

AGN  
0032  
1985

020031

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS LLANOS ORIENTALES

Facultad de Ingeniería Agronómica



**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS**  
**SISTEMA DE BIBLIOTECAS**  
**HEMEROTECA**  
**Villavicencio - Meta**

**FERTILIZACION DEL ARROZ RIEGO (Oryzae sativa L.) CON  
ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE EN UN OXISOL  
DEL PIEDEMONTE LLANERO**

Trabajo de grado presentado como  
requisito parcial para optar al  
título de Ingeniero Agrónomo.

**RUBIELA REY DE SASTOQUE**  
**ALFONSO ESPINOSA NAVARRO**

Villavicencio, septiembre de 1985

## DIRECTIVOS

Rector,

Dr. MIGUEL ANTONIO BOHORQUEZ MORENO

Vice-rector Académico,

Dr. MIGUEL EDUARDO VILLARREAL TORRES

Secretario General,

Dr. MIGUEL PIÑEROS REY

Decano de la Facultad,

Dr. HERNAN GIRALDO VIATELA

Director de Tesis,

Dr. LUIS FERNANDO SANCHEZ S.

Jurados,

Dr. JORGE MUÑOZ

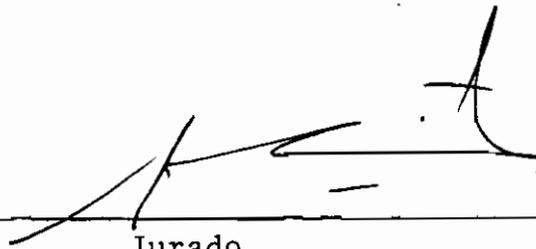
Dr. FABIO GARAVITO NEIRA

El Director del Trabajo de Grado y el Jurado Calificador, no serán responsables de las ideas expuestas por los autores.

NOTA DE ACEPTACION: APROBADO

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Jurado

A handwritten signature in black ink, featuring a large, sweeping stroke on the left and a more complex, multi-stroke structure on the right, positioned above a horizontal line.

Jurado

**DEDICO A:**

Mi esposo

Mis hijos: Italo Alfonso y Miguel Angel

Mis padres y hermanos

**RUBIELA**

Mis padres y hermanos

**ALFONSO**

## AGRADECIMIENTOS:

Los autores manifiestan sus sinceros agradecimientos:

Al doctor LUIS FERNANDO SANCHEZ S., por su acertada orientación en la ejecución de la presente investigación.

Al Instituto Colombiano Agropecuario "ICA", especialmente al programa de Suelos de la Estación Experimental La Libertad, por habernos brindado personal y facilidades técnicas, materiales y locativas para la realización del presente estudio.

Al doctor LUIS ALFREDO LEON por la colaboración prestada en la realización de los análisis de suelos y tejidos, a través del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes "IFDC".

Al doctor BERNARDO CHAVES CORDOBA de la División de Biometría y Estadística del ICA por su colaboración en los análisis estadísticos.

A los doctores FABIO GARAVITO NEIRA, JORGE ORTEGA NAVARRO y JORGE MUÑOZ, profesores de la Sección de Suelos de la Facultad de Agronomía.

A los funcionarios del Programa de Certificación de Semillas del ICA por su colaboración prestada en la determinación de la calidad de molinería.

A la Universidad Tecnológica de los Llanos Orientales, especialmente a la Facultad de Ingeniería Agronómica, por habernos facilitado la oportunidad de adelantar estudios hasta la obtención del título profesional.

## CONTENIDO:

Capítulo	Título	Página
1.	INTRODUCCION	1
2.	REVISION DE LITERATURA	4
2.1	DISPONIBILIDAD DEL FOSFORO PARA LAS PLANTAS EN SUELO ACIDOS OXISOLES	4
2.2	PROCESOS DE FIJACION DEL FOSFORO	7
2.2.1	Fijación del fósforo en suelos ácidos	8
2.2.2	Factores que influyen en la retención del fósforo del suelo	10
2.2.2.1	Tipo de arcilla	10
2.2.2.2	Tiempo de reacción	11
2.2.2.3	Reacción del suelo	12
2.2.2.4	Temperatura	12
2.2.2.5	Materia orgánica	13
2.2.2.6	Estado del fósforo en el suelo	13
2.3	DEFICIENCIAS DE FOSFORO	13
2.4	FUENTES DE FOSFORO EN LA AGRICULTURA	14
2.5	USO DE FUENTES DE FOSFORO EN LA AGRICULTURA	17
2.5.1	Investigaciones realizadas en otros países	20
2.5.2	Investigaciones realizadas en Colombia	22

Capítulo	Título	Página
2.6	ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LAS ROCAS FOSFORICAS	25
2.7	RESPUESTA DEL ARROZ A LA FERTILIZACION FOSFATADA	28
2.8	FERTILIZACION FOSFORICA EN ARROZ RIEGO	32
3.	<b>MATERIALES Y METODOS</b>	37
3.1	LOCALIZACION	37
3.2	SUELOS	37
3.3	TRATAMIENTOS	39
3.4	DISEÑO EXPERIMENTAL	39
3.5	TAMAÑO DE PARCELAS	41
3.6	FERTILIZACION CONSTANTE	41
3.7	PRACTICAS CULTURALES	41
3.8	DETERMINACION DE LA CALIDAD DE MOLINERIA	42
3.9	EVALUACION DE LOS TRATAMIENTOS	43
3.10	ANALISIS ESTADISTICO	43
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b>	44
4.1	EFECTO DE LA APLICACION DE P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO EN EL CULTIVO DE ARROZ RIEGO CICA-4 Y ORYZICA-1	44
4.1.1	Efecto sobre la altura de la planta	44
4.1.2	Efecto sobre el porcentaje de vaneamiento	48

Capítulo	Título	Página
4.1.3	Efecto sobre el rendimiento de grano	52
4.1.4	Efecto sobre el rendimiento e índice de pilada	58
4.1.5	Efecto sobre el contenido de fósforo en el follaje	65
4.1.6	Relación entre el rendimiento y contenido de fósforo en el tejido	69
4.1.7	Efecto sobre el contenido de calcio en el follaje	
4.2	EFFECTO DE LA APLICACION DE P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO	73
4.2.1	Efecto sobre el pH	75
4.2.2	Efecto sobre el aluminio	76
4.2.3	Efecto sobre el calcio en el suelo	77
4.2.4	Efecto sobre el fósforo en el suelo	77
5.	<b>ANALISIS ECONOMICO</b>	84
6.	<b>CONCLUSIONES</b>	87
7.	<b>RESUMEN</b>	91
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	93
	<b>APENDICES</b>	104
	<b>ANEXOS</b>	121

## INDICE DE TABLAS

Tabla No.	Título	Página
1	Fuentes de fósforo más importantes en la agricultura	18
2	Recomendaciones de fósforo para arroz riego en suelos ácidos de los Llanos Orientales	33
3	Resultados de los análisis de caracterización del suelo de clase III donde se realizó el experimento	38
4	Distribución de los tratamientos para cada variedad	40
5	Análisis económico de los tratamientos en Cica-4	85
6	Análisis económico de los tratamientos en Oryzica-1	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura No.	Título	Página
1	Influencia de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre la altura de las plantas de la variedad Cica-4 a los 120 días de edad del cultivo	45
2	Influencia de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre la altura de las plantas de la variedad Oryzica-1 a los 120 días de edad del cultivo	46
3	Influencia de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el porcentaje de vaneamiento de la variedad Cica-4	49
4	Influencia de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el porcentaje de vaneamiento de la variedad Oryzica-1	50

Figura No.	Título	Página
5	Efecto de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el rendimiento de arroz paddy al 14% de humedad de la variedad Cica-4	53
6	Efecto de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el rendimiento de arroz paddy al 14% de humedad de la variedad Oryzica-1	54
7	Efecto de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y como superfosfato sobre el rendimiento de pilada de la variedad Cica-4	59
8	Efecto de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y como superfosfato sobre el rendimiento de pilada de la variedad Oryzica-1	60
9	Influencia de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el índice de pilada de la variedad Cica-4	62

Figura No.	Título	Página
10	Influencia de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el índice de pilada de la variedad Oryzica-1	63
11	Efecto de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre la absorción de P por el arroz, variedad Cica-4 a los 45 días de edad del cultivo	66
12	Efecto de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre la absorción de P por el arroz, variedad Oryzica-1 a los 45 días de edad del cultivo	67
13	Relación entre el contenido de fósforo hallado a los 45 días en los tejidos de las plantas y su rendimiento en los distintos tratamientos utilizados en la variedad Cica-4	70



**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS**  
**SISTEMA DE BIBLIOTECAS**  
**HEMEROTECA**  
**Villavicencio - Meta**

Figura No.	Título	Página
14	Relación entre el contenido de P hallado a los 45 días en los tejidos de las plantas y su rendimiento en los distintos tratamientos utilizados en la variedad Oryzica-1	71
15	Efecto de la aplicación de roca fosfórica sobre la concentración de Ca en el follaje del arroz en dos variedades, Cica-4 y Oryzica-1	74
16	Efecto de la aplicación de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el pH del suelo después de cosechado el arroz	76
17	Efecto de la aplicación de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el contenido de aluminio en el suelo después de cosechado el arroz	78
18	Efecto de la aplicación de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como roca fosfórica y superfosfato triple sobre el contenido de Ca en el suelo después de cosechado el arroz	79

Figura No.	Título	Página
19	Efecto de la aplicación de $P_2O_5$ como roca fosfórica y superfosfato triple sobre la concentración de P en el suelo, extraído por el método de Bray II.	81

## INDICE DEL APENDICE

Apéndice No.	Título	Página
1	Análisis de varianza de los resultados de la altura de las plantas de arroz Cica-4	105
2	Análisis de varianza de los resultados de la altura de las plantas de arroz Oryzica-1	106
3	Análisis de varianza de los resultados de porcentaje de vaneamiento de los granos de arroz riego Cica-4	107
4	Análisis de varianza de los resultados de porcentaje de vaneamiento de los granos de arroz riego Oryzica-1.	108
5	Análisis de varianza de los resultados del rendimiento de grano del arroz Cica-4	109
6	Análisis de varianza de los resultados del rendimiento de grano del arroz Oryzica-1	110

Apéndice No.	Título	Página
7	Análisis de varianza de los resultados del rendimiento de pilada de los granos de arroz Cica-4	111
8	Análisis de varianza de los resultados del rendimiento de pilada de los granos de arroz Oryzica-1	112
9	Análisis de varianza de los resultados del índice de pilada de los granos de arroz Cica-4	113
10	Análisis de varianza de los resultados del índice de pilada de los granos de arroz Oryzica-1	114
11	Análisis de varianza de los resultados del porcentaje de fósforo a los 45 días en los tejidos del arroz Cica-4	115
12	Análisis de varianza de los resultados del porcentaje de fósforo a los 45 días en los tejidos del arroz Oryzica-1	116

Apéndice No.	Título	Página
13	Análisis de varianza de los resultados del porcentaje de calcio a los 45 días en los tejidos del arroz Cica-4	117
14	Análisis de varianza de los resultados del porcentaje de calcio a los 45 días en los tejidos del arroz Oryzica-1	118
15	Análisis de varianza de los resultados de miliequivalentes de calcio, después de cosechado el arroz	119
16	Análisis de varianza de los resultados de partes de millón de fósforo según B-II, después de cosechado el arroz.	120

## INDICE DE ANEXOS

Anexo No.	Título	Página
1	Altura de las plantas a los 120 días	121
2	Porcentaje de vaneamiento	122
3	Rendimiento de arroz paddy	123
4	Rendimiento de pilada	124
5	Indice de pilada	125
6	Fósforo en el tejido foliar a los 45 días de edad del cultivo	126
7	Fósforo en el tejido foliar a los 85 días de edad del cultivo	127
8	Calcio en el tejido foliar a los 45 días de edad del cultivo	128

Anexo No.	Título	Página
9	Calcio en el tejido foliar a los 85 días de edad del cultivo	129
10	pH del suelo después de cosechado	130
11	Aluminio en el suelo después de cosechado	131
12	Calcio en el suelo después de cosechado	132
13	Fósforo en el suelo después de cosechado	133

## INTRODUCCION

A través de muchos estudios realizados por el ICA se ha demostrado que el fósforo (p) es uno de los elementos más limitantes para la producción de arroz riego en los suelos de las terrazas medias y bajas del Piedemonte Llanero, clasificados por aptitud de uso como suelos de Clase III. La explicación de este limitante se atribuye a que estos suelos son altamente imtemperizados y lavados, en los cuales predomina el hierro (Fe) y aluminio (Al), y arcillas del tipo caolinítico. Por tanto, son pobres en fósforo, cationes y algunos elementos menores. Además, por ser ricos en hierro y aluminio tienen alta capacidad de fijación de fosfatos.

En el cultivo de arroz riego se ha encontrado que cuando el suelo es deficiente en fósforo y este elemento se suprime de la formula de fertilización, los rendimientos se pueden afectar, dependiendo de la variedad que se vaya a sembrar hasta en un 43% (48). Esto demuestra la importancia del fósforo para producir arroz riego en suelos de Clase III.

Teniendo en cuenta la magnitud del problema, diferentes entidades de investigación, han efectuado numerosos trabajos con fuentes y dosis de fósforo, tratando de encontrar la mejor solución. Un gran resumen de esos trabajos indican que las mejores fuentes de fósforo para arroz

riego son de mayor a menor así: Fuentes solubles en Citrato (Calfos) - Fuentes Solubles en Agua (Compuestos) > Fuentes Insolubles (Rocas Fosfóricas) y la dosis de  $P_2O_5$  dependiendo del contenido de fósforo en el suelo (32). Desafortunadamente el calfos cuya fórmula era 0-14-0 fue rebajado a una nueva formulación 0-10-0, con lo cual resulta muy onerosa su utilización. Recientemente el ICA y el Instituto para el Desarrollo de los Fertilizantes estudiaron las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas con el fin de buscar mayor eficiencia de estos materiales. Los resultados obtenidos hasta el momento son bastante halagadores, pero su implementación está demorada y por consiguiente, lejos de los agricultores.

Otra alternativa para mejorar la eficiencia de las rocas fosfóricas podría ser aplicarlas en combinación con fuentes solubles, tales como los superfosfatos y los abonos compuestos, de tal manera que el cultivo utilice el fósforo de las fuentes solubles en los primeros estados, mientras se produce la liberación del fósforo procedente de las rocas fosfóricas. Esta alternativa sería práctica y de aplicación inmediata y por estas razones motivan el presente trabajo cuyos objetivos fueron los siguientes:

1. Evaluar la eficiencia de una fuente soluble de fósforo y una de lenta solubilidad, solas y en combinación en un suelo ácido de los Llanos Orientales.

2. Determinar la aprovechabilidad del fósforo en los diferentes tratamientos mediante análisis foliares.
3. Observar el efecto residual de las fuentes usadas y su influencia mediante análisis de suelos después de la cosecha.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 DISPONIBILIDAD DEL FOSFORO PARA LAS PLANTAS EN SUELOS ACIDOS OXISOLES

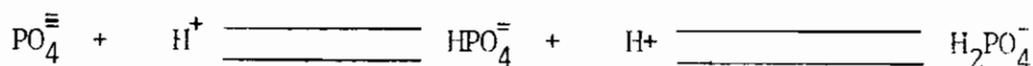
Los Oxisoles constituyen el orden de suelos más abundantes en las tierras bajas de los trópicos, cubriendo alrededor del 22.5% del área; principalmente en Amazonas y en el Cerrado en América del Sur y África Central. Según el mapa mundial de suelos de la FAO-UNESCO, en América del Sur los Oxisoles cubren el 45% del área total, seguido por los Ultisoles con 19%, Alfisoles 12%, Entisoles e Inceptisoles con 8%, Molisoles con 4%, Aridisoles con 2% y el resto con menos de 1% (46).

En un estudio donde se compararon cuatro tipos de suelos tropicales, se encontró, que, para obtener una concentración de 0.1 ppm de P en la solución necesaria para suplir la demanda de P en un cultivo de batatas, era necesario agregar aproximadamente 300 ppm de P en suelos Oxisoles y Ultisoles, mientras que en suelos montmorilloníticos el P para suplir esta demanda era poco, esto demuestra que los suelos montmorilloníticos fijan poco P, mientras que en Oxisoles y Ultisoles la capacidad de fijación es alta. Las familias más fijadoras de P son las oxídicas y alofánicas, seguida por los suelos con mezclas de caolinita y óxidos; luego siguen las familias caoliníticas y montmorilloníticas (46, 57).

Se ha comprobado en muchas observaciones que el pH óptimo para la solubilización del P se encuentra en el intervalo de 6.0 a 7.5 (55, 56). Cuando un fosfato soluble se agrega a un suelo mineral, este reacciona con los compuestos de Fe y Al formando compuestos de P poco o nada solubles (27).

Cuando se coloca un gránulo de superfosfato en un suelo ácido, el agua se mueve inicialmente al interior del gránulo y disuelve parte del fosfato monocálcico en fosfato dicálcico y ácido fosfórico libre; la solución proveniente de estos gránulos tiene un pH de 1.0 a 1.5 y disuelve compuestos de Al, Fe, K y Mg de las partículas del suelo. El Fe y el Al disueltos reaccionan con el P para formar compuestos relativamente insolubles (46, 27, 13).

Los iones que contienen P en la solución son: El monovalente  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , el divalente  $\text{HPO}_4^{2-}$  y el trivalente  $\text{PO}_4^{3-}$ , la proporción en que se encuentran estos iones es función del pH. Las altas o bajas concentraciones de  $\text{H}^+$  son las responsables de la presencia de uno u otro ión en la solución del suelo de acuerdo con la siguiente ecuación (56, 37, 33):



Está confirmado plenamente que las plantas absorben el P en forma de iones monofosfato y difosfato  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$  respectivamente (33).

La forma más absorbida por la planta es la del ión  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  pero a valores bajos de pH aumenta la solubilidad de los óxidos hidratados e hidróxidos de Fe y Al, alto contenido de Al intercambiable y soluble que precipita los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  de la solución (33, 56).

Muchos investigadores indican que la disponibilidad del P aumenta después de la inundación. Ensayos llevados a cabo en suelos ácidos arroceros muestran que el P que se encuentra retenido por las partículas del suelo es más liberado bajo condiciones reducidas que oxidadas. Las adiciones de altas cantidades de P muestran una mayor absorción en suelos reducidos que oxidados (28, 37). Bajo condiciones reducidas la disponibilidad del P puede aumentar hasta 100 veces (15).

Al igual que el contenido de humedad, la textura del suelo influye sobre la cantidad de P disponible para la planta. En suelos franco-arcillosos una cantidad de 0.07 ppm de P en la solución del suelo fué adecuada para el desarrollo normal de un cultivo de sorgo; en cambio en suelos arenosos se necesitaron concentraciones hasta de 0.2 ppm de P (27, 46).

Los suelos arenosos son incapaces de retener el P tanto en condiciones reducidas como oxidadas (28). De ahí que la fase sólida sea incapaz de restituir el P demandado diariamente por la planta y se requiere mayores cantidades de fosfato en la solución que puede ser su-

plido aunque sea temporalmente con pequeñas cantidades de fertilizantes fosfatos, en tanto que los suelos arcillosos por su mayor área de exposición requieren menores cantidades de P en la solución pero grandes cantidades de fosfatos agregados como fertilizantes para saturar la capacidad de adsorción de fosfato en estos suelos (46, 37). De tal modo, dependiendo de la textura, los suelos deben ser tratados con fosfatos para obtener óptimos niveles en la solución. La cantidad requerida de fertilizantes fosfóricos dependerá del nivel de P en el suelo y de la capacidad de retención o adsorción de estos suelos (37).

## 2.2 PROCESO DE FIJACION DEL FOSFORO

El factor decisivo para el aprovechamiento de los fosfatos en el suelo, es sin duda el valor del pH ya que de él depende la existencia de diferentes fosfatos (55). La reducción de la solubilidad de los fosfatos añadidos o presentes en los suelos se conoce como "fijación o adsorción". La "adsorción" se refiere a la porción de P que es retenida debilmente por el suelo y que puede ser extraída generalmente con ácidos diluídos; este P se considera que es ampliamente disponible para las plantas. El P "fijado" se refiere a aquella porción que no es extraíble con ácidos diluídos y en general no se considera facilmente utilizable por las plantas (57, 37).

Las formas inestables de fosfatos se encuentran principalmente adsorbidas a la superficie de minerales de arcilla, óxidos hidratados, car-

bonatos, apatitas y fosfatos de Fe y Al; esta fracción se encuentra en equilibrio con el fosfato de la solución. La relación entre la cantidad de fosfato adsorbido y la concentración de fosfato de la solución esta influenciada por un número de factores tales como pH, materia orgánica y temperatura del suelo. Una escala de pH entre 6 y 7 es óptima para el fosfato en solución. Por esta razón los suelos tratados regularmente son generalmente más ricos en fosfatos solubles que los no tratados (37).

Con el tiempo los iones de fosfato adsorbidos se transforman en estructuras cristalinas volviéndose menos aptos para ser restituídas por otros iones de fosfato, de esta manera parte del fosfato inestable es continuamente vertido al estado inmóvil y transferido a la fracción de P estable (57). Cuando el suelo sufre períodos de inundación el P de la fracción estable puede ser liberado (37).

### 2.2.1 Fijación del fósforo en suelos ácidos

El término "fijación" no tiene un significado muy claro en la definición de los procesos de transformación de los fosfatos (46). Algunos autores prefieren considerar la fijación como el proceso que altera la disponibilidad de los compuestos fosfatados conforme lo indica el crecimiento de las plantas. El proceso consiste en la transformación de fosfatos solubles en fosfatos menos solubles de Ca, Al o Fe. Puede asegurarse que la fijación del P en los suelos ácidos es causada prin-

principalmente por la formación de compuestos férricos y aluminicos que tienen la fórmula general  $M (H_2O)_3 (OH)_2H_2PO_4$ , donde M es Fe o Al. Los minerales del suelos conteniendo Fe y Al, incluyendo las arcillas, son las fuentes de los iones de Fe y Al. La formación de estos compuestos es gobernada por los principios del producto de solubilidad, el efecto normal del ión y el efecto de la sal. Bajo ciertas condiciones los compuestos forman un precipitado, mientras que bajo otras condiciones son adsorbidos a las superficies de las arcillas del suelo y de los minerales. Prescindiendo de si son adsorbidos o precipitados, los compuestos formados y el mecanismo de reacción parecen ser los mismos (57).

Sobre la fijación de fosfatos en montmorillonita, illita, caolinita, gibsitita y goetitita, experimentos llevados a cabo señalan que existe dos estados de fijación del P; uno con un porcentaje rápido de fijación y otro con un porcentaje más lento, procedentes ambos de una misma reacción química; la primera resulta de la reacción de los fosfatos con la disponibilidad de Fe y Al y la segunda de la reacción de fosfatos con Fe y Al que se va liberando de la descomposición de los respectivos minerales (21). Lo que indica que en suelos con alto contenido de materiales que contienen Fe y Al, siempre habrá fijación por estos elementos.

Bajo las condiciones existentes en el suelo, los iones fosfato que son liberados a través de la disolución de fertilizantes fosfatados no son estables, no permanecen en su forma original, sino que son objeto de

transformaciones de adsorción y precipitación (11). Esta fijación de fosfatos está determinada por la mineralogía de los suelos. En suelos ácidos minerales la fijación de fosfatos está determinada por el contenido de óxidos hidratados de Fe y Al y por las cantidades de Al intercambiable. La superficie reactiva amorfa de hidróxidos de Al y óxidos de Fe dominan los procesos de fijación de P mejor que el  $\text{Al}^{+++}$  y  $\text{Fe}^{+++}$  en solución (24).

Los suelos con temperaturas altas y precipitaciones abundantes y con alto contenido de arcilla caolinita, pueden fijar cantidades altas de P; la razón es que estos suelos poseen mayores cantidades de grupos  $\text{OH}^-$  en su superficie y por un mecanismo de intercambio aniónico, los iones  $\text{OH}^-$  son reemplazados por iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (34).

## 2.2.2 Factores que influyen en la retención del fósforo del suelo

Muchas son las causas que influyen en la retención de fosfatos en los suelos; entre estas se encuentran: tipo de arcilla, tiempo de reacción, temperatura, materia orgánica y estado del P en el suelo y los contenidos de Fe y Al (34, 57, 40).

### 2.2.2.1 Tipo de arcilla

El P del suelo y el agregado en los fertilizantes puede ser retenido o fijado con mayor extensión por los minerales de arcilla tipo 1:1 que

los de relación 2:1, debido a que los primeros poseen mayores cantidades de grupos hidróxidos en su superficie. Los suelos ricos en arcillas caoliníticas que se hallan en zonas de precipitaciones y temperaturas altas pueden retener o fijar cantidades mayores de P añadido, que aquellos suelos de áreas de precipitación escasa, con arcillas de tipo 2:1. La presencia de hidróxidos de Fe y Al y arcillas amorfas, como la alofana, contribuyen también a la retención de P añadido. Los suelos que contienen grandes cantidades de arcilla pueden fijar más P que aquellos que contienen poca cantidad debido a la mayor superficie expuesta (57, 34).

#### 2.2.2.2 Tiempo de reacción

El tiempo de reacción entre el suelo y los fosfatos añadidos es otro de los factores que influyen en la fijación del P. Cuanto mayor sea el tiempo de contacto entre el suelo y el P, mayor será la fijación de éste. Una consecuencia práctica importante es el tiempo tras la aplicación, durante el cual la planta es capaz de utilizar el P del fertilizante añadido. En algunos suelos con una elevada capacidad de fijación este período puede ser corto, mientras que en otros suelos el período de utilización puede durar meses o incluso años. Este período es de importancia práctica porque determina si el fertilizante fosforado es aplicado una sola vez o en aplicaciones pequeñas más frecuentes al igual que la colocación de este (57).

