----. Evaluación de seis fuentes de fósforo en nueve tipos de suelo. La Estanzuela, 1975. 16p. (Boletín Técnico No. 23).