### 2.2.2.3 Reacción del suelo

Uno de los principales factores que afecta la utilización del P por las plantas es el pH del suelo. La mayor aprovechabilidad del P se obtiene en los límites de pH 5.5 a 7.0; a pH inferior de 5.5 la fijación del P resulta principalmente por la reacción con el Fe, el Al y sus hidróxidos. Cuando el pH aumenta de 7.0 los iones de Ca y Mg, así como la presencia de los carbonatos de estos metales en el suelo, causan la precipitación del P añadido disminuyendo su aprovechabilidad (57).

Las formas disponibles de P,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  y  $\text{PO}_4^{3-}$  presentes en la solución del suelo varía con el pH de la solución. En soluciones fuertemente ácidas solamente están presentes los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ; si el pH aumenta, predominan los iones  $\text{HPO}_4^{2-}$  y luego los iones  $\text{PO}_4^{3-}$ ; siendo las formas más asimilables  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$  (57, 34).

### 2.2.2.4 Temperatura

El efecto de este factor sobre la fijación de P no está bien definido, aunque se sabe que la velocidad de las reacciones químicas aumentan generalmente con un aumento en la temperatura. Sin embargo puede señalarse que los suelos de clima cálido son generalmente muchos más fijadores de P que los suelos de las regiones templadas. Es de anotar que los climas cálidos dan origen a terrenos con altos contenidos de hidróxidos de Fe y Al.

#### 2.2.2.5 Materia orgánica

Estudios realizados sobre suelos de América Central destacan la importancia de la materia orgánica en la fijación de P. La presencia de cargas electropositivas presentes en la materia orgánica lleva a la adsorción los iones  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  haciendo del P un factor limitante en la producción agrícola (12). Sin embargo ciertos investigadores han encontrado que el P que es liberado por la materia orgánica es mayor que el P fijado por los aniones orgánicos provenientes de la descomposición de la materia orgánica (57, 1).

#### 2.2.2.6 Estado del fósforo en el suelo

Se ha en contrado que el grado de saturación del P en el suelo o la cantidad de este elemento fijado previamente por el suelo, es de considerable importancia en la fijación del fertilizante añadido. En ensayos realizados se ha comprobado que hay una relación pronunciada entre la fijación del fertilizante fosforado añadido y el contenido de P del suelo. Esto indica que suelos que han sido fosfatados durante varios años es posible que fijen menos P que suelos donde no se han aplicado estos fertilizantes (57).

### 2.3 DEFICIENCIAS DE FOSFORO

Los síntomas de deficiencias de P aparecen generalmente en las plantas

más viejas las cuales son a menudo de un color verde oscuro, los troncos de plantas perennes presentan un color rojizo, originado por un aumento en la formación de antocianinas; las yemas laterales principalmente en frutales permanecen latentes, las hojas presentan coloración púrpura o rojiza y se caen prematuramente, los primordios florales presentan escaso desarrollo y su número es reducido, retardo o supresión de la floración, fructificación escasa, maduración tardía, semillas pequeñas y deformes, falta de lustre en el follaje; en gramíneas se presenta poco o ningún macollamiento con un estancamiento en su desarrollo (37, 46).

El contenido de P en plantas con deficiencia de P es generalmente muy bajo. En cereales este contenido puede estar entre 0.05 y 0.1%, mientras que en un cultivo bien suplido en P puede estar entre 0.3 y 0.4%.

Experimentos llevados a cabo por Loneragan y Asher 1967 citados por Mengel and Kirby (37), mostraron que niveles extremadamente altos de fosfatos en el suelo pueden disminuir el crecimiento, tales efectos pueden depender del retardo en la obtención y transporte de algunos micronutrientes incluyendo Zn, Fe y Cu provocado posiblemente por el P.

#### 2.4 FUENTES DE FOSFORO EN LA AGRICULTURA

Los fertilizantes fosfatados que se usan hoy en día difieren mucho de la composición química y en la solubilidad (57, 51).

Una de las formas para determinar la solubilidad de los fosfatos es mediante el contacto del agua con el fertilizante y aunque no es el mejor criterio de la disponibilidad de este elemento para la planta, es un buen punto de referencia. Varios son los métodos químicos desarrollados para estimar el P soluble, utilizable y total de los fertilizantes a base de fosfatos. Sin embargo el más utilizado es el de la solución de citrato amónico 1N neutro (57).

Aunque en otros países los trabajos adelantados sobre el uso de diferentes fuentes de P son muy abundantes, en Colombia estos trabajos son escasos; sin embargo en los últimos años se han adelantado algunos estudios con el objeto de obtener algunos resultados que puedan arrojar nuevas pautas en la fertilización fosfatada, principalmente en aquellos suelos caracterizados por alta retención de fosfatos como los Ultisoles y Oxisoles (32).

Aunque la mayoría de los países tropicales productores de arroz, han encaminado sus trabajos experimentales a la fertilización nitrogenada, en algunas regiones como la India, Indonesia, Tailandia y otros, los mejores resultados en lo referente a fertilizaciones en arroz son obtenidos con aplicaciones de fosfatos con o sin nitrógeno (10).

Las primeras fuentes de P en la fabricación de fertilizantes fosfatados fueron huesos y guano, pero debido a la creciente demanda de estos fertilizantes, actualmente la fuente más importante para la pro-

ducción industrial de fertilizantes fosfatados es el material fosfato, que se halla en grandes cantidades en diversas áreas del mundo. Los fertilizantes fosfatados se clasifican según el tratamiento a que hayan sido sometidas las materias primas que los contienen. Existen los fertilizantes tratados con ácidos y los obtenidos mediante un proceso térmico (57).

Los fertilizantes fosfóricos solubles en agua, así como las escorias básicas y las rocas fosfóricas son apropiadas para suplir las deficiencias de P en los cultivos, pero la eficiencia de estas fuentes está influenciada en gran proporción por factores como la reacción del suelo, nivel de P en el suelo, proporción, métodos y tiempo de aplicación (10, 37).

El superfosfato siempre es producido por el tratamiento de la roca fosfórica con ácido sulfúrico. El proceso produce una mezcla de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  y yeso ( $\text{CaSO}_4$ ). Cuando se utiliza el ácido fosfórico a cambio de ácido sulfúrico el producto obtenido es el superfosfato triple  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Los fosfatos de amonio se producen haciendo reaccionar amoníaco con ácido fosfórico (57, 37).

Las escorias básicas  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaO} + \text{CaOSiO}_2$  son un subproducto de la industria del acero. El P obtenido mediante este proceso está ligado al óxido de Ca y silicatos durante la fusión; contiene además Mg, Fe, Zn y Cu (37).

Las rocas fosfóricas se encuentran en forma natural generalmente como hidroxiapatita  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$  pudiendo ocurrir variaciones carbonatadas y fluoradas con contenidos muy variables de P (31, 57).

Muchos trabajos han demostrado que en suelos ácidos las rocas fosfóricas pueden utilizarse como fertilizantes (51).

Las fuentes de P más importantes son (2); tabla 1.

## 2.5 USO DE FUENTES DE FOSFORO EN LA AGRICULTURA

En Colombia los fertilizantes fosfóricos más empleados son: el superfosfato triple (SFT), el superfosfato simple (SFS), el fosfato diamónico (DAP), el fosfato monoamónico (MAP), las escorias thomas (ET) y la roca fosfórica (RF) (16). En muchos otros países la harina de huesos, fosfatos de magnesio fundidos y los fosfatos de Renania son usados como fuentes de P (10).

El superfosfato triple a partir de 1965 representa aproximadamente entre el 15 y el 20% del total de fertilizantes fosfatados utilizados en el mundo (16).

En Colombia el uso del superfosfato en los últimos años ha decaído y solamente llega al 15% del total de fertilizantes fosfatados aplicados. Esto es debido a la utilización de fuentes más eficientes como

TABLA 1. Fuentes de fósforo más importantes

Nombre	Composición química	Solubilidad	Contenido P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %
Superfosfato Simple	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + CaSO <sub>4</sub>	Soluble en agua	18 - 22
Superfosfato Triple	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Soluble en agua	46 - 47
Fosfato Monoamónico	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Soluble en agua	48 - 50
Fosfato Diamónico	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Soluble en agua	54
Escorias Básicas	Ca <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>8</sub> CaO + CaO·SiO <sub>2</sub>	Soluble en ácido cítrico	10 - 22
Fosfato de Renania	CaNaPO <sub>4</sub> ·Ca <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Soluble en Citrato de Amonio	25 - 29
Rocas Fosfóricas	Apatitas		20 - 29
Fosfato de Mg Fundido	Ca - Mg fosfato		20

los fosfatos de amonio en suelos de reacción neutra y por las escorias Thomas y rocas fosfóricas en suelos ácidos (16, 31).

Los fosfatos de amonio que son el producto de la reacción del ácido fosfórico, amoniaco y roca fosfórica son las fuentes más utilizadas actualmente en el mundo debido a su alta solubilidad en agua (90 a 100%) y al aporte del nitrógeno en forma amoniacal (16).

En Colombia su utilización hasta 1981 era precaria, pero se ha comenzado a utilizar para fertilizaciones fosfatadas en arroz y otros cultivos (16).

A pesar de los logros alcanzados con la roca fosfórica en la fertilización de cultivos semestrales, el uso de la roca fosfórica no ha tomado en Colombia y en otros países un cauce recto para ser utilizada como fuente de P que contrarreste el alto costo de fertilizantes altamente solubles que pueden resultar en algunas ocasiones ineficientes en suelos de reacción ácida. Posiblemente esto es debido a que las rocas fosfóricas de baja reactividad son incapaces de suministrar el P demandado en las primeras etapas de desarrollo de las plantas. Debido a esto, es necesario adelantar estudios que conduzcan a un mejoramiento de la disponibilidad del P, para que las rocas fosfóricas puedan ser utilizadas sin temor como fuentes de P en cultivos semestrales.

### 2.5.1 Investigaciones realizadas en otros países

Estudios adelantados en Japón, señalan que en suelos degradados bajos en P, las mejores fuentes son los fosfatos de Mg fundidos y las escorias básicas (10).

Pruebas en Thailandia, especialmente en áreas deficientes en P, mostraron resultados mejores con aplicaciones de superfosfato simple que con las rocas fosfóricas. En Jowa la roca fosfórica fué muy satisfactoria pero menos eficiente que el superfosfato. Sin embargo en suelos relativamente ácidos el efecto de la roca fosfórica fué superior al del superfosfato cuando se mezcló con materia orgánica (10).

Resultados de muchos experimentos sobre fuentes de P han mostrado que el superfosfato simple es una de las fuentes más eficientes, pero sus efectos residuales son más bajos que la roca fosfórica (26). Las plantas responden bien a las aplicaciones de pequeñas dosis de superfosfato mientras que las respuestas a las aplicaciones de rocas fosfóricas se aprecian cuando estas son aplicadas en grandes cantidades. Muchos investigadores recomiendan usar la mezcla del superfosfato y la roca fosfórica en partes iguales aprovechando el bajo precio de la roca (10).

Desde el punto de vista de los rendimientos el superfosfato es una buena fuente de P en todo tipo de suelos, excepto en suelos ácidos en

donde las rocas fosfóricas, escorias básicas y harina de huesos son mucho mejores que el superfosfato (10, 7).

Pruebas realizadas en Cerrado Brasil sobre suelos deficientes en P y con un pH de 4.3 sin encalar, mostraron resultados iguales de disponibilidad cuando se comparó el superfosfato, la escoria básica y la roca fosfórica de Carolina; cuando los suelos fueron encalados el pH subió a 5.4, aquí el P de la roca fosfórica de Carolina fué menos disponible que el superfosfato y el termofosfato. La roca fosfórica de Araxá fué virtualmente indisponible durante tres meses después de aplicada. Sin embargo dentro de los tres meses siguientes se alcanzó el máximo de producción de forraje en los suelos donde no había sido encalado y a los 25 meses la máxima producción se alcanzó en los suelos encalados y sin encalar. Demostrando que la solubilidad y efectividad de las rocas fosfóricas está estrechamente ligada a el pH del suelo (59).

En el Norte de Australia la roca fosfórica aumentó significativamente la producción de arroz en suelos ácidos especialmente inundados cuando se aplicaron dosis cuatro veces mayores que las de superfosfato en el primer año, luego no fueron necesarias (10).

En Inglaterra y otros países numerosos experimentos han demostrado la bondad de las rocas fosfóricas dando resultados tan satisfactorios como los arrojados por fuentes más solubles cuando se aplican en suelos ácidos, siendo más efectiva en suelos arenosos donde los fosfato alta-

mente solubles se lixivian o precipitan facilmente (37).

En Ceylan se hizo un estudio comparativo de diferentes fuentes de P y no se encontraron diferencias significativas en la producción de arroz con el uso de roca fosfórica, superfosfato triple, hiperfosfato, escorias básicas, harina de huesos y superfosfato simple (10).

#### 2.5.2 Investigaciones realizadas en Colombia

En Colombia el uso de fertilizantes fosfatados en los últimos años ha tomado gran auge, lo que ha obligado a que se realicen numerosas investigaciones que conlleven a una mejor utilización de las fuentes empleadas.

En los suelos de sabana de los Llanos Orientales caracterizados por su pH ácido y alto contenido de Al intercambiable, el uso de los fosfatos de amonio es limitado debido a su alta solubilidad y capacidad para reaccionar con los compuestos de Fe y Al formando compuestos insolubles (54). En estos suelos los fertilizantes de alta solubilidad se comportan tan eficientemente como los de mediana y lenta solubilidad (16).

En ensayos realizados en cultivos de pasto, arroz y maíz, utilizando como fuentes superfosfatos, escorias thomas y rocas fosfóricas, se encontró que en suelos ácidos la producción no mostraba una variación significativa indicando así una eficiencia igual entre estas tres fuen-

tes (32).

Estudios realizados en Popayán, Santa Rosa de Cabal, Estrecho del Patía y Timba en el Valle del Cauca, comparando el superfosfato triple, escorias Thomas y las rocas fosfóricas de Turmeque y Huila (Colombia) y Florida (Estados Unidos), señalaron que en todos los sitios, la mejor fuente de P fué el superfosfato seguido de la escoria thomas y las rocas fosfóricas. Con las aplicaciones de las escorias thomas y las rocas fosfóricas se notó un ligero aumento en el contenido de Ca intercambiable del suelo y una tendencia a disminuir el Al (38).

En un cultivo de maní se compararon superfosfato, escorias thomas y roca fosfórica de pesca con distintas dosis de  $P_2O_5$ , obteniéndose los mejores resultados con el superfosfato triple en banda y las escorias thomas al voleo durante la primera cosecha. En la segunda siembra las tres fuentes aplicadas al voleo fueron estadísticamente iguales lo que demuestra la lenta liberación del P por la roca y por consiguiente su larga residualidad (50).

De todas las fuentes de P estudiadas en distintos tipos de suelos y cultivos las más eficientes son las escorias thomas, no solo porque casi siempre producen mejores o iguales resultados al superfosfato sino por el bajo costo y buen efecto residual (50, 32).

Ensayos llevados a cabo por el CIAT en suelos deficientes en P mostra-

ron a las rocas fosfóricas como fuentes promisorias de P. En arroz la roca fosfórica del Huila dió resultados tan buenos como el superfosfato triple en la primera cosecha. La roca fosfórica de Sardinata y Pesca dieron rendimientos ligeramente superiores al testigo. En la segunda cosecha todas las fuentes de P produjeron rendimientos similares a los producidos por el superfosfato triple empleando las mismas dosis de  $P_2O_5$  (31).

Experimentos realizados en Carimagua, utilizando como planta indicadora Brachiaria decumbens, para comparar el efecto de seis rocas fosfóricas con el superfosfato triple, demostraron que los rendimientos de forraje con el superfosfato triple fueron superiores a los de la roca fosfórica solo durante la primera cosecha; después, todas las rocas fosfóricas aumentaron su eficiencia y se aproximaron o sobrepasaron los rendimientos del superfosfato durante el tercero y cuarto corte (6).

Los trabajos llevados a cabo en arroz sobre suelos ácidos en los Llanos Orientales, señalan que es posible utilizar la roca fosfórica directamente como fertilizante especialmente en suelos ácidos que tengan más de dos o tres cosechas, siendo necesario complementarlos con fuentes más solubles en suelos que van a ser dedicados al cultivo por primera vez (47, 7).

La evaluación del efecto de diferentes rocas fosfóricas en suelos inundados indican que la disponibilidad del P para las plantas varía según

las fuentes del material y del suelo (8, 31).

En muchos países tropicales el uso de la roca fosfórica de diferente origen geográfico, composición y solubilidad en citrato se sigue intensificando, aunque los resultados han demostrado que las rocas fosfóricas más efectivas no igualan al superfosfato en términos de respuesta en rendimientos cuando se aplican solas (35). Pero debido al elevado costo de estos fertilizantes altamente solubles como superfosfato simple, superfosfato triple, fosfato de amonio, etc. cada día su uso se ve más limitado, de ahí que en Colombia se estén ensayando estas nuevas fuentes de P en combinación con otros productos como estiércol, materia orgánica y el mismo superfosfato (38, 20).

Ensayos realizados sobre el efecto residual de las escorias básicas, rocas fosfóricas y superfosfatos señalan que después de un tiempo prudencial de aplicación de estos materiales, el porcentaje de recubrimiento de la superficie del suelo por P fué de 7, 40 y 64% del total aplicado como superfosfato, escoria básica y roca fosfórica respectivamente (36, 22). Estas mismas respuestas fueron encontradas en suelos ácidos de los Llanos Orientales (50).

## 2.6 ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LAS ROCAS FOSFORICAS.

Experimentos llevados a cabo en el Centro de Investigaciones de Cerra-

do Brasil, con el fin de mejorar la eficiencia de las rocas fosfóricas en soya indicaron que estos materiales son incapaces de suministrar el P requerido en la primera cosecha, siendo necesario efectuar aplicaciones adicionales de superfosfato en bandas. Se observó que la disponibilidad del P en los superfosfatos esparcidos decrecen con el tiempo, mientras que la residualidad de las rocas fosfóricas son estables. Las mejores producciones de este ensayo se obtuvieron con las aplicaciones de superfosfato, pero las aplicaciones de roca fosfórica en combinación con superfosfato dieron producciones altas y reducción en los costos del fertilizante en un 31% (52).

Estudios adelantados en Europa señalan que las mezclas de roca fosfórica con estiércol dan mejores resultados que cuando se emplea superfosfato como fuente de P (20), lo cual se atribuye al medio ácido formado por la descomposición del estiércol que actúa sobre la roca fosfórica.

En cultivos de centeno y remolacha azucarera, se empleó compost de estiércol con dos meses de fermentación en mezcla con roca fosfórica, estiércol sin fermentar con roca fosfórica, superfosfato y roca fosfórica sola obteniéndose los mejores resultados con el compost, seguido de la mezcla estiércol sin fermentar con fosforita. Los resultados estuvieron mejores o iguales a las aplicaciones del superfosfato. La sola fosforita no causó ningún efecto (20).

En Colombia se han realizado ensayos con roca fosfórica en mezcla con estiércol demostrando también que la solubilidad de las rocas mejora lo suficiente para suministrar el P necesario para producir buenas cosechas en calidad y cantidad cuando se mezclan con sustancias acidificantes (20).

En Australia se ha experimentado la mezcla de roca fosfórica, azufre y thiobacilos con el fin de que estas bacterias del suelo que se alimentan de azufre elemental dejen como producto de desecho ácido sulfúrico que actúe sobre las rocas; a pesar de que la hipótesis es tan acertada, los resultados no han tenido el éxito esperado. En algunos casos las mezclas resultan agrónomicamente mejor que las rocas y en otras lo contrario. En Colombia las mezclas de roca fosfórica y azufre se han probado en algunos ensayos con resultados contradictorios (29).

Se encontró que acidulaciones del 20%, 30% y 40% con  $H_2SO_4$  la efectividad agronómica de la roca fosfórica de Tongo aumentó del 3% a 33%, 47% y 52% respectivamente, siendo tan efectiva como el superfosfato. Resultados similares fueron obtenidos con la roca fosfórica de Pesca (19).

En muchos de los ensayos realizados, llama la atención el hecho de que la roca fosfórica con cantidades tan pequeñas como 20 kg/ha de  $P_2O_5$  como superfosfato triple aplicado en bandas, incrementan la producción significativamente, dando pie a un campo muy productivo de investiga-

ción conjuntamente con el de formas y tiempo de aplicación de fuentes de P solo o en mezclas en diferentes proporciones (32).

De acuerdo con los ensayos realizados, todo parece indicar que la alternativa a los problemas de la alta fijación de P en los Oxisoles y Ultisoles y al elevado costo de fertilizantes altamente solubles, es la utilización de roca fosfórica en combinación con sustancias acidificantes como ácido sulfúrico, azufre, superfosfato triple y ácido fosfórico que mejoran la disponibilidad del P de las rocas (6, 3).

El tiempo de disolución de las rocas fosfóricas varía directamente con los incrementos del pH (2) y la disolución de los fosfatos dicálcicos dihidratados varía inversamente a la concentración de óxidos de Fe (53), lo que hace pensar que el uso de la roca fosfórica con superfosfato triple vendría a ser una buena combinación para la fertilización fosfatada en los suelos del Llano.

## 2.7 RESPUESTA DEL ARROZ A LA FERTILIZACION FOSFATADA

Después del agua y el nitrógeno, el P es el elemento nutritivo más limitante en la producción de las cosechas en los suelos tropicales. Las deficiencias de P son muy corrientes en Oxisoles y Ultisoles que tienen una alta capacidad para fijarlo (46).

El arroz responde a las aplicaciones de P con menos frecuencia y menos

intensidad que otros cereales y que otros nutrimentos como el nitrógeno, debido a causas como el aumento de la disponibilidad de P en la solución del suelo con la inundación; por tal motivo muy a menudo se hacen innecesarias las aplicaciones de P para arroz de riego, mientras que en cultivos aeróbicos, incluyendo el arroz, en el mismo suelo, requieren que se agregue P para obtener rendimientos altos. No obstante, el aumento en la disponibilidad del P bajo condiciones de inundación es dependiente del suelo, por tanto la inundación no elimina la deficiencia de P en suelos como los Oxisoles, Ultisoles, Andepts y Sulfacuepts. La respuesta al P es común en estos suelos aún bajo condiciones de inundación (46).

Ensayos realizados en arroz con fertilizantes fosfóricos han indicado que el fenómeno de la fijación de los fosfatos afecta acentuadamente su eficiencia en la mayoría de los suelos agrícolas; esto está demostrado por el hecho de que las plantas requieren de tres a cinco veces más nitrógeno que P, y sin embargo los requerimientos de P son con frecuencia dos o tres veces mayores que los de nitrógeno (17).

Muchos estudios llevados a cabo en los suelos de los Llanos Orientales y en la Costa Norte señalan que el arroz responde a aplicaciones de  $P_2O_5$  como superfosfato o escorias thomas (23).

En experimentos efectuados sobre Oxisoles de Carimagua Colombia, se han presentado respuestas a aplicaciones de 400 kg/ha de  $P_2O_5$  como su-

perfosfato, con aplicaciones de 1.000 kg/ha de  $P_2O_5$ , las plantas se ven afectadas en su fisiología, de esta forma la respuesta a las altas aplicaciones de P se ve limitada.

En estos suelos los testigos sin P no produjeron grano, las aplicaciones de 200 y 400 kg/ha de  $P_2O_5$  como superfosfato triple y escorias thomas aumentaron el contenido de P en la planta de 0.10 a 0.13%. Aplicaciones más altas no continuaron aumentando el contenido de P en la planta, aunque con estas concentraciones se consideran las plantas de arroz deficientes en P. Los rendimientos con relación al testigo fueron altamente significativos. Así mismo se encontró que las aplicaciones de 400 kg/ha de  $P_2O_5$  como superfosfato triple en arroz seco aumentó el contenido de P de 0.14% en el testigo a 0.34% en los tratamientos con P a un mes de edad; a los 3 meses los niveles de P en el tejido bajaron hasta 0.08 y 0.12% respectivamente. Es posible que los suelos hayan fijado tanto P que a los tres meses se presenten deficiencias, aún con altas dosis de P aplicadas a la siembra cuando se trata de fosfatos altamente solubles (23).

Trabajos realizados con distintos cultivos en suelos ácidos, clasificados como Oxisoles, muestran que sin aplicaciones de cal y P no es posible obtener rendimientos y que con aplicaciones de altas dosis de P es posible obtener rendimientos aceptables aún sin aplicar cal. Esto da la idea de la importancia del P para la obtención de buenos rendimientos y el alto grado de fijación de estos suelos (4). En general, en Colombia y especialmente en los Llanos Orientales donde

predominan los Oxisoles e Inceptisoles de carácter óxico es necesario adicionar cantidades considerables de P para obtener rendimientos económicamente aceptables de cultivos como arroz, caupi y maíz (5).

Chapman y Keay (1971), señalan que si el suministro de P en los cereales es deficiente durante los primeros días de desarrollo de la planta, se presenta una reducción en el número de espigas por área, resultando al final una depresión en la producción de la cosecha (37).

Lockard (1959), encontró una relación directa entre la toma de nitrógeno por la planta de arroz y la disponibilidad del P en el suelo, señala que cuando el P es limitado la planta no toma el nitrógeno, por tal motivo se presenta no solo una deficiencia de P sino también de nitrógeno (10).

En otras investigaciones realizadas por diversos investigadores entre ellos FujiWasa (14), encontraron, que un suministro de P bajo en las plantas de arroz suprime la toma temprana de nitrógeno y previene la síntesis de proteínas provenientes de materiales nitrogenados. En tanto que un suministro adecuado de P en este tiempo promueve el crecimiento temprano de las plantas debido al aumento en el contenido de ácidos nucleicos y fosfolípidos.

## 2.8 FERTILIZACION FOSFORICA EN ARROZ RIEGO

Debido a que los suelos dedicados al cultivo del arroz no presentan idéntico nivel de fertilidad, razón por la cual el cultivo responde en forma diferente a las aplicaciones de fertilizantes, la fertilización fosfatada se debe hacer en base al contenido de P disponible del suelo. Para esto se ha establecido una correlación entre el P disponible del suelo y los resultados obtenidos en pruebas regionales, estableciéndose para ello un nivel crítico de P, tal como se presenta en la tabla 2 (49).

En Colombia casi todos los ensayos de fertilización, indican que el superfosfato triple es una de las mejores fuentes de P, excepto en algunos suelos ácidos en donde las rocas fosfóricas y las escorias Thomas dan mejores resultados (23).

Luego de una serie de pruebas realizadas en el Centro Regional de investigaciones La Libertad del ICA, se reporta que es posible utilizar la roca fosfórica directamente como fertilizante en el cultivo de arroz especialmente en suelos ácidos y en condiciones de inundación. Sin embargo los mejores resultados obtenidos en el Departamento del Meta en las distintas pruebas realizadas han indicado que la mejor fuente de P para estos suelos son las escorias thomas por su alta eficiencia y economía (37, 47).

TABLA 2. Recomendaciones de fósforo para arroz riego en suelos ácidos de los Llanos Orientales.

Contenido de P en el suelo (ppm)	Nivel Crítico +	Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> recomendada en Kg/ha.
Menor de 5	MB	100 - 150
De 5 a 10	B	75 - 100
De 10 a 20	M	50 - 75
Mayor de 20	A	25 - 50

=====  
 + MB: Muy bajo;      B: Bajo;      M: Medio;      A: Alto

Experimentos adelantados en Carimagua, señalan que el superfosfato triple da normalmente el mejor crecimiento inicial cuando se compara con las escorias thomas y las rocas fosfóricas, pero en cuanto a la producción de grano no se observaron diferencias significativas (23).

En ensayos de invernadero y campo en dos centros experimentales del CIAT en Colombia, se evaluaron las mezclas de roca fosfórica con superfosfato triple y superfosfato simple, y las rocas fosfóricas parcialmente aciduladas, utilizando para ello rocas de distinta solubilidad en citrato y procedencia; los resultados mostraron que las rocas fosfóricas de baja reactividad cuando se mezclan con superfosfato triple en relación 1:1 los rendimientos aumentan significativamente aún con las dosis más bajas de P. Estos resultados indican que con rocas fosfóricas de baja reactividad solamente se puede esperar un efecto positivo cuando se mezclan con fosfatos solubles durante la siembra inicial, pero, que si se piensa continuar sembrando en el mismo suelo por un período de tiempo relativamente largo, el efecto residual de la roca fosfórica es suficiente como para mantener rendimientos comparativamente altos (31).

En general los resultados obtenidos muestran que las mezclas de las rocas fosfóricas con fosfatos solubles o la acidulación parcial pueden constituirse en productos que aporten gran beneficio a la agricultura de los suelos tropicales.

Ensayos realizados en suelos de la terraza media de La Libertad, Llanos Orientales, comparando superfosfato triple, escorias thomas y rocas fosfóricas de Turmequé (Colombia) y Florida (Estados Unidos), señalan que el arroz responde muy bien a las aplicaciones de P hasta los 200 kg/ha de  $P_2O_5$  cuando la fuente es superfosfato triple. Las dosis de 400 kg/ha disminuyeron notablemente la producción, resultando similar a la producida por los 200 kg/ha aplicada en forma de roca fosfórica nacional. La roca fosfórica de Turmequé produjo los rendimientos más bajos pero superiores al testigo. Al adicionarle a la roca fosfórica 20 kg/ha de  $P_2O_5$  como superfosfato triple la producción se incrementó considerablemente. Definitivamente de las fuentes estudiadas en estos suelos las escorias thomas se presentaron como las mejores fuentes de P, seguidas por el superfosfato triple (32).

Como resultados de miles de experimentos en muchos lugares del mundo, se ha encontrado que para suplir las deficiencias de P en el cultivo del arroz, la mejor fuente en la mayoría de los suelos parece ser el superfosfato por su solubilidad y concentración, excepto en los suelos ácidos, en los cuales, las rocas fosfóricas y las escorias thomas resultan ser más eficientes (23, 10, 40).

En un estudio donde se utilizó fosfato monoamónico (MAP), amonio polifosfato (APP), superfosfato (SF) y roca fosfórica (RF), se encontró que después de 2, 4 y 8 semanas de contacto del fertilizante con el suelo, la disponibilidad de los fosfatos estaban en el orden

MAP > APP  $\geq$  SF > RF; pero los resultados también mostraron que entre la toma del P por la planta de arroz y la solubilidad del P ninguna fuente tuvo un efecto correlativo. Estos resultados indican que la sola solubilidad del P del fertilizante no es una determinante satisfactoria de disponibilidad del fertilizante sino que es necesario tener en cuenta la movilidad del fosfato que es un parámetro de mayor importancia. (43).

La inundación y la acidez del suelo son dos factores que tienen gran importancia en la disponibilidad de las rocas fosfóricas en lo referente a la fertilización en arroz. En suelos inundados la solubilidad de la roca fosfórica aumenta, la concentración de P en la solución pasa de 0.03 a 0.35 ppm en la primera semana y de 0.04 a 0.11 ppm en las siguientes diez semanas de inundado el suelo (9). Los ensayos efectuados en arroz riego muestran que el P tanto del suelo como el de los fertilizantes es más disponible bajo reducción que en condiciones de oxidación (28, 10).

Con base en resultados experimentales obtenidos en suelos tropicales de la India, se ha llegado a la conclusión que ciertos tipos de rocas fosfóricas ofrecen buenas perspectivas en la fertilización de arroz y leguminosas en suelos ácidos, siempre y cuando la aplicación del material se haga con suficiente antelación a la siembra (44).

### 3.. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 LOCALIZACION

La presente investigación se llevó a cabo en el segundo semestre de 1983 en el Centro Regional de Investigación La Libertad del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, ubicado en Villavicencio, Departamento del Meta, Colombia. De acuerdo con los datos de la Estación Meteorológica del Centro, la temperatura media anual es de 27°C, una precipitación promedio anual de 2.700 mm, siendo los meses de abril a noviembre los de mayor intensidad de lluvias y los de diciembre a marzo los de mayor sequía. La humedad relativa promedio anual es de 78%, llegando a descender a 52% en verano y aumentar hasta 90 - 95% en los meses de invierno. El centro está localizado a 336 msnm.

#### 3.2 SUELOS

El suelo donde se realizó el experimento fue clasificado como Tipic Haplorthox (18), y de acuerdo con su aptitud de uso y manejo corresponde a la clase III (41) y al paisaje denominado terraza media, lo cual quiere decir que son suelos aptos para sembrar arroz con riego. Los análisis de caracterización del lote experimental se incluyen en la tabla 3.

realizó el experimento.

Textura	%	pH	P, Bray II	Miliequivalentes / 100 g.					% Sat
	M.O.		(ppm)	Al	Ca	Mg	K	Na	Al
F. Ar	2.5	4.9	3.75	2.8	0.93	0.1	0.12	0.06	69.8

=====

### 3.3 TRATAMIENTOS

La investigación tuvo como objetivos estudiar el efecto del superfosfato triple (SFT) del 46% de  $P_2O_5$  y la roca fosfórica de Huila (RFH) del 22% de  $P_2O_5$ , solos y en combinación, sobre el rendimiento y nutrición del arroz riego. Para tal efecto se probaron cuatro dosis de  $P_2O_5$  como SFT (0, 23, 46 y 92 kg/ha) y cinco dosis de  $P_2O_5$  como RFH (0, 40, 80, 160 y 320 kg/ha). El P procedente de estas fuentes se aplicó al momento de la siembra, al voleo y se incorporó con rastillo.

### 3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para probar los tratamientos resultantes del arreglo factorial 4 x 5 (4 dosis de  $P_2O_5$  como SFT x 5 dosis de  $P_2O_5$  como RFH) se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones.

Estos 20 tratamientos así resultantes, se probaron utilizando dos variedades comerciales que fueron CICA-4 y ORYZICA 1. En esta forma, se realizó un experimento por cada variedad, dando lugar a 80 parcelas por variedad y a un gran total de 160 parcelas. La distribución de los tratamientos para cada variedad se incluye en la tabla 4.

TABLA 4. Lista de los tratamientos para cada variedad

No. de	Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como RFI (Kg/ha)	Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como SFT (Kg/ha)	Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)
1	0	0	0
2	0	23	23
3	0	46	46
4	0	92	92
5	40	0	40
6	40	23	63
7	40	46	86
8	40	92	132
9	80	0	80
10	80	23	103
11	80	46	126
12	80	92	172
13	160	0	160
14	160	23	183
15	160	46	206
16	160	92	252
17	320	0	320
18	320	23	343
19	320	46	366
20	320	92	412

El tamaño de parcelas fue de 5m x 5m, es decir,  $25\text{m}^2$ , para cosechar 4m x 4m, o sea,  $16\text{m}^2$ . El área útil del lote fue de  $4.000\text{m}^2$  ( $25\text{m}^2$  x 160 parcelas) y el área total del lote experimental, incluyendo caballones fue de  $6.344\text{m}^2$ .

## 3.6

## FERTILIZACION CONSTANTE

La fertilización constante consistió de 100 kg/ha, utilizando como fuente la urca del 46% de N. Este elemento se aplicó al voleo, fraccionado en partes iguales a los 25, 50 y 70 días después de la siembra. Se aplicaron también 90 kg/ha de  $\text{K}_2\text{O}$  como cloruro de potasio del 60% de  $\text{K}_2\text{O}$ , el cual se suministró fraccionado, la mitad al momento de la siembra y la otra mitad a los 25 días después de la siembra. Otro elemento aplicado fue Mg en dosis de 20 kg/ha como  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  del 10% de Mg, al voleo y al momento de la siembra e incorporado con rastrillo.

## 3.7

## PRACTICAS CULTURALES

Una vez guadañado el terreno se efectuó una arada y tres rastrilladas, se demarcó el lote y se hizo la aplicación de los tratamientos, seguidamente se sembró en forma manual al voleo a una densidad de 160 kg/ha.

Germinado el arroz se instaló el riego lo que contribuyó a controlar algunas plagas como cucarro (Eutheola bidentada B.) y spodóptera (Spodoptera frugiperda S.) y a prevenir algunas enfermedades como pircularia (Pyricularia oryzae Cav.) en Cica 4. A los 20 días de germinado el cultivo se hizo el control de malezas y algunas plagas persistentes y para ésto se utilizó propanil en dosis de 4.8 kg de I.A. por hectárea y toxafeno 60 en dosis de 4 litros por hectárea.

Se presentaron ataques de enrollar (Singamia sp) a los 60 días que fueron controlados con monocrotofos en dosis de 0.6 kg de I.A. por hectárea. Durante el período comprendido entre el espigamiento y la maduración se hicieron dos aplicaciones con fungicidas e insecticidas como controles preventivos a las enfermedades y plagas propias de esta etapa del cultivo. La cosecha se realizó a los 115 días para el Oryzica 1 y a los 125 días para el Cica 4.

### 3.8 DETERMINACION DE LA CALIDAD DE MOLINERIA

Se evaluó la calidad de molinería del arroz con base en los rendimientos de trilla e índice de pilada para observar la influencia del P y las fuentes utilizadas sobre la consistencia del grano.

Para esta determinación se tomaron muestras de 100 gramos de cada tratamiento que se trillaron en un molino standar Suzuki del programa de Semillas del ICA. El método utilizado fue el del IDEMA (25).

Para evaluar los tratamientos propuestos para las dos variedades se tuvieron en cuenta las siguientes variables dependientes: muestra del tejido foliar a los 45 y 85 días después de la germinación, para determinar contenidos de P y Ca, según los métodos descritos por Salinas y García (45); altura de la planta a los 120 días de edad del cultivo; rendimiento de arroz paddy al 14% de humedad; porcentaje de vaneamiento y rendimiento e índice de pilada.

Para determinar el efecto residual de los tratamientos utilizados, se tomaron muestras de suelos después de cosechar el arroz en dos repeticiones completas de cada variedad, con el fin de determinar pH, Al intercambiable, Ca y P. Los análisis fueron hechos en el laboratorio de suelos del CIAT por los métodos de Salinas y García (45).

### 3.10 ANALISIS ESTADISTICO

Los resultados obtenidos para cada una de las variables dependientes mencionadas fueron analizados en la sección de biometría del ICA, utilizando el sistema de computación SAS. Para cada variedad y para cada variable se hicieron análisis de varianza y pruebas de significancia por Duncan. Para las variables altura de planta, porcentaje de vaneamiento, rendimiento de grano y calidad de molinería se hicieron análisis de regresión utilizando un modelo cuadrático.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

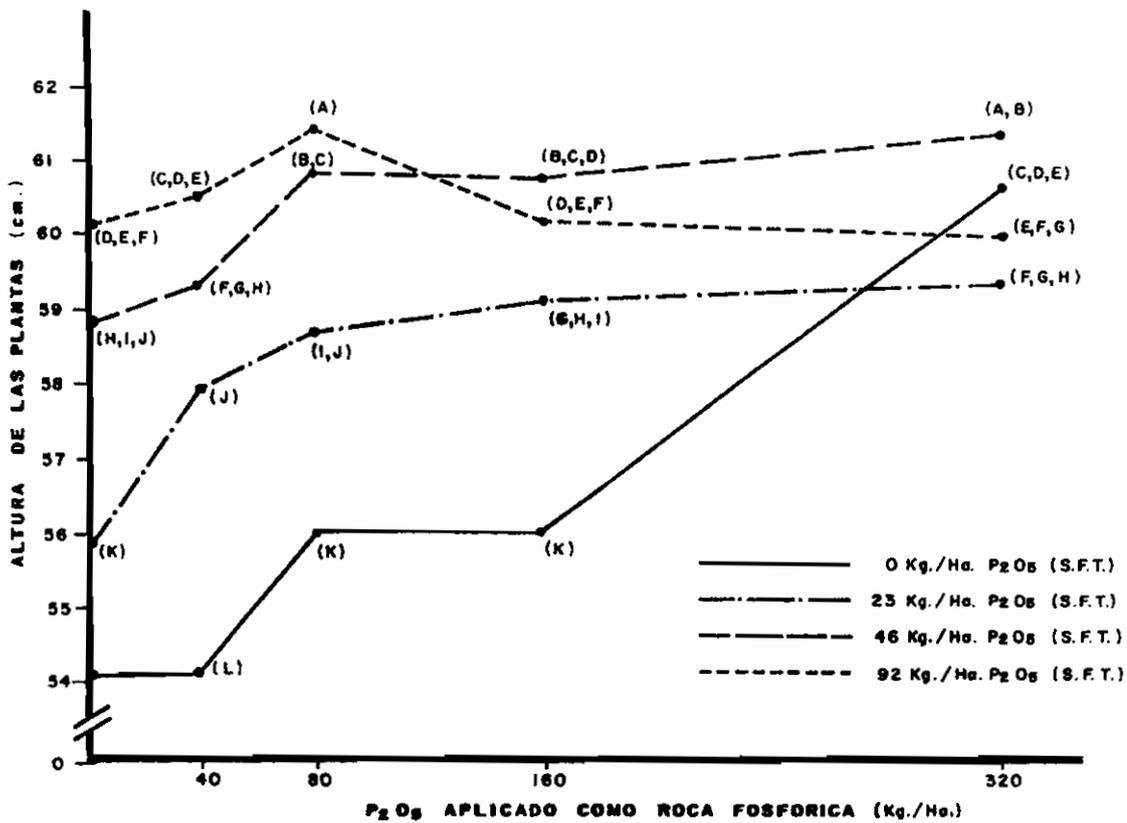
### 4.1 EFECTOS DE LA APLICACION DE $P_2O_5$ COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO EN EL CULTIVO DE ARROZ RIEGO CICA-4 Y ORYZICA-1

#### 4.1.1 Efecto sobre la altura de la planta

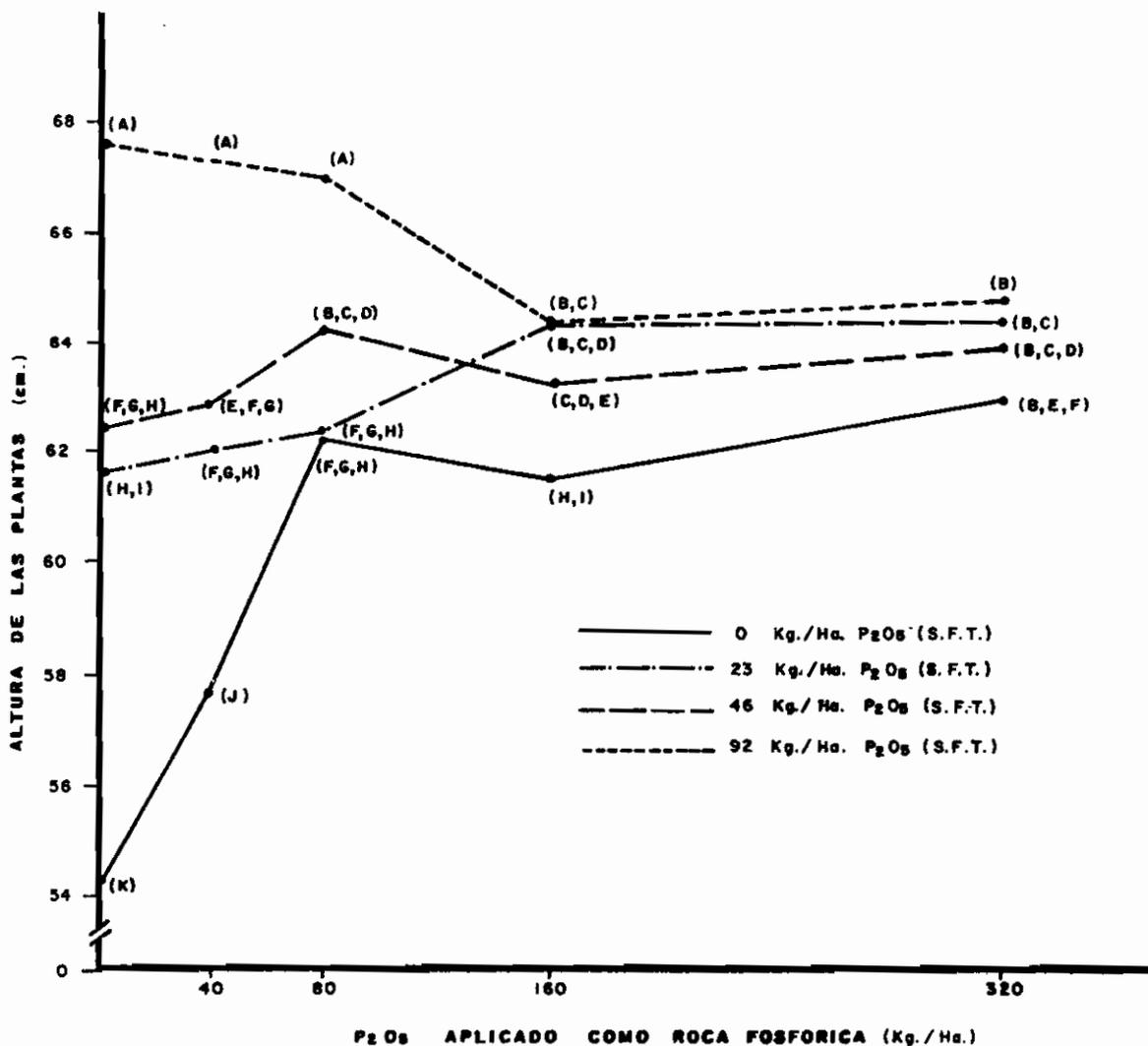
El efecto de la aplicación de  $P_2O_5$  como Roca Fosfórica del Huila (RFH) y Superfosfato Triple (SFT) solos y en combinación sobre la altura de las plantas puede apreciarse en las figuras 1 y 2. Comparando los testigos sin fósforo (P) con los tratamientos de  $P_2O_5$  con las distintas dosis y fuentes se encontró influencia significativa del P aplicado sobre la altura de las plantas de arroz, incrementándose éstas en un 12.9 y 25% en Cica-4 y Oryzica-1 respectivamente.

El P como RFH fué significativamente menor en efectividad que el suministrado como SFT, pero su presencia en altas dosis aumentó la altura de las plantas en las dos variedades. Demostrando que las RFs pueden corregir en gran parte las deficiencias de P cuando se agregan en altas cantidades (7, 31, 32, 47).

Los resultados de las combinaciones RFH y SFT sobre la altura de las plantas indican que dosis moderadas de estas fuentes producen alturas de planta que pueden ser suficientes para una buena producción y reco-



**FIGURA : 1. INFLUENCIA DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE LA ALTURA DE LAS PLANTAS DE LA VARIEDAD CICA 4 A LOS 120 DIAS DE EDAD DEL CULTIVO. (Duncan al 5%).**



**FIGURA : 2 . INFLUENCIA DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE LA ALTURA DE LAS PLANTAS DE LA VARIEDAD ORYZICA I A LOS 120 DIAS DE EDAD DEL CULTIVO. (Duncan al 5%).**

lección de estas variedades de arroz, si se compara con las altas aplicaciones de SFT y RFH en forma individual (figura 1 y 2).

Para tener una mayor claridad de la influencia de estas fuentes de P sobre esta variable, se efectuó un análisis de regresión para cada variedad. Las ecuaciones resultantes son:

Cica-4:

$$Y = 53.60 + 0.026 (X_1) - 0.000025(X_1)^2 + 0.15(X_2) - 0.00082(X_2)^2 - 0.00022(X_1X_2)$$
$$R^2 = 0.83$$

Oryzica-1:

$$Y = 56.90 + 0.035(X_1) - 0.000045(X_1)^2 + 0.14(X_2) - 0.00040(X_2)^2 - 0.00033 (X_1X_2)$$
$$R^2 = 0.77$$

Donde: Y = Altura de planta

X<sub>1</sub> = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como RFH

X<sub>2</sub> = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SFT

Como se puede apreciar la altura de las plantas depende altamente de la fertilización fosfatada y que el P tiene una influencia significativa sobre el desarrollo vegetativo del arroz, lo cual se puede atri-

buir a que hace parte del RNA y DNA, que son fundamentales en la división celular (42, 33, 57).

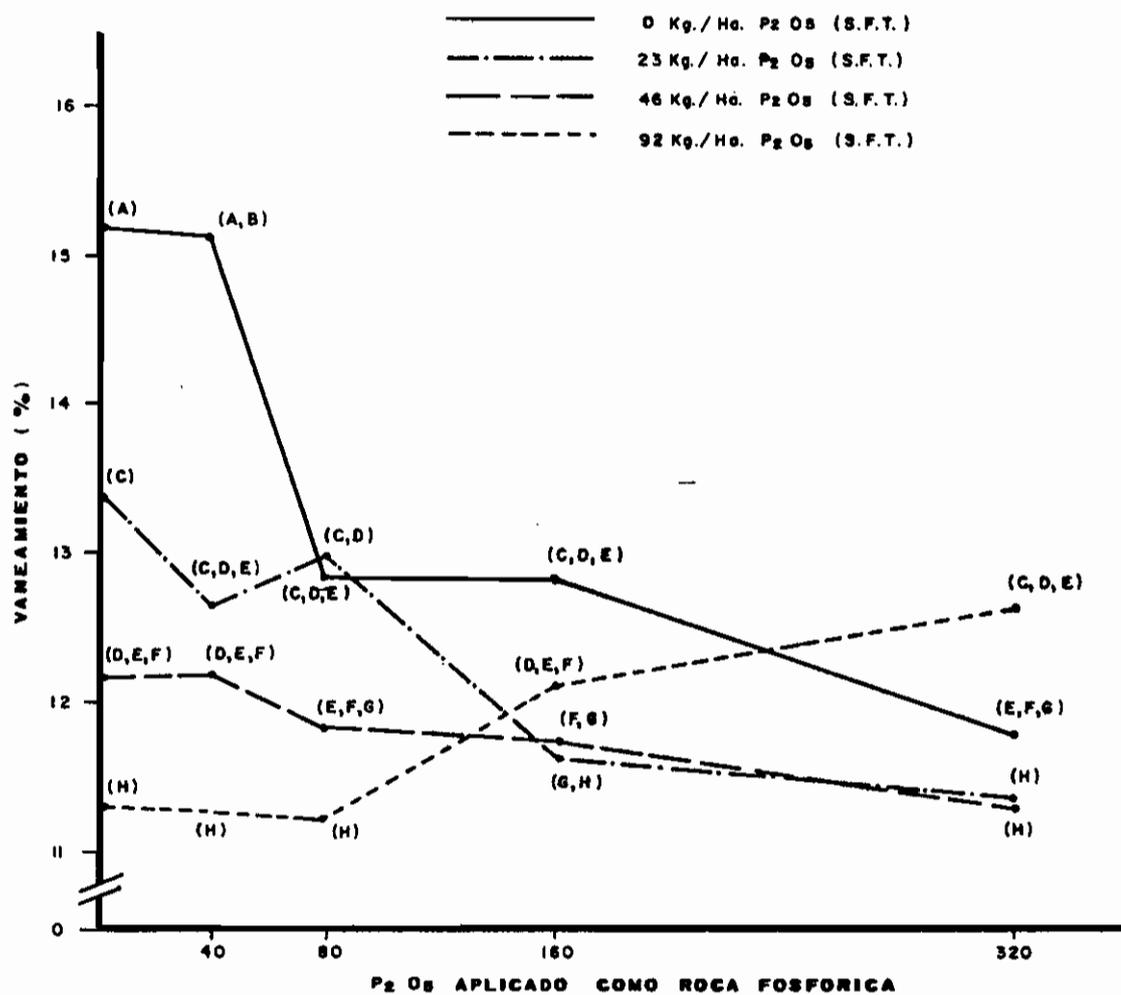
#### 4.1.2 Efecto sobre el porcentaje de vaneamiento

Los resultados sobre la influencia del P en el llenado de los granos, expresado como porcentaje de vaneamiento, están representados en las figuras 3 y 4. Se observa que el P influye positiva y significativamente en el llenado de los granos. Es probable que el P acumulado en altas cantidades en las semillas tenga influencia sobre el desarrollo y maduración de éstas (57, 58).

Al analizar las figuras 3 y 4 puede destacarse el buen comportamiento de la RHH, que aunque fué significativamente menor en efectividad al SFT, su presencia en altas dosis disminuyó el porcentaje de vaneamiento en 22.7% en la variedad Cica-4 y 44% en Oryzica-1, en comparación con el tratamiento sin P.

Para las dos variedades Cica-4 y Oryzica-1 se notó una respuesta positiva a todas las dosis de  $P_2O_5$ , encontrándose el máximo llenado de grano cuando se aplicó 92 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT. En Oryzica-1 las demás dosis de SFT no fueron estadísticamente diferentes.

Las combinaciones de RHH con SFT también disminuyeron significativamente el porcentaje de vaneamiento dando resultados similares a los



**FIGURA : 3 . INFLUENCIA DE LA APLICACION DE  $P_2O_5$  COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL PORCENTAJE DE VANEAMIENTO DE LA VARIEDAD CICA 4 . (Duncon al 5%).**



UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS  
HEMEROTECA  
Villavicencio - Meta

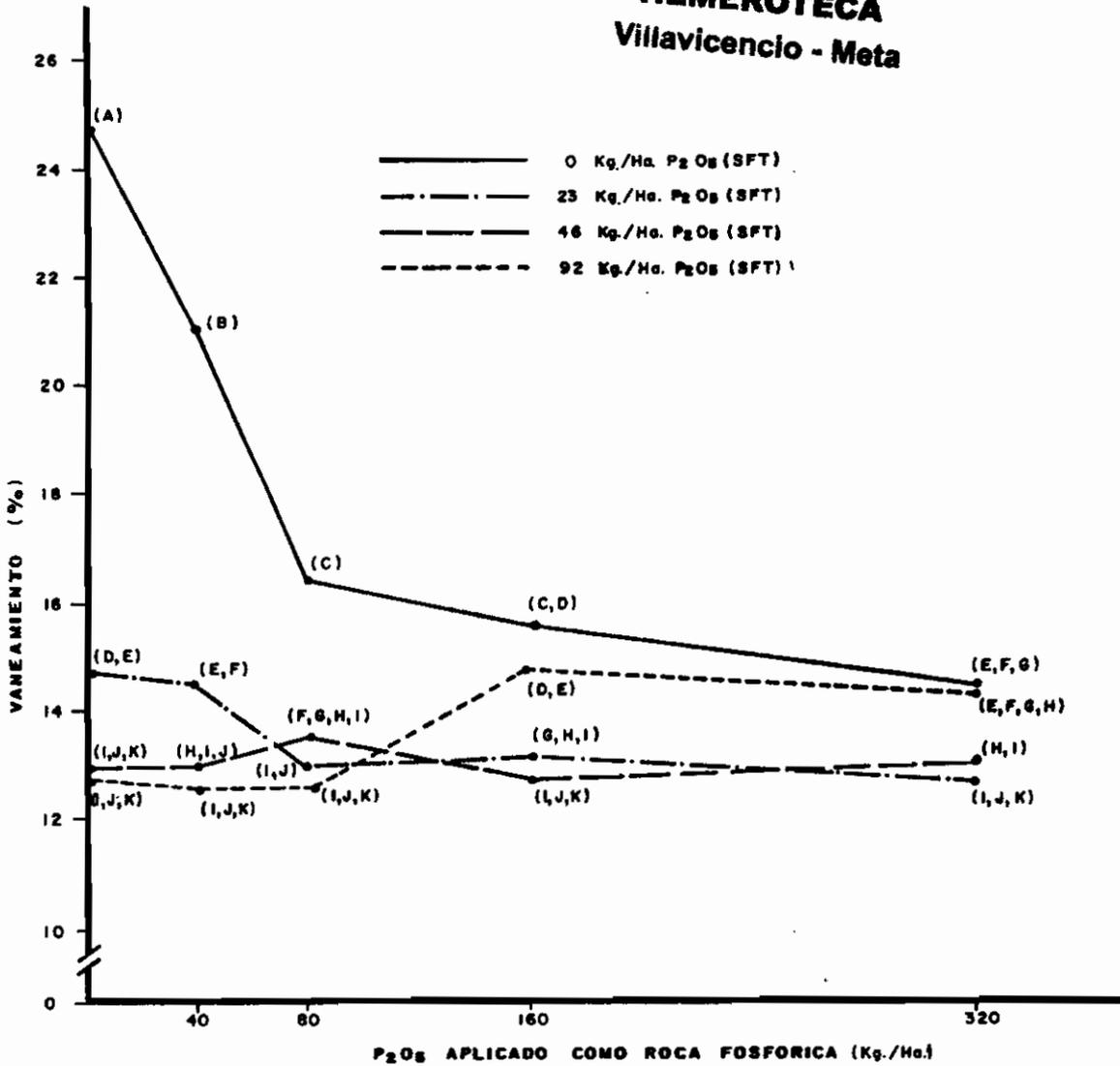


FIGURA : 4. INFLUENCIA DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL PORCENTAJE DE VANEAMIENTO DE LA VARIEDAD ORYZICA I. (Duncan al 5%).

obtenidos con las máximas dosis de  $P_2O_5$  como SFT.

Una demostración más clara de la influencia del P en esta variable, lo muestran los análisis de regresión que se efectuaron para cada variedad, asumiendo que el porcentaje de vaneamiento (Y) es función del  $P_2O_5$  aplicado como RPH( $X_1$ ) y SFT ( $X_2$ ). El modelo que dió el mejor ajuste fué el siguiente para cada variedad:

Cica-4:

$$Y = 14.98 - 0.016(X_1) + 0.000017(X_1)^2 - 0.074(X_2) + 0.00037(X_2)^2 + 0.00016(X_1X_2)$$
$$R^2 = 0.69$$

Oryzica-1:

$$Y = 21.34 - 0.036(X_1) + 0.000049(X_1)^2 - 0.24(X_2) + 0.0016(X_2)^2 + 0.00033(X_1X_2)$$
$$R^2 = 0.76$$

Como se puede apreciar por los coeficientes de regresión parciales y el  $R^2$  el porcentaje de vaneamiento es altamente dependiente de la fertilización fosfatada en suelos pobres en P, y la variedad Oryzica-1 fué más afectada que Cica-4. Datos similares fueron reportados por otros investigadores mediante trabajos realizados en suelos de Clase

IV del Piedemonte Llanero, que también son muy bajos en P. También debe anotarse que la esterilidad puede presentarse por otros factores, especialmente relacionados con el clima.

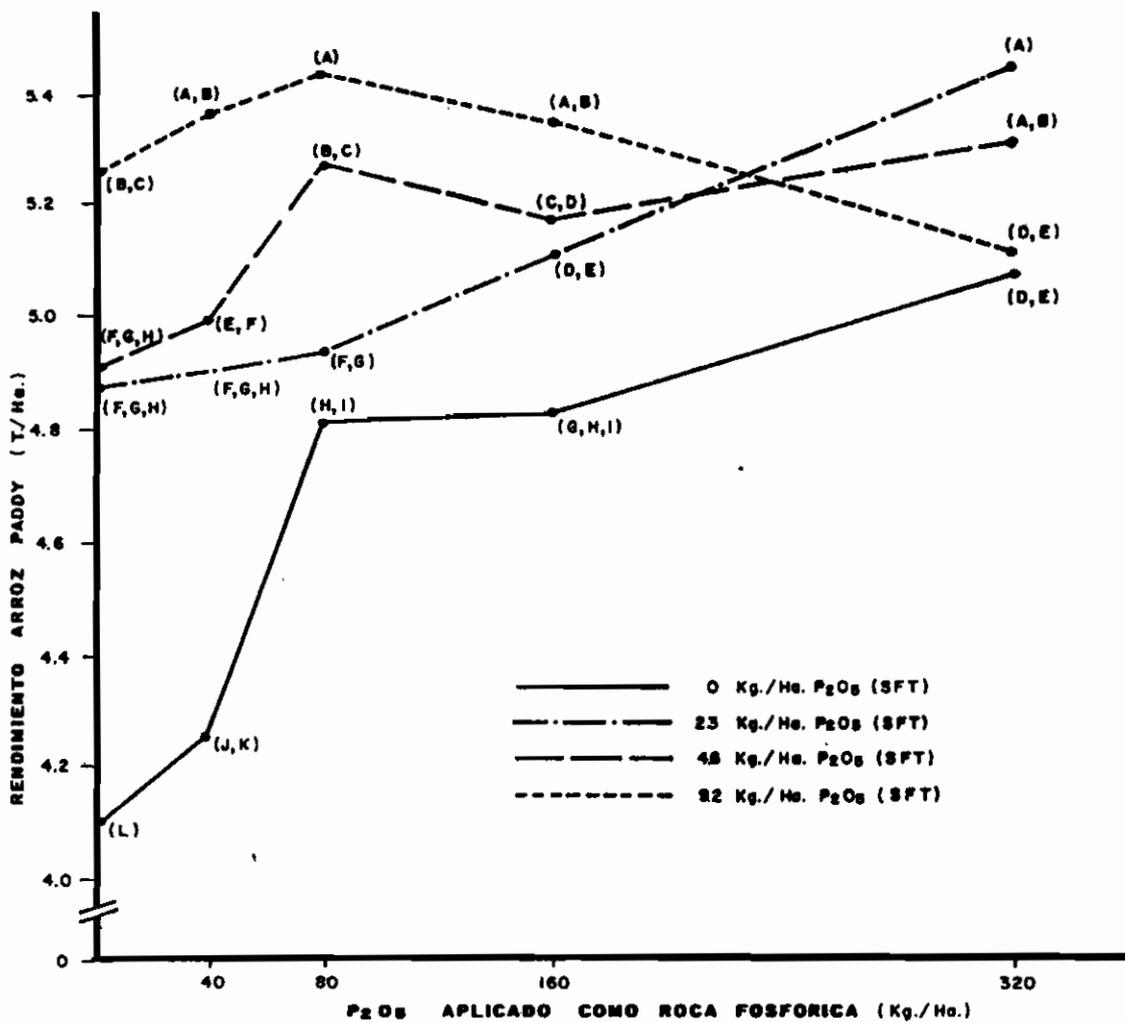
#### 4.1.3 Efecto sobre el rendimiento de grano

El rendimiento del arroz fué afectado positiva y significativamente en las dos variedades con la aplicación de P, ya que todos los tratamientos fueron superiores al testigo sin P.

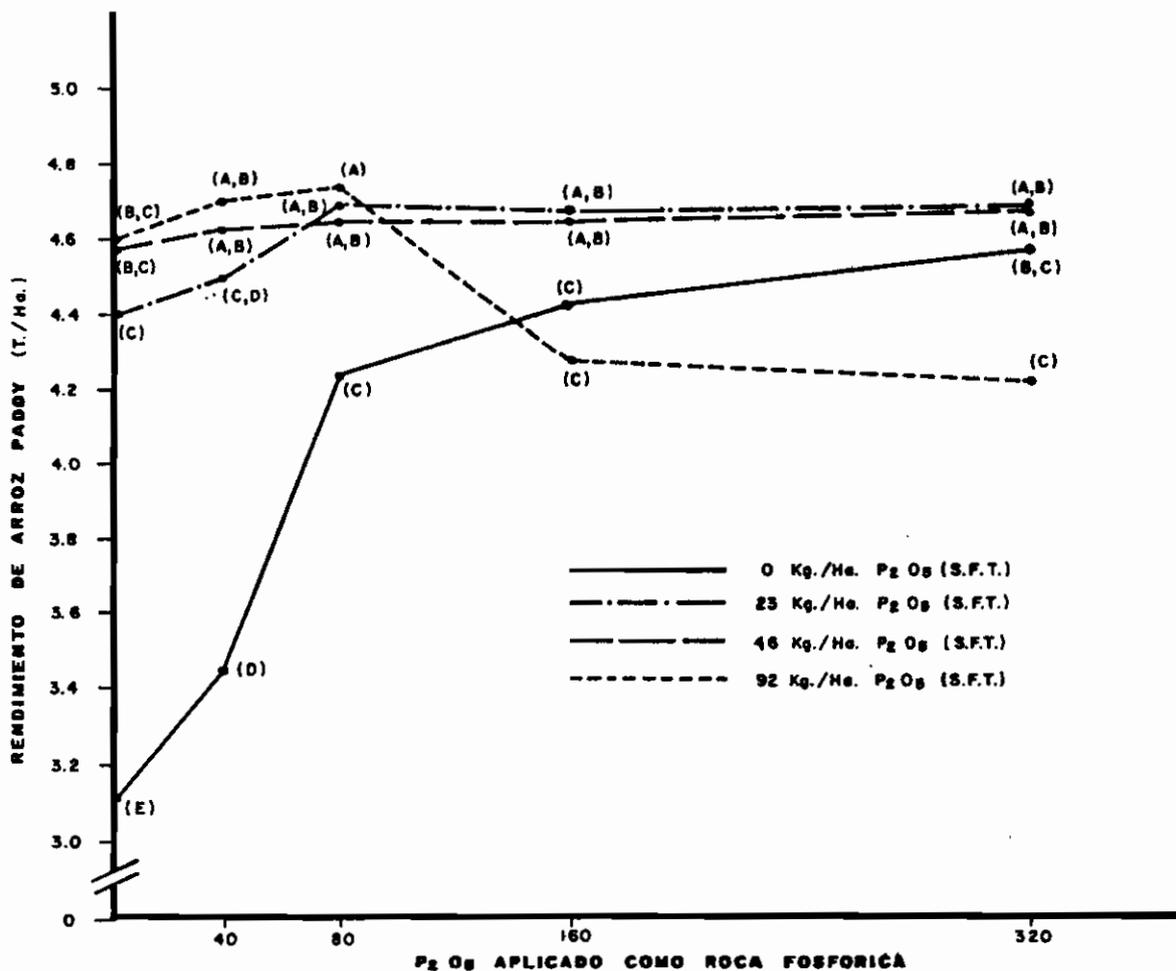
Los resultados obtenidos para Cica-4 y Oryzica-1 se presentan en las figuras 5 y 6, donde se aprecia diferencias significativas con cada incremento adicional de  $P_2O_5$ , tanto de RFI como de SFT.

En Cica-4, las aplicaciones de  $P_2O_5$  como RFI influyeron significativamente sobre el rendimiento de grano, al pasar de 4.100 cuando no se aplicó P a 5.075 kg/ha cuando se utilizaron 320 kg/ha de  $P_2O_5$  de esta fuente, hecho muy importante si se tiene en cuenta que la dosis más alta de SFT alcanzó una producción de 5.250 kg/ha, lo cual representó un aumento en el rendimiento de grano de solo el 3.3% con respecto a la RFI.

Al comparar los rendimientos de los tratamientos en donde se utilizó 23, 46 y 92 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT con los tratamientos en donde se utilizó 80, 160 y 320 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFI, se puede afirmar que la RFI si igualan o sobrepasan los rendimientos obtenidos con las aplica-



**FIGURA : 5 . EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL RENDIMIENTO DE ARROZ PADDY AL 14% DE HUMEDAD DE LA VARIEDAD CICA 4 . (Duncan al 5%).**



**FIGURA : 6 . EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL RENDIMIENTO DE ARROZ PADDY AL 14% DE HUMEDAD DE LA VARIEDAD ORYZICA 1. (Duncan al 5%)**

ciones de SFT cuando éstas se aplican en dosis de  $P_2O_5$  cuatro o cinco veces más altas. La figura 6 muestra claramente que una relación RFH: SFT de 4:1 produce rendimientos similares con estas dos fuentes; esta misma tendencia también se observó en la variedad Cica-4.

Las RFS son las fuentes de P más baratas que se encuentran en el mercado, en término de unidades de  $P_2O_5$ , pero su costo de aplicación y transporte es más elevado. Por tanto, resultaría engorroso y costosa una aplicación de 320 kg/ha de  $P_2O_5$  (1600 kg/ha de RFH) y teniendo en cuenta que el SFT es una fuente de fácil aplicación pero su precio en el mercado es alto además de ser escaso, por tanto resultaría beneficioso analizar las figuras 5 y 6.

En forma general, se puede decir que las combinaciones de RFH y SFT dieron rendimientos más altos que cuando se utilizaron individualmente, reflejando la efectividad agronómica de estos materiales cuando se aplican en esta forma y la alternativa práctica que se obtiene para los agricultores.

Los mayores rendimientos en las dos variedades se obtuvieron con las combinaciones de 80 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH y 92 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT y la de 320 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH con 23 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT, pero posiblemente no son las dosis más económicas por las altas cantidades utilizadas, especialmente de RFH.

Todo parece indicar que la RFH puede suministrar gran parte del P que demanda la planta cuando se agrega en altas cantidades, pero de todas maneras es necesario complementarlas con una fuente más soluble, tal como se ha indicado en la literatura (31, 10, 47, 7, 52).

Tanto para la variedad Cica-4 como para Oryzica-1 las combinaciones de altas dosis de  $P_2O_5$  como RFH y SFT produjeron descensos en la producción del paddy. Según Smith este descenso se puede deber a un efecto tóxico producido por el mismo elemento al encontrarse en altas concentraciones en la solución del suelo o aún desequilibrio nutricional (51) o aún impedimento en la toma de otros elementos por la planta, especialmente elementos menores (37).

Para obtener una información más precisa sobre las cantidades que económicamente puedan significarle mayores utilidades al agricultor, se hizo un análisis de regresión múltiple, utilizando un modelo según el cual, la variable rendimiento (Y) es función del  $P_2O_5$  como RFH,  $(RFH)^2$ , SFT,  $(SFT)^2$  y la interacción  $(RFH)(SFT)$ . Las ecuaciones resultantes para cada una de las variedades fueron las siguientes:

Cica-4:

$$Y = 4.231 + 4.89 (X_1) - 0.01 (X_1)^2 + 21.47 (X_2) - 0.11 (X_2)^2 - 0.04 (X_1 X_2)$$

$$R^2 = 0.86$$

Oryzica-1:

$$Y = 3.488 + 6.29 (X_1) - 0.01 (X_1)^2 + 33.44 (X_2) - 0.23 (X_2)^2 - 0.06 (X_1 X_2)$$

$$R^2 = 0.77$$

Donde:

Y = Rendimiento

X<sub>1</sub> = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como RFI

X<sub>2</sub> = P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como SFT

Derivando estas ecuaciones y teniendo en cuenta los precios de la RFI, el SFT y los precios del arroz paddy de cada variedad al 14% de humedad, se obtuvieron los máximos físicos y óptimos económicos siguientes:

Variedad	Máximos Físicos		Óptimos económicos	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como RFI	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como SFT	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como RFI	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> como SFT
Cica-4	77.5 kg/ha	83.5 Kg/ha	66.3 Kg/ha	78.8 Kg/ha
Oryzica-1	189.5 kg/ha	47.0 Kg/ha	168.0 Kg/ha	47.0 Kg/ha

Todo lo anterior permite concluir que el P es un factor decisivo en la limitación de la producción arrocerá de estos suelos y que para obtener

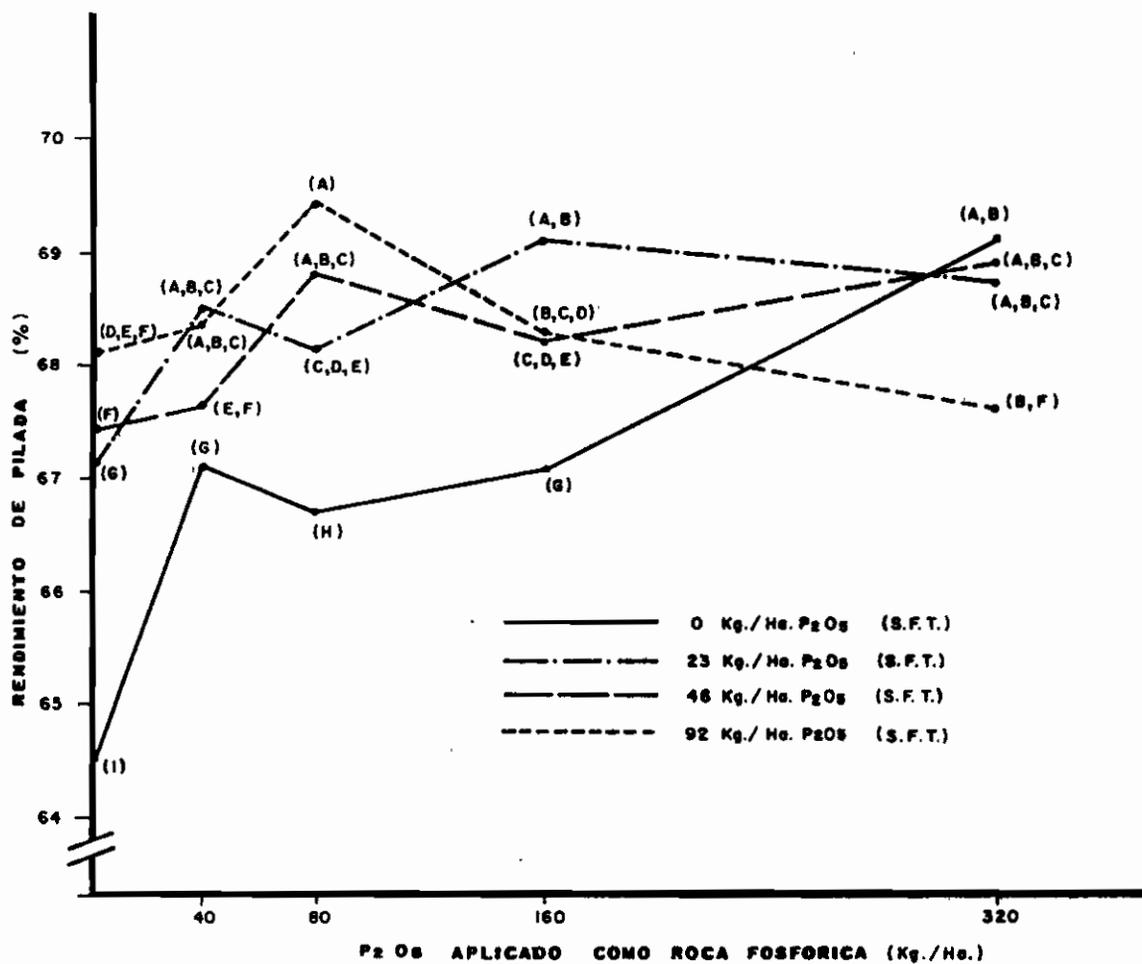
rendimientos económicamente rentables cuando se emplea RFH como fuente de P en suelos deficientes, es necesario combinarlas con una fuente soluble para asegurar el suministro oportuno de este elemento limitante en un cultivo de ciclo tan corto como el arroz.

Los resultados de rendimiento concuerdan con el porcentaje de vaneamiento, en donde el P también es decisivo para disminuir la esterilidad.

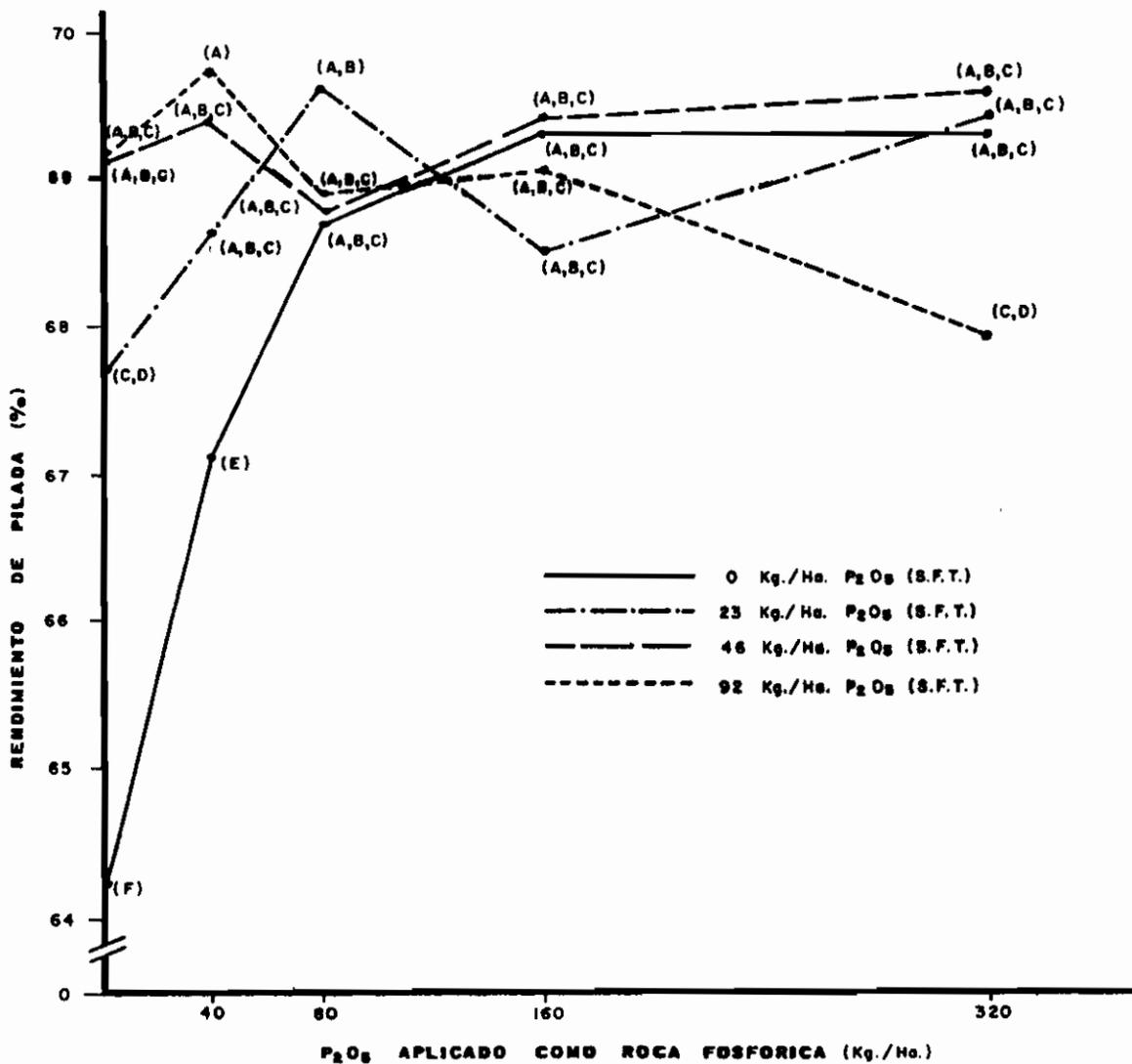
La explicación de la alta respuesta de las dos variedades a la aplicación de P se atribuye principalmente a que el suelo utilizado en el ensayo es muy bajo en P (3.75 ppm) y por esta razón la deficiencia afecta significativamente los rendimientos, tal como lo han reportado otros investigadores (46, 23, 17).

#### 4.1.4 Efecto sobre el rendimiento e índice de pilada

Como se puede apreciar en las figuras 7 y 8, el rendimiento de pilada fué modificado significativamente al comparar el testigo sin P y los tratamientos que lo recibieron en las dos variedades. Así mismo se encontró que dicho rendimiento tuvo la tendencia de ser más bajo cuando se aplicó  $P_2O_5$  como RFH sola, especialmente en las dosis inferiores, lo cual indica que este componente de la calidad del grano depende en parte del P. Esto contrasta con la fertilización nitrogenada, ya que con ella no se modificó el índice de pilada de la variedad Cica-8.



**FIGURA : 7 . EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y COMO SUPERFOSFATO SOBRE EL RENDIMIENTO DE PILADA DE LA VARIEDAD CICA 4. (Duncan al 5% ) .**



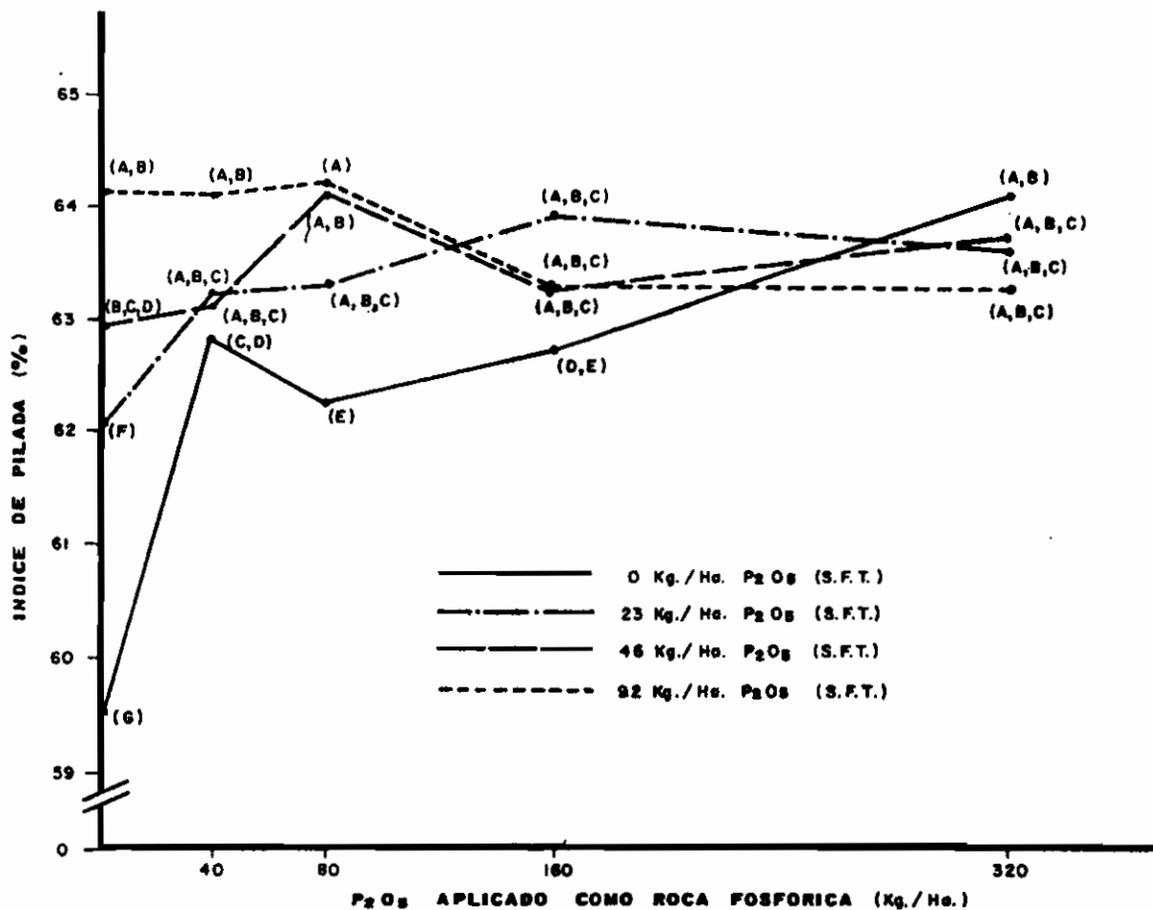
**FIGURA : 8 . EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y COMO SUPERFOSFATO SOBRE EL RENDIMIENTO DE PILADA EN LA VARIEDAD ORYZICA I . (Duncan al 5%) ,**

Los mejores tratamientos fueron las combinaciones de RFH con SFT en las dos variedades. Para Cica-4 la mejor combinación fué la de 80 Kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH con 92 Kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT. En Oryzica-1 todas las combinaciones fueron estadísticamente iguales. La combinación de 320 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH con 92 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT produjo descenso en el rendimiento de pilada en las dos variedades, mostrando una tendencia similar a la variable rendimiento.

En cuanto al índice de pilada, también fué afectado positiva y significativamente al comparar el testigo sin P con los tratamientos que lo recibieron, pero entre estos no se observó una tendencia definida de respuesta (figuras 9 y 10).

El P influye significativamente en el rendimiento e índice de pilada, pero los resultados aquí reportados no podrán ser una regla general para todos los suelos, ya que puede observar que las diferencias entre los distintos tratamientos con P no son tan notables como las obtenidas con otras variables. Se cree que la calidad de molinería depende principalmente de la variedad y de la acción de factores como la humedad y enfermedades que hayan podido afectar el grano.

En forma similar a la variable rendimiento, y teniendo en cuenta el análisis gráfico, se hizo un análisis de regresión múltiple con el fin de ver la dependencia de la calidad de molinería de la fertilización fosfatada. Las ecuaciones resultantes para el rendimiento e índice de



**FIGURA : 9** INFLUENCIA DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL INDICE DE PILADA DE LA VARIEDAD CICA 4 . (Duncan al 5%).

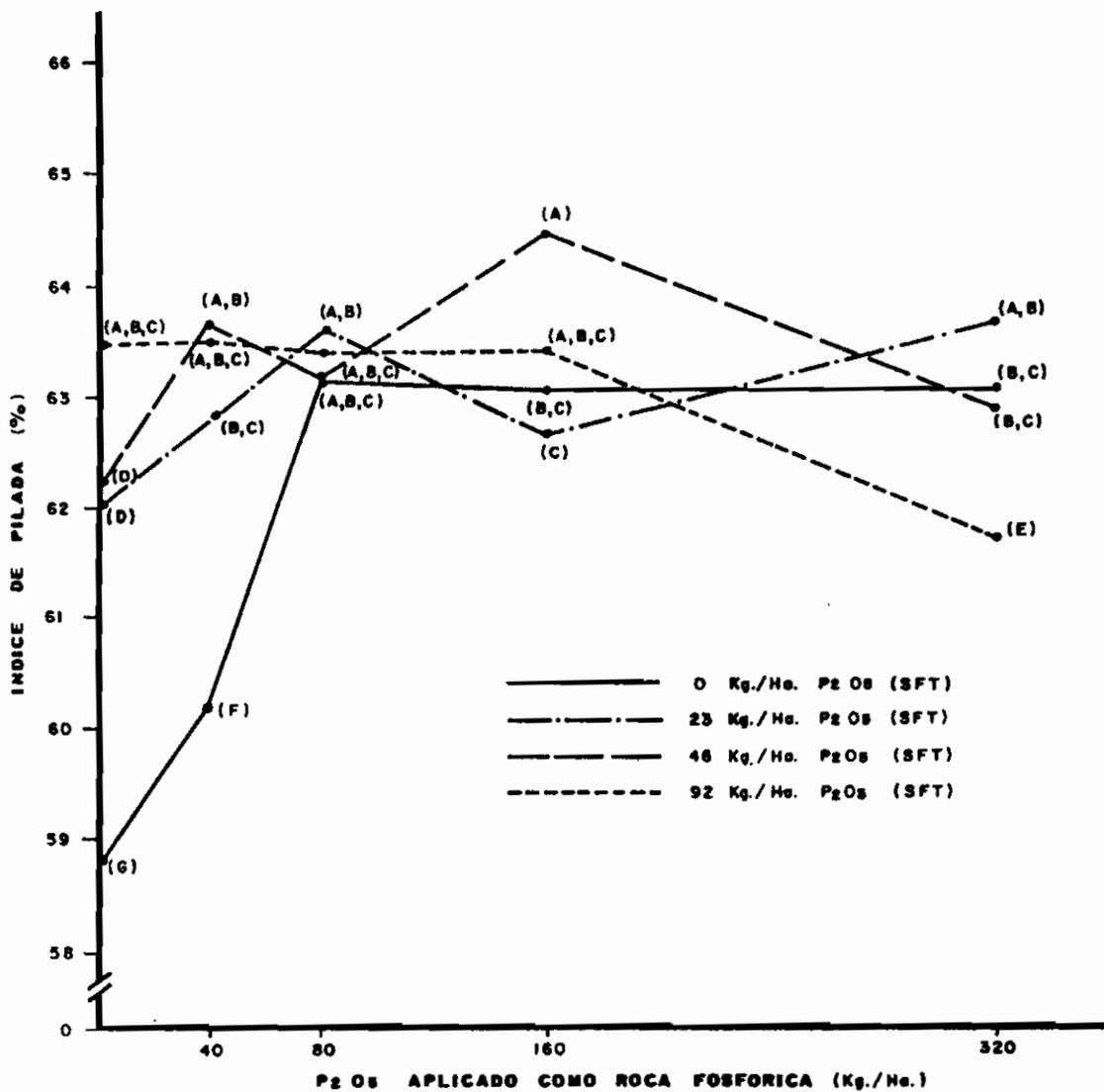


FIGURA : 10 . INFLUENCIA DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL INDICE DE PILADA DE LA VARIEDAD ORYZICA I. (Duncan al 5%).

pilada son:

Cica-4:

$$Y_1 = 65.47 + 0.019 (X_1) - 0.000028 (X_1)^2 + 0.065 (X_2) - 0.00036 (X_2)^2 - 0.00014 (X_1 X_2)$$

$$R^2 = 0.58$$

$$Y_2 = 60.92 + 0.017 (X_1) - 0.000025 (X_1)^2 + 0.054 (X_2) - 0.00023 (X_2)^2 - 0.00014 (X_1 X_2)$$

$$R^2 = 0.58$$

Oryzica-1:

$$Y_1 = 66.01 + 0.022 (X_1) - 0.000037 (X_1)^2 + 0.074 (X_2) - 0.00044 (X_2)^2 - 0.00017 (X_1 X_2)$$

$$R^2 = 0.50$$

$$Y_2 = 59.90 + 0.026 (X_1) - 0.000052 (X_1)^2 + 0.079 (X_2) - 0.00047 (X_2)^2 - 0.00017 (X_1 X_2)$$

$$R^2 = 0.53$$

Donde:  $Y_1$  = Rendimiento de pilada (%)

$Y_2$  = Índice de pilada (%)

$X_1 = P_2O_5$  como RFH

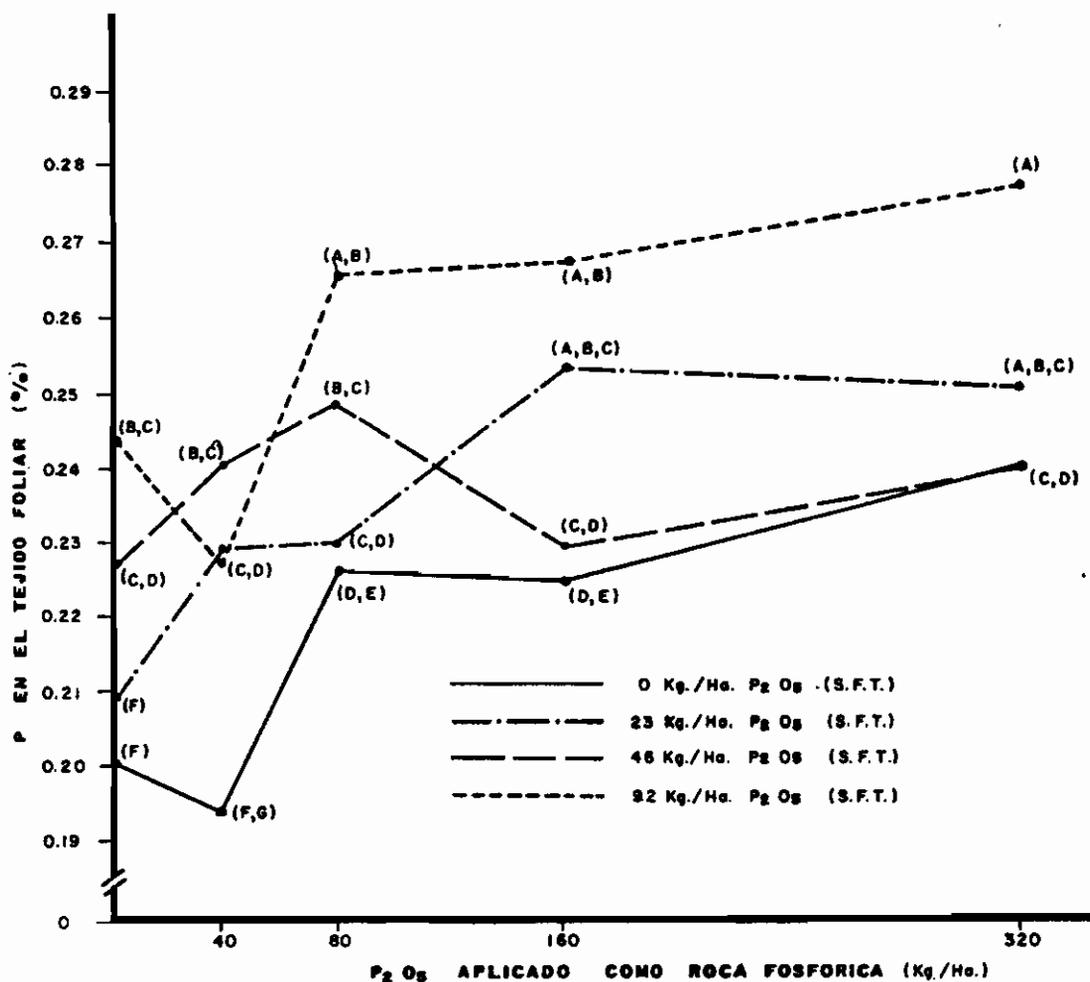
$X_2 = P_2O_5$  como SFT

De acuerdo con estos análisis de regresión se puede deducir el efecto positivo del P sobre el mejoramiento de la calidad de molinería en ambas variedades en suelos pobres en este elemento, lo cual como se anotó anteriormente, contrasta con el poco efecto de la fertilización nitrogenada.

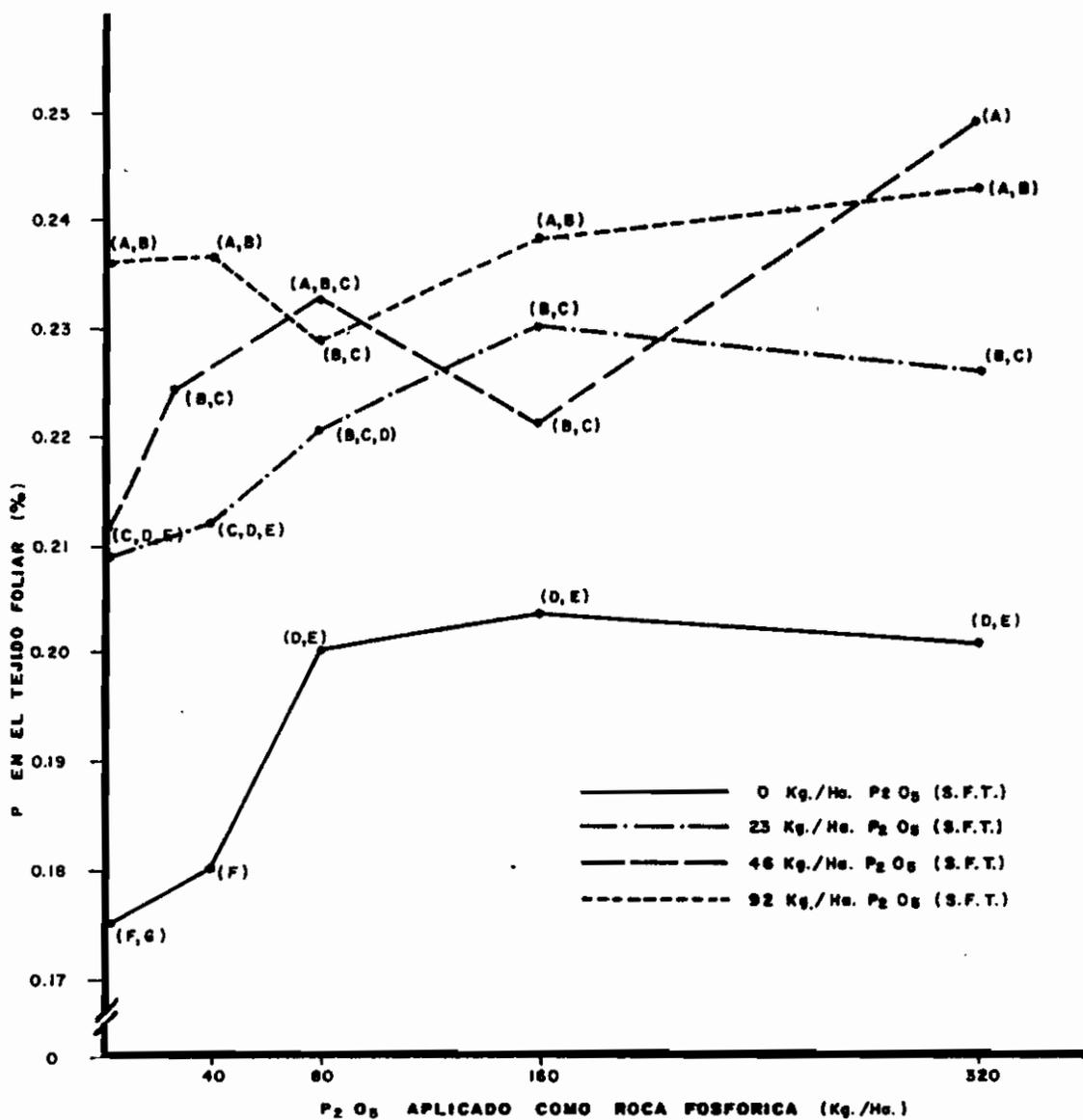
#### 4.1.5 Efecto sobre el contenido de fósforo en el follaje

En las figuras 11 y 12 se observa la influencia de los distintos tratamientos sobre la asimilación del P por los tejidos de la planta. Comparando los testigos sin P con los tratamientos de  $P_2O_5$  en las distintas dosis y fuentes se encontró influencia significativa del P aplicado sobre su absorción por la planta de arroz. El contenido de P en los tejidos fué aumentando a medida que se incrementaron las dosis de  $P_2O_5$  como SFT y como RFH.

En Cica-4 el efecto de la fertilización fosfatada sobre el contenido de P en el tejido presentó tendencia a aumentarlo a medida que se elevaron las dosis de  $P_2O_5$ . Los tratamientos con menor contenido de P en los tejidos fueron los de RFH. Los tratamientos que aportaron más P a los tejidos fueron los de las combinaciones de RFH con SFT en altas dosis. En general el contenido de P pasó de 0.20% en el testigo a 0.28%



**FIGURA : II. EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE LA ABSORCION DE P POR EL ARROZ VARIEDAD CICA 4 A LOS 45 DIAS DE EDAD DEL CULTIVO. (Duncan al 5%).**



**FIGURA : 12. EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub> O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE LA ABSORCION DE P POR EL ARROZ , VARIEDAD ORYZICA I A LOS 45 DIAS DE EDAD DEL CULTIVO . (Duncan al 5% ).**

en el tratamiento de más alta dosis de  $P_2O_5$  y esta diferencia fué significativa.

En Oryzica-1 se presentan los resultados muy similares a los obtenidos en Cica-4 y también se encontró, que los tratamientos que contenían únicamente RFI aportaron muy poco P a los tejidos de la planta. En los demás tratamientos no se presentaron diferencias significativas entre ellos, pero sí una ligera tendencia a aumentar el contenido de P en el tejido a medida que se incrementó el  $P_2O_5$ . Las combinaciones en este caso siguieron mostrando ser las más efectivas. La concentración de P en el tejido pasó de 0.17% en el testigo a 0.25% en la combinación más efectiva.

Comparando la concentración de P en los tejidos en Cica-4 y Oryzica-1 puede observarse que Cica-4 tiene mayor capacidad de extraer P, ya que sus porcentajes tanto en el testigo como en los tratamientos son superiores. Esto probablemente se podría explicar por un mejor aprovechamiento del P proveniente del suelo y del fertilizante. Esta misma tendencia se ha encontrado en otras variedades (13).

El contenido de P en el tejido influenciado por dosis crecientes de  $P_2O_5$  procedente de varias fuentes es un reflejo de la eficiencia de ellas para suministrarlo y corregir deficiencias. El menor contenido de P con la RFI en ambas variedades indican su baja solubilidad y es una advertencia para no usarlas solas en suelos muy deficientes en

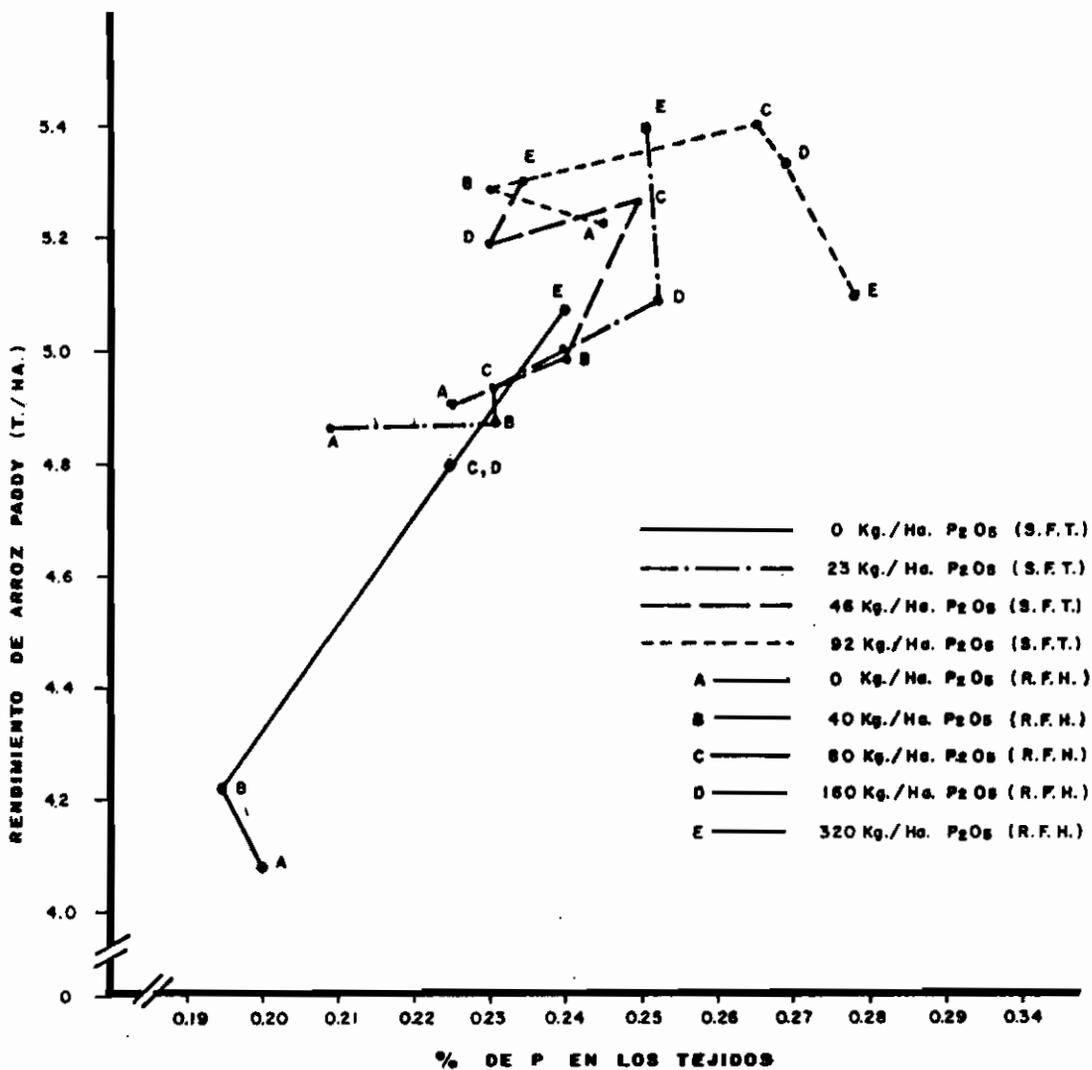
P, lo cual se puede obviar mezclándolas con una fuente soluble, así como también lo han sugerido otros autores (52, 31).

#### 4.1.6 Relación entre el rendimiento y contenido de fósforo en el tejido

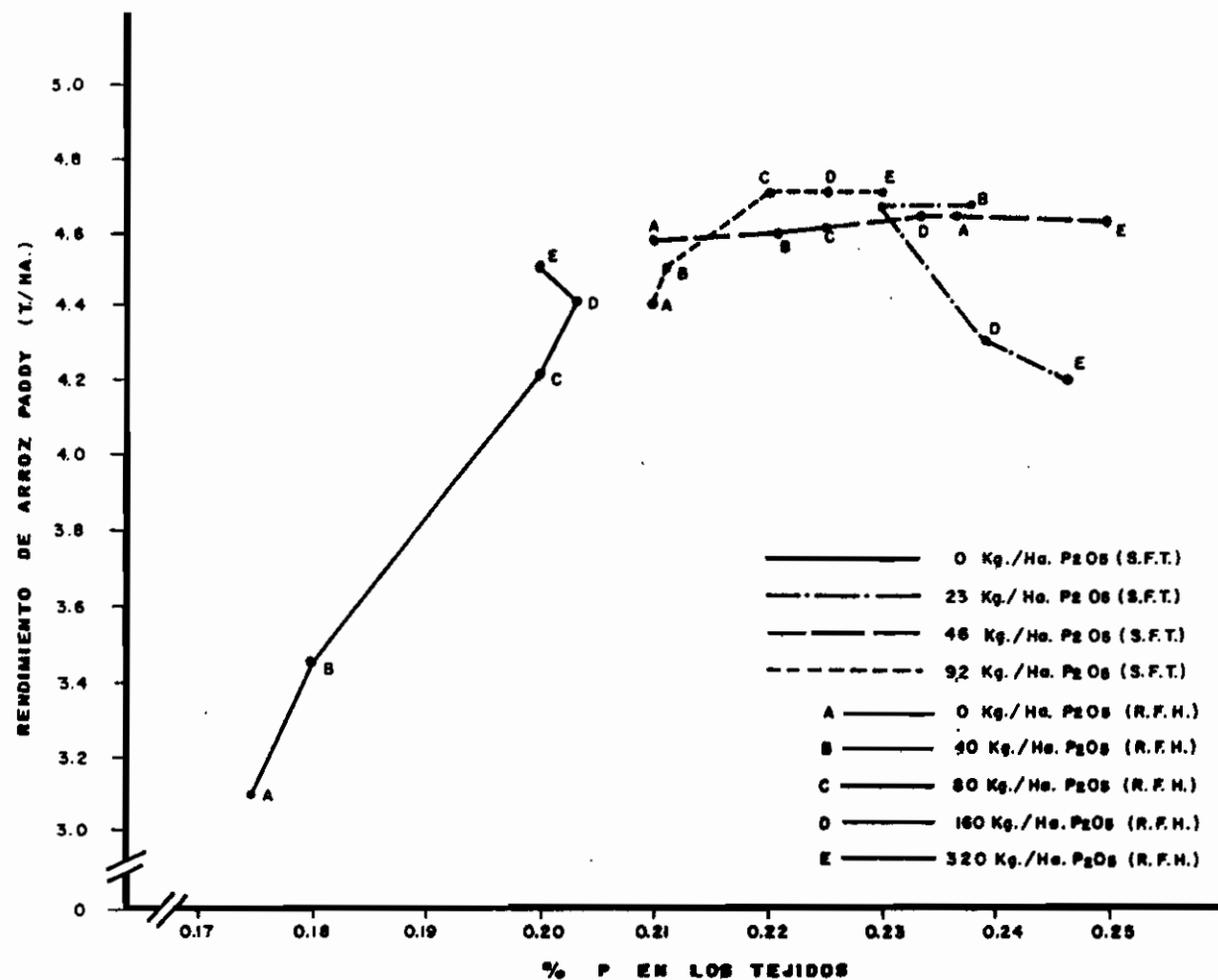
Las figuras 13 y 14 destacan la tendencia del arroz a incrementar su rendimiento cuando aumentan los contenidos de P en los tejidos.

En la variedad Cica-4 se observó un incremento altamente significativo al pasar la concentración de 0.20 a 0.25% aumentando la producción de 4.100 kg/ha de arroz en el testigo a 5.400 kg/ha en otros tratamientos. Parece ser que la concentración óptima de P en los tejidos para alcanzar las mejores producciones de arroz están en el rango de 0.25 a 0.27%. Al aumentar la concentración de P en el tejido la producción se disminuye, debido probablemente a un efecto tóxico o a un desequilibrio entre nutrientes (51). Las RFS a pesar de su baja solubilidad son capaces de aportar a la planta concentraciones de P a los tejidos suficientes para alcanzar rendimientos económicamente aceptables.

En la variedad Oryzica-1 se observa una tendencia similar a la presentada en Cica-4, pero la planta responde mejor a concentraciones más bajas de P. Aquí los rendimientos más altos se alcanzaron con concentraciones entre 0.22 y 0.23% pero la planta parece menos hábil para extraer el P del suelo. El testigo de esta variedad extrajo 0.17%



**FIGURA : 13. RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE FOSFORO HALLADO A LOS 45 DIAS EN LOS TEJIDOS DE LAS PLANTAS Y SU RENDIMIENTO EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA VARIEDAD CICA 4 .**



**FIGURA : 14.** RELACION ENTRE EL CONTENIDO DE P HALLADO A LOS 45 DIAS EN LOS TEJIDOS DE LAS PLANTAS Y SU RENDIMIENTO EN LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS UTILIZADOS EN LA VARIEDAD ORYZICA I.

frente a 20% de la Cica-4.

Los niveles de P en los tejidos del arroz bajaron en todos los tratamientos a los 85 días de edad de la planta, pasando en promedio de 0.27% a 0.20% en Cica-4 y de 0.23% a 0.17% en Oryzica-1. Para los distintos tratamientos utilizados no se presentaron diferencias significativas ni tendencia a conservar el P asimilado en los primeros estados. Tal parece que en los primeros estados de desarrollo de las plantas, por su gran actividad metabólica y por las muchas funciones que en ella ejerce el P, la planta acumula grandes cantidades de este elemento en sus tejidos para ser transformado en otros compuestos vitales. A los 85 días la planta reduce sus actividades metabólicas bajando los niveles de P en el follaje, lo cual también puede atribuirse a efectos de dilución.

También durante la formación del grano gran parte del P que ha quedado en los tejidos pasa al grano para formar un compuesto de reserva llamado fitina que más tarde en la germinación va a ser empleado en los procesos metabólicos de nuevas plantas (37, 39).

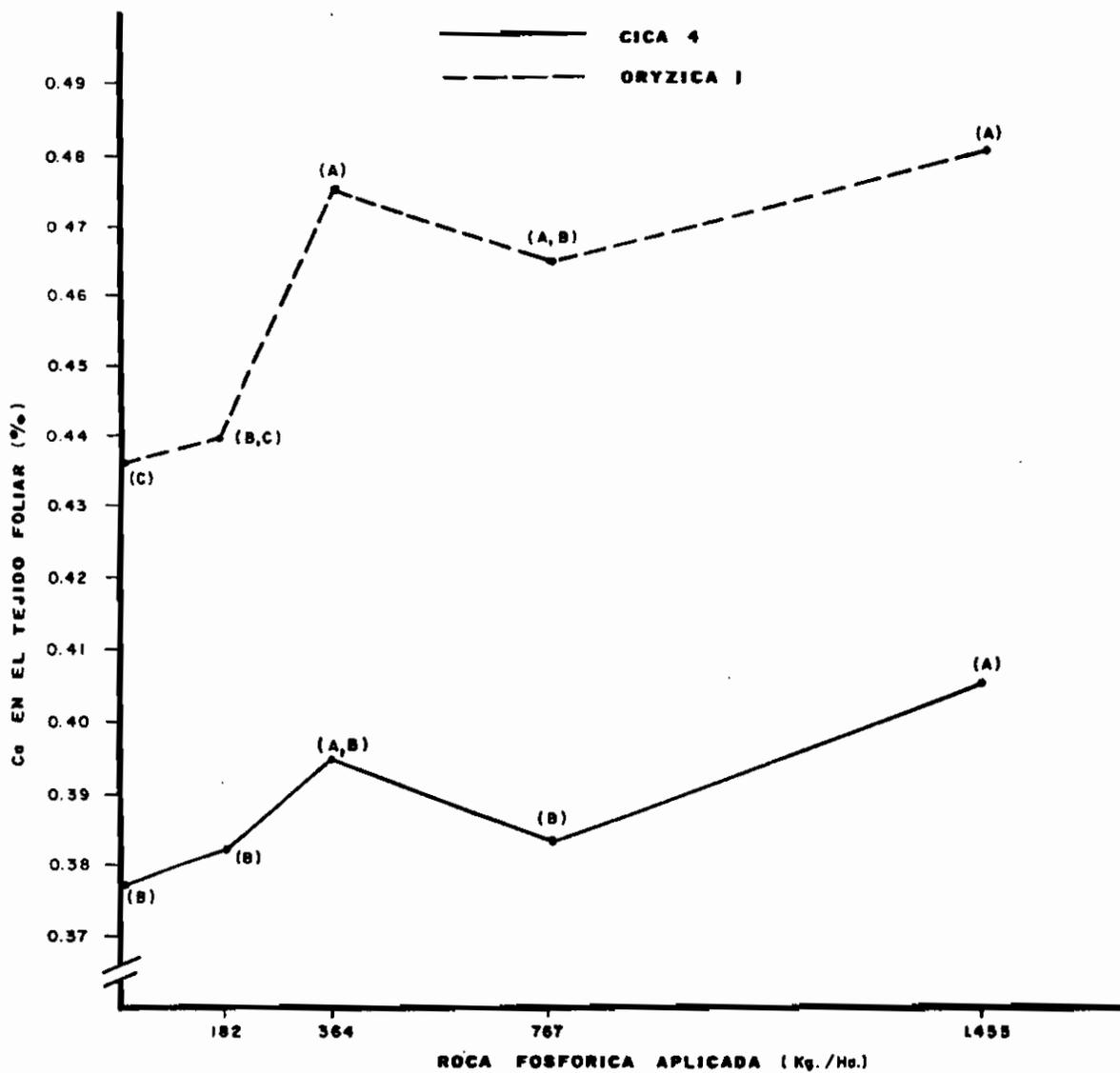
Howeler atribuyó la baja concentración de P en los tejidos a esta edad de la planta al fenómeno de fijación de P en el suelo, por lo cual se disminuye su disponibilidad aunque se haya agregado en dosis altas (23).

#### 4.1.7 Efecto sobre el contenido de calcio en el follaje

Con el fin de observar si el calcio proveniente de las RFS tiene algún efecto sobre la concentración de este nutrimento en el tejido de las plantas, se hicieron análisis de tejidos para los distintos tratamientos. Los resultados muestran que las aplicaciones de RFH tiene alguna influencia sobre la concentración de calcio en el follaje. Mientras más altas fueron las cantidades de roca aplicada mayor fué el aumento en los contenidos de calcio. León y Fenster (30) en ensayos con Brachiaria decumbens en Oxisoles de Carimagua encontraron resultados similares.

Tanto para la variedad Cica-4 como para la variedad Oryzica-1 las aplicaciones de altas dosis de RFH aumentaron significativamente la concentración de calcio en el tejido con relación al testigo, al pasar de 0.377% a 0.405% y de 0.436% a 0.480% en Cica-4 y Oryzica-1 respectivamente. En la figura 15 se muestran las concentraciones de calcio en el tejido, donde se observa que la variedad Oryzica-1 extrajo más calcio del suelo que la variedad Cica-4, contrario a lo sucedido con las extracciones de P. Parece ser que la capacidad de extracción de nutrientes para las dos variedades en estudio es diferente, tanto en cantidad como en el tipo de nutrimento.

#### 4.2 EFECTO DE LA APLICACION DE $P_2O_5$ COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE ALGUNAS PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO



**FIGURA : 15.** EFECTO DE LA APLICACION DE ROCA FOSFORICA SOBRE LA CONCENTRACION DE Cd EN EL FOLLAJE DEL ARROZ EN DOS VARIEDADES , CICA 4 Y ORYZICA 1. (Duncan al 5%).

Con el fin de evaluar el efecto residual de la RFH y el SFT y la incidencia de estas dos fuentes sobre algunas propiedades químicas del suelo, tales como pH, Al, Ca y P, se hicieron estas determinaciones a muestras tomadas en todos los tratamientos. Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza.

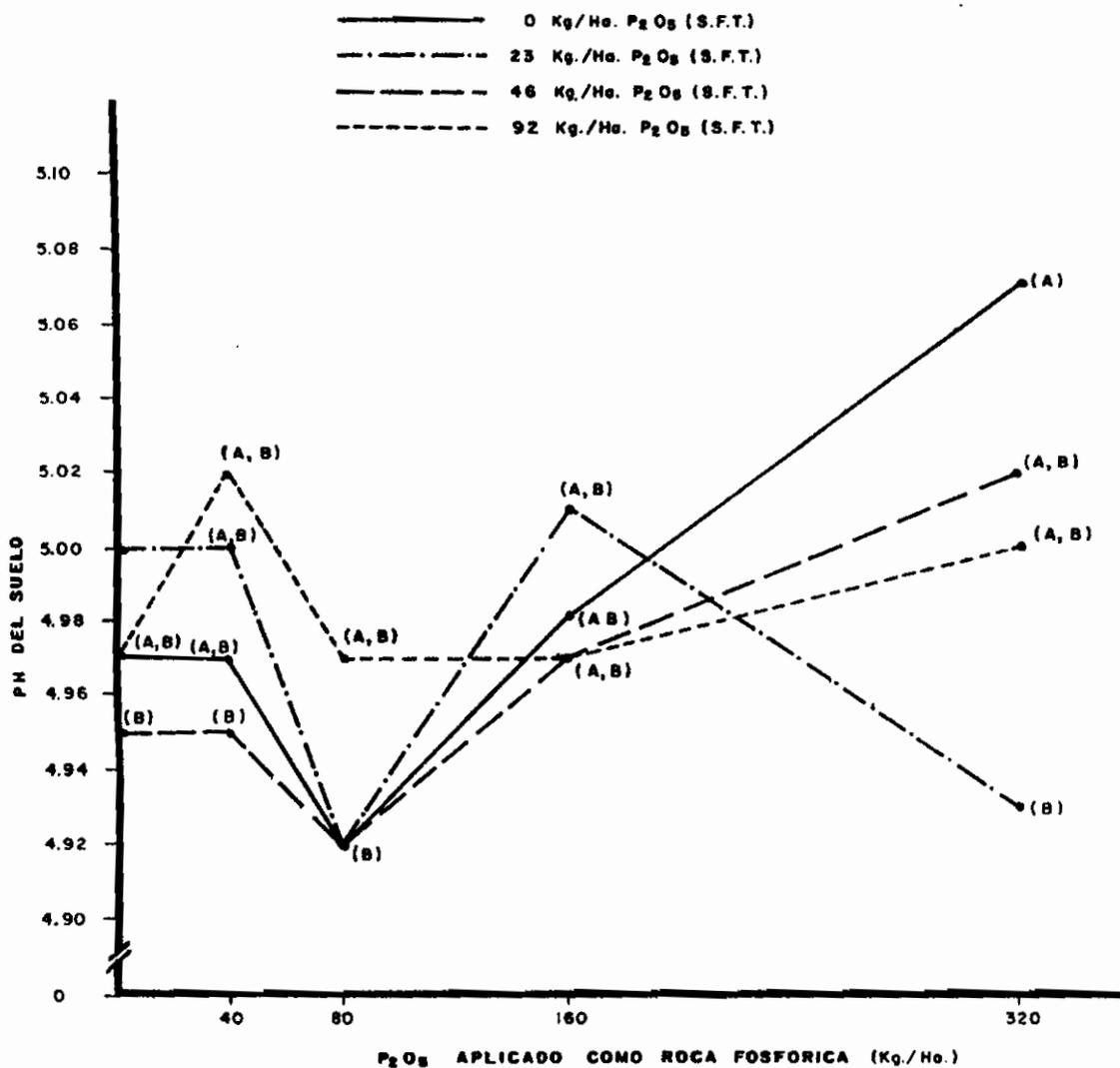
#### 4.2.1 Efecto sobre el pH

Los rendimientos obtenidos se muestran en la figura 16, donde se aprecia que tanto la RFH como el SFT no tuvieron efectos significativos sobre el pH del suelo. Sin embargo con las aplicaciones de altas dosis de  $P_2O_5$  aplicadas como RFI se observó una ligera tendencia inestable a aumentar el pH del suelo.

A pesar de la insistencia que se hace de la RFH como correctivo de acidez debido a la alta concentración de Ca se puede anotar que la reacción del suelo no sufrió alteración significativa a las aplicaciones de altas dosis de este material después de cinco meses de aplicada y que si se piensa aumentar el pH de un suelo es necesario utilizar las enmiendas verdaderas.

#### 4.2.2 Efecto sobre el aluminio

La aplicación de distintas dosis de  $P_2O_5$  como RFH y SFT no modificaron significativamente el contenido de Al intercambiable después de cinco



**FIGURA : 16.** EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL pH DEL SUELO DESPUES DE COSECHADO EL ARROZ . (Duncan al 5%).

meses de incorporación (Figura 17). No se encontró una tendencia definida de este elemento en el suelo, indicando que la RFH tampoco cumple con la función de neutralizar Al.

Estos resultados no concuerdan con los encontrados por Michielin, León y Ramírez (38), quienes hallaron una tendencia a disminuir el Al con aplicaciones de RF y escorias thomas, trabajando con pasto elefante y pangola, probablemente debido a que trabajaron a más largo plazo.

#### 4.2.3 Efecto sobre el Calcio en el suelo

De los resultados expuestos en la figura 18 se aprecia que el contenido de Ca en el suelo después de cosechado el arroz no fué afectado significativamente por las aplicaciones de  $P_2O_5$  como RFH y SFT. Esto indica que el Ca de la RFH es bastante insoluble y por tanto una RF no se debe aplicar con el propósito de suministrar Ca como nutrimento y de esta manera tampoco cumplen otras funciones de los correctivos. En cambio, Michielin y colaboradores (38) encontraron que aplicaciones de 200 kg/ha de  $P_2O_5$  como RF aumentaron los contenidos de Ca en el suelo. Esto podría atribuirse al tiempo del experimento o a las condiciones del suelo donde se hizo la investigación.

#### 4.2.4 Efecto sobre el Fósforo en el suelo

Los efectos de las aplicaciones de  $P_2O_5$  como RFH y SFT sobre el conte-



UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS  
HEMEROTECA  
Villavicencio - Meta

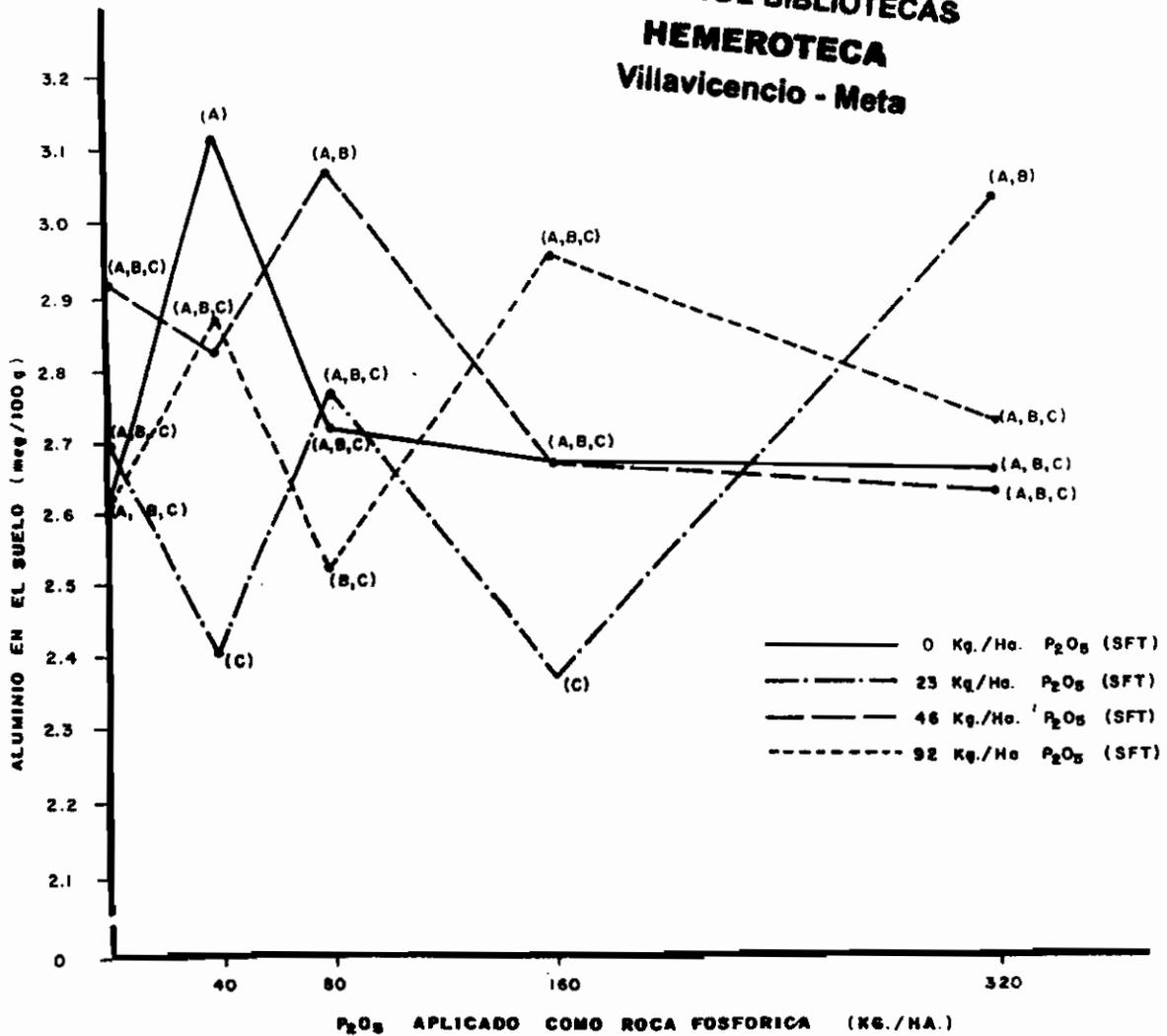
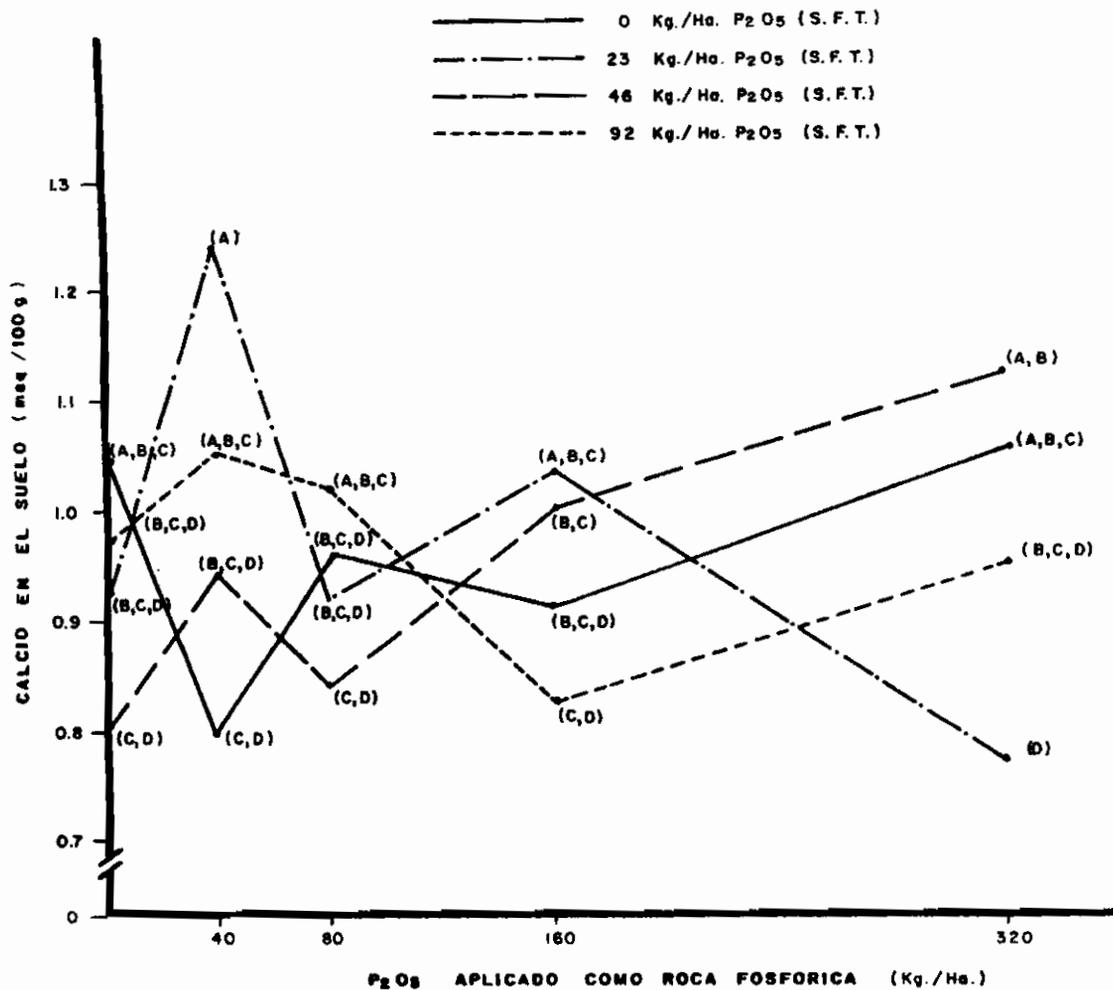


FIGURA : 17. EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL CONTENIDO DE ALUMINIO EN EL SUELO DESPUES DE COSECHADO EL ARROZ . (Duncan al 5%).



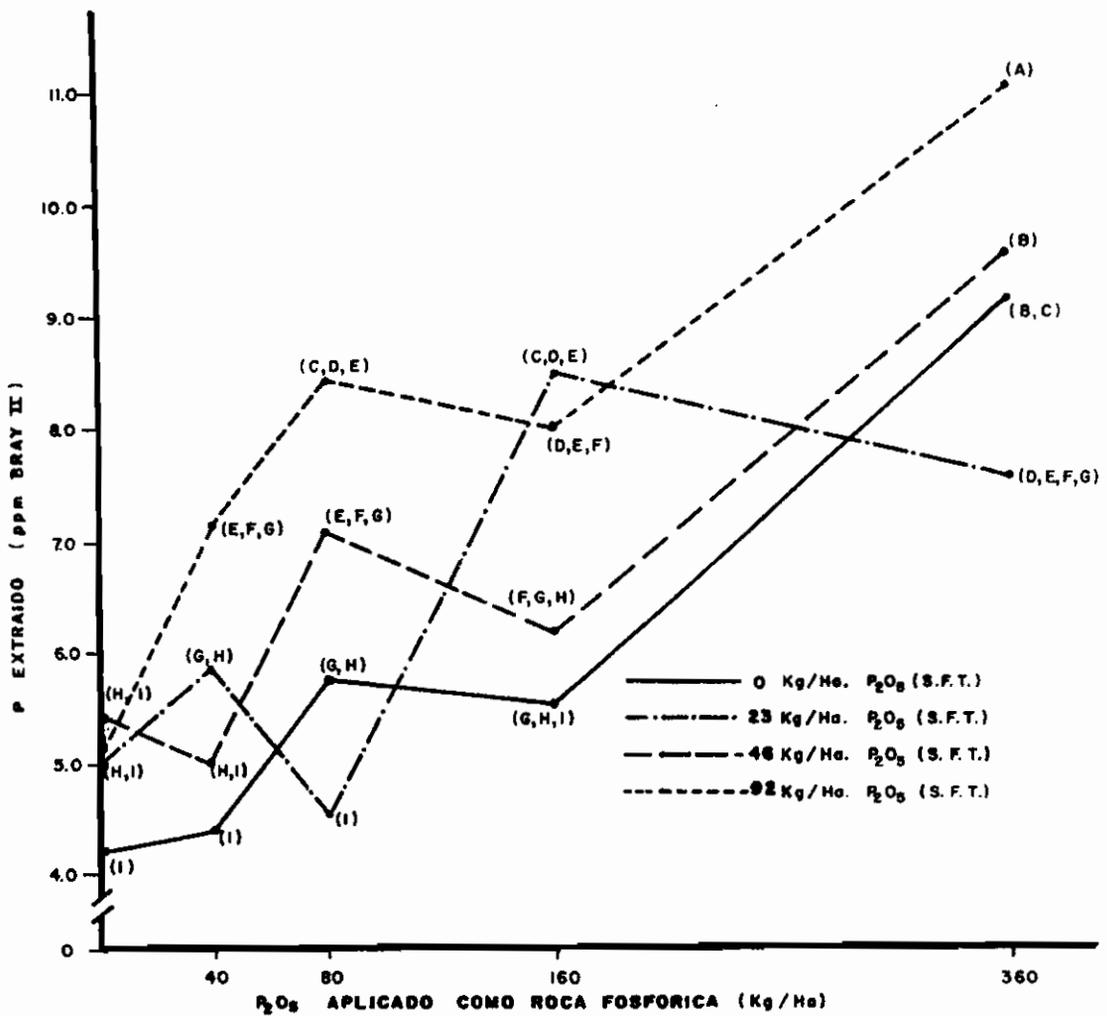
**FIGURA : 18. EFECTO DE LA APLICACION DE P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE EL CONTENIDO DE Ca EN EL SUELO DESPUES DE COSECHADO EL ARROZ. (Duncan al 5%).**

nido de P en el suelo extraído por el método de Bray II después de cosechado el arroz se observan en la figura 19. Los resultados muestran que hubo diferencias significativas en tre las fuentes y las dosis empleadas.

En general, los resultados muestran que en los tratamientos en donde se utilizó la dosis de 320 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH la residualidad del P fué superior en 5 ppm con relación al testigo, al pasar de 4 a 9 ppm; la mezcla de 320 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH y 92 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT produjeron el mayor efecto residual al pasar de 4 a 11 ppm de P con una diferencia de 7 ppm sobre testigo, estas diferencias fueron significativas. En los demás tratamientos siempre se observa un incremento en el contenido de P en el suelo a medida que se aumentan las dosis de  $P_2O_5$  como RF.

Contrario a los efectos producidos por la RF, el SFT no produjo alteración significativa en la concentración de P en el suelo. Esto podría explicarse por la alta solubilidad de esta fuente, que en este sentido si la colocan en desventaja frente a otras menos solubles, cuando se trata de utilizar en suelos con características como los de los Llanos Orientales.

Según Sánchez y Owen (50), el hecho por el cual el SFT no presentó residualidad, se debe a que el  $P_2O_5$  de esta fuente en su mayor parte es soluble en agua, lo cual facilita la fijación por los óxidos de Fe



**FIGURA : 19. EFECTO DE LA APLICACION DE  $P_2O_5$  COMO ROCA FOSFORICA Y SUPERFOSFATO TRIPLE SOBRE LA CONCENTRACION DE P EN EL SUELO EXTRAIDO POR EL METODO DE BRAY II . (Duncan al 5%).**

y Al que se encuentran en alta concentración en estos suelos.

En conclusión, los resultados indican un alto efecto sobre la concentración de P en el suelo cuando se utilizan las RFS como fuentes de P que pueden ser de mucha importancia para posteriores cosechas. Estos resultados confirman los encontrados en otros ensayos en donde se utilizó la RF como fuente de P (50, 31, 6, 36).

Estos resultados de pH, Al, Ca y P permiten concluir que las RFS no deben aplicarse con el propósito de esperar a corto plazo efectos correctivos y que su principal función en el suelo es como fuente de P.

Para tener un concepto más preciso de la residualidad de estas fuentes, los resultados fueron objeto de un análisis de regresión para cada fuente, obteniéndose en las siguiente ecuaciones:

RFH:

$$Y = 5.038 + 0.014 (X_1) - 0.0000044 (X_1)^2$$

$$R^2 = 0.29$$

SFT:

$$Y = 5.81 + 0.015 (X_2) - 0.000082 (X_2)^2$$

$$R^2 = 0.08$$

Donde :

$Y = \text{ppm de P Bray II}$

$X_1 = \text{P}_2\text{O}_5 \text{ como RFI}$

$X_2 = \text{P}_2\text{O}_5 \text{ como SFT}$

Como se puede apreciar por los coeficientes de regresiones parciales y el  $R^2$  la RFI tiene un buen efecto residual de P útil para posteriores cosechas, en contraste con el SFT que no presenta ningún efecto residual.

## 5. ANALISIS ECONOMICO DE LOS TRATAMIENTOS

Teniendo en cuenta que se presentaron diferencias significativas entre los 20 tratamientos en las dos variedades en estudio, se presenta continuación un cuadro comparativo entre los costos de inversión reales de  $P_2O_5$  como roca fosfórica y superfosfato triple y las ventas, para que cada agricultor se forme un concepto y tome decisión sobre cual dosis y fuente utilizar.

TABLA 5. Análisis económico de los tratamientos, en CICA-4

1	2	3	4	5	6
Trata- miento	Producción Kg/ha. $\bar{X}$	Costos Fijos $\bar{X}$ <u>1/</u>	Inversiones Reales P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <u>2/</u>	Ventas $\bar{X}$	Utilidad Ha
1	4.098		-o-	99.909	28.695
2	4.888		1.940	119.167	46.015
3	4.909		3.880	119.681	44.587
4	5.258		7.760	128.190	49.216
5	4.257		2.875	103.785	29.696
6	4.914		4.816	119.803	43.773
7	4.993		6.756	121.729	43.759
8	5.363		10.636	130.749	48.899
9	4.818		5.735	117.462	40.513
10	4,941	71.214.00	7.675	120.451	41.572
11	5.277		9.615	126.659	47.830
12	5.441		13.495	132.651	47.942
13	4.836		11.487	117.901	35.200
14	5.109		13.427	124.557	39.916
15	5.188		14.367	126.483	40.422
16	5.367		19.247	130.847	40.386
17	5.073		22.973	123.679	29.492
18	5.441		24.913	132.651	36.524
19	5.336		26.853	130.091	32.024
20	5.105		30.733	124.459	22.512

1/ Inversión hecha en el cultivo sin incluir tratamientos.

2/ Costo de los tratamientos incluyendo aplicación.

TABLA 6. Análisis económico de los tratamientos, en ORYZICA-1.

1	2	3	4	5	6
Trata- miento	Producción Kg/ha $\bar{X}$	Costos Fijos $\bar{X}$ 1/	Inversiones Reales P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 2/	Ventas $\bar{X}$	Utilidad Ha
1	3.084		-o-	75.187	3.973
2	4.402		1.940	107.321	34.167
3	4.581		3.880	111.685	36.591
4	4.617		7.760	112.562	33.588
5	3.446		2.875	84.013	9.924
6	4.508		4.816	109.905	33.875
7	4.629		6.756	112.855	34.885
8	4.703		10.636	114.659	32.809
9	4.237		5.735	103.298	26.349
10	4.692	71.214.00	7.675	114.391	35.502
11	4.651		9.615	113.391	32.562
12	4,749		13.495	115.781	31.072
13	4.422		11.487	107.808	25.107
14	4.688		13.427	99.665	30.024
15	4.671		14.367	113.879	28.298
16	4.286		19.247	104.493	14.032
17	4.576		22.973	111.563	17.376
18	4.691		24.913	114.367	18.240
19	4.691		26.853	114.367	16.300
20	4.218		30.733	102.835	888

1/ Inversión hecha en el cultivo sin incluir tratamientos.

2/ Costo de los tratamientos incluyendo aplicación.

## 6. CONCLUSIONES

Del análisis estadístico de los resultados obtenidos bajo condiciones experimentales de campo, se llega a las siguientes conclusiones:

La aplicación de P como RFH y SFT produjo aumentos significativos sobre la altura de las plantas en las dos variedades utilizadas. Las mayores alturas de planta se obtuvieron cuando se aplicó la RFH combinada con el SFT y éste en forma individual.

La fertilización fosfatada disminuyó significativamente el porcentaje de vaneamiento. El P como RFH fué significativamente inferior al suministrado como SFT y sus combinaciones resultaron bastante efectivas. De acuerdo con los coeficientes parciales de regresión, se puede decir que la fuente soluble es decisiva en la disminución del vaneamiento y que en general esta variable es altamente dependiente del P, lo cual concuerda con datos reportados en otros suelos de características similares.

En concordancia con la disminución del vaneamiento por efecto de la fertilización con P, el rendimiento de arroz paddy también fué afectado significativamente en las dos variedades. En general, los resultados mostraron que las combinaciones de RFH y SFT produjeron rendimientos más altos que cuando se utilizaron individualmente, obtenién-

dose con ello una alternativa práctica para el uso de las RFS.

Los análisis de regresión indican que puede obtenerse una producción económicamente rentable de la variedad Cica-4 con 66.3 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH y 78.8 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT. En Oryzica-1 el rendimiento óptimo económico puede obtenerse con 168 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH y 47 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT.

El aumento progresivo en las dosis de P como RFH y SFT causó un incremento significativo sobre su contenido en el follaje, siguiendo una tendencia bastante definida para las variedades. Los contenidos más bajos de P en el tejido se presentaron en los tratamientos que contenían la RFH sola. Cuando las fuentes se aplicaron en forma combinada la absorción de P fué mayor, indicando la forma como se complementan estas fuentes de P para una mejor nutrición del arroz.

La calidad de molinería fué mejorada significativamente en las dos variedades por la aplicación de P. Los resultados muestran que los rendimientos fueron más bajos cuando se aplicó P como RFH sola, especialmente en las dosis inferiores.

Los análisis de regresión confirman que más del 50% de la calidad de molinería puede depender del P en suelos pobres en él.

Desde el punto de vista económico, las aplicaciones de altas dosis de

de  $P_2O_5$  como SFT dieron el mayor rendimiento, pero aplicaciones de RFH con SFT en dosis moderadas dieron rendimientos similares y mostraron mayor residualidad de P en el suelo útil para posteriores cosechas.

Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que en el cultivo de arroz, la RFH por si sola no es capaz de suministrar todo el P que requiere la planta especialmente cuando esta se agrega en dosis bajas y que para obtener éxito con este tipo de materiales es necesario complementarlas con fuentes más solubles, especialmente en la primera cosecha.

Cuando se utilizaron altas dosis de  $P_2O_5$ , tales como 320 kg/ha como RFH y 92 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT, se produjo reducción significativa de los rendimientos, lo cual se atribuyó posiblemente, a un desbalance con los demás nutrimentos o a un efecto tóxico producido por el mismo P.

De los análisis de suelos efectuados después de cosechado el arroz se observó aumento significativo en el P del suelo a medida que se incrementaron las dosis de  $P_2O_5$  como RFH. Cuando la fuente fué SFT no se presentaron aumentos significativos.

Las aplicaciones de  $P_2O_5$  como RFH y SFT no tuvieron ningún efecto significativo sobre el pH y el contenido de calcio y aluminio del suelo.

Finalmente se sugiere hacer más investigación sobre fertilización fosfatada especialmente con rocas fosfóricas en cultivos semestrales y estudiar la residualidad del P proveniente de estas fuentes con siembra sucesivas.

## 7. RESUMEN

En el Centro Regional de Investigaciones La Libertad del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en el segundo semestre de 1983 se realizó un trabajo de investigación con el fin de estudiar el uso eficiente de dos fertilizantes fosfatados en la producción de arroz riego y el efecto del fósforo sobre la calidad del grano, con su consiguiente repercusión económica.

El suelo donde se llevó a cabo el experimento se encuentra en una terraza media, de la clase agrológica III, y clasificado por Guerrero y Cortés (18) como Tipic haplorsthox.

Las fuentes utilizadas fueron Roca Fosfórica del Huila (RFH) del 22% de  $P_2O_5$  y superfosfato triple (SFT) del 46% de  $P_2O_5$  aplicados solos y en combinación. Se emplearon cinco dosis de  $P_2O_5$  como RFH (0, 40, 80, 160 y 320 kg/ha) y cuatro de  $P_2O_5$  como SFT (0, 23, 46 y 92 kg/ha), las cuales se aplicaron al voleo al momento de la siembra. Se empleó una fertilización constante de 100 kg/ha de nitrógeno y 90 kg/ha de  $K_2O$ . Se utilizaron dos variedades, Cica-4 y Oryzica-1. El diseño utilizado fué el de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables en el experimento fueron: altura de las plantas, porcentaje de vaneamiento, rendimiento de grano, rendimiento de pilada, índice de pilada y porcentaje de fósforo y calcio en el tejido del

arroz a los 45 y 85 días de edad del cultivo.

Después de recolectado el arroz, fueron tomadas muestras de suelos para determinar el pH, Al, Ca y P.

El arroz riego respondió favorablemente a las aplicaciones de fósforo. Todas las variables fueron afectadas positiva y significativamente por los incrementos de  $P_2O_5$ . Los mejores resultados se obtuvieron con el uso de la RFH en combinación con SFT. Con las dosis estudiadas se encontró que aplicaciones de 320 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH en combinación con 92 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT producían efectos adversos.

Las ecuaciones de regresión mostraron que el máximo económico de producción se obtiene para Cica-4 y Oryzica-1 con las combinaciones de 66 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH con 79 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT y 168 kg/ha de  $P_2O_5$  como RFH con 47 kg/ha de  $P_2O_5$  como SFT respectivamente.

El análisis químico de los suelos después de cosechado el ensayo, mostró que el contenido de fósforo en el suelo aumentó a medida que se incrementaron las dosis de  $P_2O_5$  aplicadas como RFH. Las aplicaciones de SFT no aumentaron el contenido de fósforo en el suelo. Las dos fuentes utilizadas no tuvieron efecto sobre el pH, Al y Ca del suelo.

## BIBLIOGRAFIA

1. BLASCO, M. L. El fósforo orgánico y su metabolismo en los suelos. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en zonas tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. VI No. 1. Bogotá. 1974. P. 19-49.
2. CABALA, P.R. and WILD, A. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. Effect of reaction time in soil. Plant and Soil. 1982. 65: 351-362.
3. \_\_\_\_\_ . Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. Effects of mycorrhizal inoculation and nitrogen source. Plant and Soil. 1982. 65: 363-373.
4. CALVO, F.A., SPAIN, J. M., HOWELER, R.H. La aplicación de cal y fósforo para diferentes cultivos en suelos de los Llanos Orientales de Colombia. Memorias de V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y IV Coloquio Nacional sobre Suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. VIII. No. 1. Bogotá. 1977. P. 151-159.

5. CIAT 1974. Informe anual. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
6. \_\_\_\_\_. 1977. Informe anual. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
7. \_\_\_\_\_. 1978. Informe anual. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
8. CHIFN, S. H. Dissolution rates of phosphate rock. Reprinted from the Soil Science Society of American Journal. Vol. 41. No. 3, May-june, 1977. P. 656.
9. \_\_\_\_\_. Dissolution of phosphate rocks in a flooded acid soil. Reprinted from the Soil Science Society of America Journal. Vol. 41 No. 3 May - june, 1977. P. 1106.
10. DAVIDE, J.G. The time and methods of phosphate fertilizer applications. En: The mineral nutrition of the rice plant. published for: The International Rice Research Institute. By the Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland. 1964. P. 255-267.

11. FASSBENDER, H. W. Aspectos físico-químicos de las interacciones del fósforo con otros elementos. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en Zonas Tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. VI. No. 1. Bogotá. 1974. P. 45-66.
12. \_\_\_\_\_ . Estudio del fósforo en suelo de América Central. IV. Capacidad de fijación de fósforo y su relación con características edáficas. Separado de Turrialba, Costa Rica. Vol. 19. No. 4. Trimestre Oct-Dic. 1969. P. 497-505.
13. FOX, R. L. y BENAVIDEZ, S. T. El fósforo de los Oxisoles. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en Zonas Tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. 6 No. 1. Bogotá, 1974. P. 137-166.
14. FUJIWARA, A. The specific roles of nitrogen, phosphorus and potassium in the metabolism of the rice plant. En: The mineral nutrition of the rice plant. Published for: The International rice research Institute. By: The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland. 1964. P. 93-101.

15. GARAVITO, F. N. Cambios físico-químicos en suelos inundados. Revista Arroz. Vol. 24. No. 256. Feb. 1975. Bogotá. P. 32-36.
16. GUERRERO, R. R. Los fertilizantes químicos, propiedades y comportamiento agronómico. En: Fertilidad de Suelos y Fertilizantes. Instituto Colombiano Agropecuario. Compilación del curso No. 45. Tibaitatá. 1982. P. 307-325.
17. \_\_\_\_\_. La recomendación de fertilizantes. Fundamentos y aplicaciones. En: Fertilidad de Suelos. Diagnóstico y Control. Francisco Siva Mojica. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. 1980. P. 225-267.
18. GUERRERO, A. CORTES, A. Caracterización y clasificación de perfiles seleccionados de suelos del C.N.I.A. La Libertad y zonas aledañas. División de Agronomía del ICA, Programa de suelos e Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Departamento Agrológico. Bol. de Invest. No. 46. P. 131. 1976.
19. HAMMOND, L. L., CHIEN, S. H. and POLO, J. R. Phosphorus availability from partial acidulation of two phosphate rocks. Fertilizer Research. 1: 37-49, 1980.

20. HANKE, F. La utilización de la fosfórica Colombiana por medio de procesos microbiológicos. En: Suelos Ecuatoriales. El Fósforo en Zonas Tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. 4 No. 1. Bogotá. 1974. P. 301-325.
21. HASEMAN, J. F. GRAYN, E. H. and WHITT, C. D. Some reaction of phosphate whit clays and hydrous oxides of iron and aluminum. Soil Science. Vol. 70. P. 257-270.
22. HERNANDO, V. and PARIJO, M.T. Effect of fertilization and development of plant on the forms of onorganic phosphorus in soil. Agrochimica. XIX, No. 34. Maggio- luglio. 1975.
23. HOWELER, R. H. La fertilización fosfórica del arroz de riego y de secano. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en Zonas Tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. 4 No. 1. Bogotá. 1974. P. 245-263,
24. HSU, Pa. Ho. Fixation of phosphate by aluminium and iron in acidic soils. Soil Science. 1965. Vol. 99. Soc. Am. P. 399-402.

25. IDEMA. Instituto de Mercadeo Agropecuario. El arroz control en la elaboración y clasificación en blanco. 1977. Bogotá. 105 P.
26. JUO, A. S. R. and KANG, B. T. Availability and transformation of rock phosphate in three forest soils from Southern Nigeria. In: Soil Science and Plant Analysis. 9 (6), 493-505. 1978,
27. KAMPRATH, F.T. Aspectos químicos y formas minerales del fósforo del suelo en regiones tropicales. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en Zonas Tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. 4. No. 1. Bogotá. 1974. P. 1-18.
28. KHALID, W. H., PATRICK, J. R., and DELAUNE, R. D. Phosphorus sorption characteristics of flooded soil. Reprinted from the Soil Science Society of America Journal. Vol. 41. No. 2. March - April. 1977.
29. LEON, L. A. El uso de rocas fosfóricas en suelos ácidos del tropico Americano. En: Fertilidad del Suelo; Diagnóstico y Control. Francisco Silva Mojica. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1980. P. 359-376,

30. LEON, L. A. y FFNSTER, W. E. Evaluación del uso de rocas fosfóricas en los Llanos Orientales de Colombia. IFDC/CIAT. Cali, Colombia. Enero 28 1980.
31. \_\_\_\_\_ . Como la roca fosfórica puede ser una fuente eficiente de fósforo para las plantas. IFDC/CIAT. Cali, Colombia. 1980. 10 P. mimeografiado.
32. LEON, L. A., RIAÑO, A., OWEN, E., RODRIGUEZ, M. y SANCHEZ, L.F. Investigaciones realizadas en Colombia sobre el uso de diversas fuentes de fósforo (p) como fertilizantes. CIAT, reimpreso de una publicación conjunta del ICA y el Departamento Técnico Agrícola de ABOCOL. Cali.
33. LOTERO, J. C. Absorción del fósforo y sus funciones en la planta. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en zonas tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. 6 No. 1. Bogotá. 1974. P. 67-96.
34. MARIN. G. J. El fósforo del suelo. Revista ICA. Vol. 5 No. 34. Bogotá, 1977. P. 1 - 34.

35. MARTVEDT, J. J. Desarrollo reciente de la tecnología de fertilizantes fosfatados. Suelos Ecuatoriales. El fósforo en Zonas Tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. VI. Bogotá, 1974. P. 389-407.
36. MATTINGLY, G. E. G. Residual value of basic slag, Gafsa rock phosphate and superphosphate in a sandy podsol. Journal of Agricultural Science. Vol. 75. Part. 1. P. 413-417. 1970.
37. MENGEL, K., KIRKBY, E. A Phosphorus. In: Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute. P. O. Box, CH. 3048. Worblaufen - Bern/Switzerland. 2a. ed. 1979. P. 347 - 365.
38. MICHIELIN, A. de P., LEON, L. A. y RAMIREZ, A. V. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados en la producción de pastos en suelos ácidos. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en Zonas Tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. 6 . No. 1. Bogotá, 1974. P. 265-287.
39. MOREIRA, C. N. NAKAGAWA, J. Sementes Ciencia, Tecnologia e Producao. Fundacao Cargill. Campinas, 1983. P. 53-74.

40. OSPINA, N. O. El fósforo en los Andosoles. En: Suelos Ecuatoriales. El fósforo en Zonas Tropicales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. 6. No. 1. Bogotá, 1974. P. 97-124.
41. OWEN, E. J. y SANCHEZ, L.F. Uso y manejo de los suelos de la parte plana del Departamento del Meta. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Programa Nacional de Suelos. Voletín No. 67. Bogotá, 1979. 74 P.
42. PERDOMO, M. A. CORREA, J. y MALAVER, L. Nutrición mineral. Introducción a la filosofía de cultivos tropicales. Universidad Nacional de Colombia e Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, 1968. P. V-10 a V-11.
43. PORANANOND, K. and SEARLE, P. G. E. The effect of time of fertilizer-sil contac, distance of phosphate movement and fertilizer solubilitate on phosphate availability to early. Plent and Soil. 46, 391-404. 1977.
44. ROY, R. N., SEETHARAM, S. and SINGH, R.N. Fertilizer use research in India. Phosphorus Agric. Inglaterra. Vol. 32 No. 74. P. 15-25. 1978.

45. SALINAS, J. G. y GARCIA, R. Métodos analíticos para suelos ácidos y plantas. Cali. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Programa Pastos Tropicales. 54 P. 1979.
46. SANCHEZ, P. A. Fósforo, Silicio y Azufre. En: Suelos del Trópico; Características y Manejo. Traducción de Edilberto Camacho. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 1a. ed. 1981. P. 259-300.
47. SANCHEZ, L. F. Respuesta del arroz de riego (Oryza sativa) a la aplicación de Roca Fosfórica en suelos ácidos. Revista Carta Agraria. No. 276. P. 10-14. 1980.
48. SANCHEZ, L.F.; ROSERO, M. J.; DAVALOS, A. Problemas nutricionales en el cultivo del arroz de riego en los Llanos Orientales. Suelos Ecuatoriales. Colombia, Vol. 14. No. 1. P. 28-40. 1984.
49. SANCHEZ, L. F.; OWEN, E. J. Manejo de correctivos y fertilizantes en arroz riego y seco en los Llanos Orientales. Curso de Actualización de conocimientos de arroz. ICA/ FEDEARROZ.

50. \_\_\_\_\_ . Fuentes de fósforo en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia. Revista ICA. Vol. XLV, No. 3. P. 155-162. 1979.
51. SMITH, P. F. 1962. Ann. Vev. Plant Phtsiology. 13: 81-108.
52. SMITH, T. J. And SANCHEZ, P.A. Phosphate rock and superphosphate combination for soybeans in a Cerrado Oxisol. Agronomy Journal. Vol. 74 P. 730-735. 1982.
53. SRRE RAMULU, U. S.; and PRATT, P.F. Dissolution of dicalcium phosphate in relation to iron oxide content of acide soil. Soil Science. Vol. 109. P. 35-39. 1970.
54. TAMINI, Y. N.; KANEIRO, Y. and SHERMAN, D. Effect of time and concentration on the reactions of amoniun phosphate with a Humic Latoso. Soil Sci. October, 31. 1966.
55. TEUCHER, H. y ADLER, R. El suelo y su fertilidad. Compañía Editorial Continental, S.A. México. 1a. ed. 1965. P. 249 - 256.
56. THOMPSON, L. M. El suelo y su fertilidad. Editorial Reverte, S.A. Barcelona - Buenos Aires- México. 3a. ed. 1965. P. 215-236.

57. TISDALE, S.I.; NELSON, W.L. El suelo y los fertilizantes fosforados. En: Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Traducción de Dr. Jorge Balasch y Lic. Carmen Piña. Montañes y Simon S.A. Barcelona España. 1a. ed. 1970. P. 212-262.
58. \_\_\_\_\_ . Elementos requeridos en la nutrición de las plantas. En: Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Traducción de Dr. Jorge Balasch y Lic. Carmen Piña. Montañes y Simon S.A., Barcelona España. 1a. ed. 1970. P. 85.
59. YOST, R.S.; NADERMAN, G. L.; KAMPRATH, E. J. and LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measure by an acid tolerant pasture brass and extractable phosphorus. Reprinted from Agronomy Journal. Vol. 74. 1982. P. 462-468.

**A P E N D I C E S**

APENDICE 1. Análisis de varianza de los resultados de la altura de las plantas de arroz  
CICA-4

Fuentes de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	4.8500000	1.6166667	2.36 NS	0.0796
Tratamientos	19	415.2170000	21.85352632	31.92 ++	0.0001
RFH	4	93.6870000	23.42175000	34.22 ++	0.0001
SFT	3	244.0510000	81.35033333	118.85 ++	0.0001
RFH + SFT	12	77.4790000	6.45658333	9.43 ++	0.0001
Error	57	39.0150000	0.68447368		
Total	79	459.0820000			

NS: No significativo al 5%

+: Significativo al 5%

++: Significativo al 1%

CV: 1.4086

APENDICE 2. Análisis de varianza de los resultados de la altura de las plantas de arroz  
ORYZICA-1.

Fuentes de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	4.62000000	1.54000000	1.71 NS	0.1727
Tratamientos	19	744.82800000	39.20147368	43.64 ++	0.0001
RFH	4	83.63300000	20.90825000	23.28 ++	0.0001
SFT	3	443.00800000	147.66933330	164.40 ++	0.0001
RFH + SFT	12	218.18700000	18.18255000	20.24 ++	0.0001
Error	57	51.80000000	0.89824561		
Total	79	800.64800000			

NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 1.5023

APENDICE 3. Análisis de varianza de los resultados de porcentaje de vaneamiento de los granos de arroz riego CICA-4

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	1.50500000	0.50166666	0.99	NS 0.4045
Tratamientos	19	100.27300000	5.27752631	10.43	++ 0.0001
RFH	4	17.14675000	4.28668750	8.48	++ 0.0001
SFT	3	42.97700000	14.32566667	28.32	++ 0.0001
RH + SFT	12	40.14925000	3.34577083	6.61	++ 0.0001
Error	57	28.83000000	0.50578947		
Total	79	130.60800000			

=====  
 NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 5.7447

APENDICE 4. Análisis de varianza de los resultados de porcentaje de vaneamiento de los granos de arroz riego ORYZICA-1

Fuente Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	1.17850000	0.39283333	0.98 NS	0.4103
Tratamientos	19	740.87950000	38.99365789	97.22 ++	0.0001
RFH	4	85.28575000	21.32143750	53.16 ++	0.0001
SFT	3	403.68250000	134.56083330	5.3550 ++	0.0001
RFH + SFT	12	251.91125000	20.99260417	52.34 ++	0.0001
Error	57	22.86150000	0.40107895		
Total	79	764.91950000			

=====  
 NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 4.3090

APENDICE 5. Análisis de vairanza de los resultados del rendimiento de grano del arroz CICA-4

---

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	148576.600000002	49525.53333000	9.09 ++	0.0001
Tratamientos	19	9648024.80000000	507790.77890000	93.21 ++	0.0001
RFH	4	2256765.92500031	564191.48130000	103.57 ++	0.0001
SFT	3	5209069.30000001	1736536.43300000	318.74 ++	0.0001
RFH + SFT	12	2182189.57499999	181849.13130000	33.38 ++	0.0001
Total	79	10107108.80000031			

---

NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 1.4671

APENDICE 6. Análisis de varianza de los resultados del rendimiento de grano del arroz ORYZICA-1

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	25056.73749977	8352.24583000	1.63 NS	0.1910
Tratamientos	19	14250597.73000000	750031.45950000	146.40 ++	0.0001
RFH	4	1959398.80000007	489849.70000000	95.62 ++	0.0001
SFT	3	6166640.73749983	2055546.92100000	401.23 ++	0.0001
RFH + SFT	12	6124558.20000017	510379.85000000	99.62 ++	0.0001
Error	57	292015.01250023	5123.07039474		
Total	79	14567669.48750007			

=====  
 NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 1.6167

APENDICE 7. Análisis de varianza de los resultados del rendimiento de pilada de los granos de arroz CICA-4

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR	> F
Repeticiones	3	0.60937500	0.20312500	0.43	NS	0.7346
Tratamientos	19	101.42137500	5.33796710	11.39	++	0.0001
RFH	4	32.33450000	8.08362500	17.17	++	0.0001
SFT	3	30.52937500	10.17685833	21.62	++	0.0001
RFH + SFT	12	38.55750000	3.21312500	6.83	++	0.0001
Error	57	26.82812500	0.47066886			
Total	79	128.85887500				

=====  
 NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

CV. 1.0097

APENDICE 8. Análisis de varianza de los resultados de rendimiento de pilada de los granos de arroz ORYZICA-1.

Fuentes de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR	F
Repeticiones	3	1.14437500	0.38145666	0.49	NS	0.6930
Tratamientos	19	124.52437500	6.55391447	8.45	++	0.0001
RFH	4	29.73375000	7.31843750	9.44	++	0.0001
SFT	3	26.4713751200	8.82369166	11.38	++	0.0001
RFH + SFT	12	68.77925000	5.73160416	7.39	++	0.0001
Error	57	44.18312500	0.77514254			
Total	79	169.85187500				

NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 1.2821

APENDICE 9. Análisis de varianza de los resultados del indice de pilada de los granos de arroz  
CICA-4.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F	
Repeticiones	3	0.63737500	0.21245833	0.62	NS	0.6066
Tratamientos	19	91.99137500	4.84165131	14.20	++	0.0001
RFH	4	24.24325000	6.06081250	16.78	++	0.0001
SFT	3	26.66437500	8.88812500	26.08	++	0.0001
RFH + SFT	12	41.08375000	3.42364583	10.05	++	0.0001
Error	57	19.42512500	0.34079167			
Total	79	112.05387500				

=====  
NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 0.9240

APENDICE 10. Análisis de varianza de los resultados del índice de pilada de los granos de arroz  
ORYZICA-1

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculada	PR > F
Repeticiones	3	7.00700000	2.33566666	2.68	NS 0.0547
Tratamientos	19	126.78500000	6.67289473	7.65	++ 0.0001
RFH	4	33.38250000	8.34562500	9.57	++ 0.0001
SFT	3	34.08300000	11.36100000	10.03	++ 0.0001
RFH + SFT	12	59.31950000	4.94329166	5.67	++ 0.0001
Error	57	49.70800000	0.87207018		
Total	79	183.50000000			

NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

CV. 148.82

APENDICE 11. Análisis de varianza de los resultados del porcentaje de fósforo a los 45 días en los tejidos de arroz CICA-4

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado medio	F. Calculado	PR>	F
Repeticiones	3	0.00583004	0.00194339	3.39	+	0.0237
Tratamientos	19	0.03519864	0.00185256	3.23	++	0.0002
RH	4	0.01235020	0.00308755	5.39	++	0.0009
SFT	3	0.01557364	0.00519121	9.06	++	0.0001
RH + SFT	12	0.00727480	0.00060623	1.06	NS	0.4113
Error	57	0.03264871	0.00057278			
Total	79	0.07367739				

=====  
 NS: No significativa al 5%

+ Significativa al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 10.1502

APENDICE 12. Análisis de varianza de los resultados del porcentaje de fósforo a los 45 días en los tejidos de arroz ORYZICA-1.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	0.00156754	0.000052251	1.84 NS	0.1486
Tratamientos	19	0.02925994	0.00153999	5.42 ++	0.0001
RFH	4	0.00446988	0.00111747	3.94 ++	0.0069
SFT	3	0.02194314	0.00731438	25.76 ++	0.0001
RFH + SFT	12	0.00284692	0.00023724	0.84 NS	0.6143
Error	57	0.01618671	0.0028398		
Total	79	0.04701119			

NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Signficativo al 1%

C.V. 7.7114

APENDICE 13. Análisis de varianza de los resultados del porcentaje de calcio a los 45 días en los tejidos de arroz CICA-4.

Fuente de Variación		Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR	> F
Repeticiones	3	0.10124000	0.03374666	37.42	++	0.0001
Tratamientos	19	0.02837000	0.00149315	1.65	NS	0.6201
RFH	4	0.00869500	0.00217375	2.41	NS	0.0596
SFT	3	0.00276000	0.00092000	1.02	NS	0.3917
RFH + SFT	12	0.01691500	0.0014958	1.56	NS	0.1291
Error	57	0.05241000	0.00090193			
Total	79	0.18102000				

NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 7.7303

APENDICE 14. Análisis de varianza de los resultados del porcentaje de calcio a los 45 días en los tejidos de arroz ORYZICA-1.

Fuente de Variación	GL.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	0.01255375	0.00418458	3.30 +	0.0264
Tratamientos	19	0.04666375	0.00245598	1.94 +	0.0202
RFH	4	0.02605750	0.00651437	5.14 ++	0.0013
SFT	3	0.00535375	0.00178458	1.41 NS	0.2490
RFH + SFT	12	0.01525250	0.00127104	1.00 NS	0.4587
Error	57	0.07227125	0.00126792		
Total	79	0.13148875			

NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 7.4171

APENDICE 15. Análisis de varianza de los resultados de miliequivalentes de calcio, después de cosechado el arroz.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F
Repeticiones	3	1.53293000	0.51097666	8,43	++ 0.0001
Tratamientos	19	1.68692000	0.08878526	1.46	NS 0.0802
RFH	4	0.10062000	0.02515500	0.42	NS 0.7970
SFT	3	0.12457000	0.04152333	0.69	NS 0.5682
RFH + SFT	12	1.46173000	0.12181083	2.01	+ 0.0399
Error	57	3.45357000	0.06058895		
Total	79	6.67342000			

=====  
 NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 25.1557

APENDICE 16. Análisis de varianza de los resultados de partes por millón de fósforo según B-II, después de cosechado el arroz.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F. Calculado	PR > F	
Repeticiones	3	16.90646375	5.63548791	1.09	NS	0.3630
Tratamientos	19	279.25396380	14.69757704	2.83	++	0.0009
RFH	4	176.09988250	44.02497062	8.48	++	0.0001
SFT	3	49.65821375	16.55273792	3.19	+	0.0300
RFH + SFT	12	53.49586750	4.45798895	0.86	NS	0.5914
Error	57	295.92378875	5.18883090			
Total	79	591.92376875				

=====  
 NS: No significativo al 5%

+ Significativo al 5%

++ Significativo al 1%

C.V. 34.12

S O X H E N V

ANEXO 1: Altura de las plantas a los 120 días. 1/

DOSIS DE P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> KG/HA		ALTURA PLANTAS (CMTS)			
RFH	SFT	CICA-4		ORYZICA - 1	
0	0	54.05	l <u>2/</u>	54.00	k <u>2/</u>
0	23	55.70	k	61.60	hi
0	46	58.80	hij	62.40	fgh
0	92	60.15	def	67.65	a
40	0	54.10	l	57.65	j
40	23	57.90	j	61.95	fgh
40	46	59.30	fgh	62.80	efg
40	92	60.52	cde	67.30	a
80	0	56.00	k	62.20	fgh
80	23	58.65	ij	62.35	fgh
80	46	60.85	bc	64.30	bcd
80	92	61.40	a	67.10	a
160	0	56.00	k	61.55	hi
160	23	59.10	ghi	64.35	bcd
160	46	60.77	bcd	63.25	cde
160	92	60.17	def	64.45	bc
320	0	60.55	cde	62.95	bef
320	23	59.35	fgh	64.50	bc
320	46	61.35	ab	64.00	bcd
320	92	60.00	efg	65.05	b

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferente al nivel del 5%

ANEXO 2: Porcentaje de vaneamiento 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		% de Vaneamiento			
RFH	SFT	CICA-4		ORYZICA -1	
0	0	15.17	a <u>2/</u>	25.02	a <u>2/</u>
0	23	13.42	c	14.80	de
0	46	12.17	def	13.00	ijk
0	92	11.30	h	12.82	ijk
40	0	15.15	ab	21.02	b
40	23	12.67	cde	14.57	ef
40	46	12.17	def	13.02	hij
40	92	11.25	h	12.70	ijk
80	0	12.85	cde	16.60	c
80	23	12.97	cd	13.00	ij
80	46	11.87	efg	13.57	fghi
80	92	11.20	h	12.57	ijk
160	0	12.82	cde	15.80	cd
160	23	11.62	gh	13.35	ghi
160	46	11.67	fg	12.75	ijk
160	92	12.07	def	14.80	de
320	0	11.80	efg	14.40	efg
320	23	11.37	h	12.85	ijk
320	46	11.42	h	13.15	hi
320	92	12.57	cde	14.12	efgh

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 3: Rendimiento de arroz paddy. 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		Arroz paddy (Kg/ha)			
RFH	SFT	CICA-4		ORYZICA-1	
0	0	4.099.75	1 <u>2/</u>	3.084.50	e <u>2/</u>
0	23	4.888.00	fgh	4.402.50	c
0	46	4.908.75	fgh	4.581.00	bc
0	92	5.257.75	bc	4.617.25	bc
40	0	4.256.75	jk	3.446.00	d
40	23	4.914.00	fgh	4.507.75	cd
40	46	4.992.75	ef	4.629.50	ab
40	92	5.363.25	ab	4.703.00	ab
80	0	4.818.50	hi	4.237.00	c
80	23	4.941.25	fg	4.692.25	ab
80	46	5.277.25	bc	4.651.25	ab
80	92	5.441.50	a	4.749.75	a
160	0	4.836.00	ghi	4.422.50	c
160	23	5.109.25	de	4.088.00	ab
160	46	5.188.25	cd	4.671.00	ab
160	92	5.367.00	ab	4.285.75	c
320	0	5.073.25	de	4.575.75	bc
320	23	5.441.50	a	4.691.50	ab
320	46	5.336.00	ab	4.690.75	ab
320	92	5.105.25	de	4.218.25	c

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.



**UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS**  
**SISTEMA DE BIBLIOTECAS**  
**HEMEROTECA**  
**Villavicencio - Meta**

ANEXO 4: Rendimiento de pilada

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		% de rendimiento de pilada			
RFH	SFT	CICA-4		ORYZICA-1	
0	0	64.40	i <u>2/</u>	64.05	f <u>2/</u>
0	23	67.05	g	67.65	cd
0	46	67.40	f	69.10	abc
0	92	68.15	def	69.12	abc
40	0	67.10	g	67.17	e
40	23	68.52	abc	68.57	abc
40	46	67.62	ef	69.42	abc
40	92	68.45	abc	69.72	a
80	0	66.70	h	68.70	abc
80	23	68.17	cde	69.62	ab
80	46	68.82	abc	68.72	abc
80	92	69.55	a	68.87	abc
160	0	67.07	g	69.30	abc
160	23	69.10	ab	68.50	abc
160	46	68.20	cde	69.42	abc
160	92	68.25	bcd	69.07	abc
320	0	69.15	ab	69.35	abc
320	23	68.75	abc	69.42	abc
320	46	68.85	abc	69.52	abc
320	92	67.60	bf	67.92	cd

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 5: Índice de pilada. 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		% de índice de pilada			
RFH	SFT	CICA-4		ORYZICA-1	
0	0	59.32	g <u>2/</u>	58.80	g <u>2/</u>
0	23	62.00	f	62.00	d
0	46	62.97	bcd	62.20	d
0	92	64.15	ab	63.42	abc
40	0	62.82	cd	60.17	f
40	23	63.22	abc	62.90	bc
40	46	63.07	abc	63.67	ab
40	92	64.10	ab	63.55	abc
80	0	62.35	e	63.15	abc
80	23	63.32	abc	62.57	ab
80	46	64.12	ab	63.20	abc
80	92	64.22	a	63.40	abc
160	0	62.67	de	63.02	bc
160	23	63.85	abc	62.67	c
160	46	63.30	abc	64.42	a
160	92	63.37	abc	63.40	abc
320	0	64.10	ab	63.02	bc
320	23	63.60	abc	63.70	ab
320	46	63.72	abc	62.87	bc
320	92	63.25	abc	61.82	e

1/ Promedio de 4 repeticiones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 6: Fósforo en el tejido foliar a los 45 días de edad del cultivo. 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		% de P a los 45 días			
RFH	SFT	CICA-4		ORYZICA-1	
0	0	0.200	f <u>2/</u>	0.175	fg <u>2/</u>
0	23	0.207	f	0.209	cde
0	46	0.226	cd	0.212	cde
0	92	0.244	bc	0.235	ab
40	0	0.194	fg	0.180	f
40	23	0.229	cd	0.212	cde
40	46	0.240	bc	0.224	bc
40	92	0.227	cd	0.236	ab
80	0	0.226	de	0.200	de
80	23	0.223	cd	0.221	bcd
80	46	0.248	bc	0.233	abc
80	92	0.265	ab	0.228	bc
160	0	0.225	de	0.204	de
160	23	0.253	abc	0.223	bc
160	46	0.229	cd	0.221	bc
160	92	0.267	ab	0.238	ab
320	0	0.239	cd	0.201	de
320	23	0.250	abc	0.226	bc
320	46	0.239	cd	0.249	a
320	92	0.277	a	0.242	ab

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

TABLA 7: Fósforo en el tejido foliar a los 85 días de edad del cultivo. 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		% de P a los 85 días			
RFH	SFT	CICA-4		ORYZICA-1	
0	0	0.218	cde <u>2/</u>	0.166	e <u>2/</u>
0	23	0.207	fg	0.174	de
0	46	0.221	cde	0.170	de
0	92	0.201	fg	0.179	cd
40	0	0.228	bc	0.165	e
40	23	0.201	g	0.180	bcd
40	46	0.240	b	0.183	bc
40	92	0.253	a	0.177	cde
80	0	0.231	bc	0.166	e
80	23	0.212	ef	0.182	bcd
80	46	0.229	bc	0.187	bc
80	92	0.220	cde	0.201	a
160	0	0.232	bc	0.169	de
160	23	0.214	ef	0.183	bc
160	46	0.200	g	0.176	cde
160	92	0.229	bc	0.183	bc
320	0	0.209	fg	0.172	de
320	23	0.220	bc	0.177	cde
320	46	0.200	h	0.192	b
320	92	0.228	bcd	0.182	bcd

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 8: Calcio en el tejido foliar a los 45 días de edad del cultivo. 1/

Dosis de RFH Kg/ha	% de Ca a los 45 días					
	CICA-4		ORYZICA-1			
0	0.377	b	<u>2/</u>	0.437	c	<u>2/</u>
182	0.382	b		0.440	bc	
364	0.395	ab		0.476	a	
767	0.383	b		0.465	ab	
1.455	0.406	a		0.481	a	

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 9: Calcio en el tejido foliar a los 85 días de edad del cultivo. 1/

Dosis de RFH Kg/ha	% de Ca a los 85 días	
	CICA-4	ORYZICA-1
0	0.466 a <u>2/</u>	0.689 a <u>2/</u>
182	0.458 a	0.727 a
364	0.496 a	0.694 a
767	0.474 a	0.678 a
1.455	0.483 a	0.669 a

=====

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 10: pH del suelo después de cosechado. 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/Ha		pH del suelo		
RFH	SFT			
0	0	4.77	ab	<u>2/</u>
0	23	5.00	ab	
0	46	4.95	b	
0	92	4.97	ab	
40	0	4.97	ab	
40	23	5.00	ab	
40	46	4.95	b	
40	92	5.02	ab	
80	0	4.92	b	
80	23	4.92	b	
80	46	4.92	b	
80	92	4.97	ab	
160	0	4.99	ab	
160	23	5.01	ab	
160	46	4.97	ab	
160	92	4.97	ab	
320	0	5.07	a	
320	23	4.94	b	
320	46	5.02	ab	
320	92	5.00	ab	

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 11: Aluminio en el suelo después de cosechado. 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		Al en el suelo	
RFH	SFT	meq/100 g.	
0	0	2.60	abc <u>2/</u>
0	23	2.70	abc
0	46	2.92	abc
0	92	2.62	abc
40	0	3.12	a
40	23	2.40	c
40	46	2.82	abc
40	92	2.87	abc
80	0	2.72	abc
80	23	2.77	abc
80	46	3.07	ab
80	92	2.52	bc
160	0	2.67	abc
160	23	2.37	c
160	46	2.67	abc
160	92	2.95	abc
320	0	2.65	abc
320	23	3.02	ab
320	46	2.62	abc
320	92	2.72	abc

1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 12: Calcio en el suelo después de cosechado. 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		Ca en el suelo meq/100g	
RFH	SFT		
0	0	1.06	abc <u>2/</u>
0	23	0.91	bcd
0	46	0.80	cd
0	92	0.97	bcd
40	0	0.80	cd
40	23	1.24	a
40	46	0.94	bcd
40	92	1.05	abc
80	0	0.96	bcd
80	23	0.92	bcd
80	46	0.84	cd
80	92	1.02	abc
160	0	0.90	bcd
160	23	1.06	abc
160	46	1.00	bc
160	92	0.83	cd
320	0	1.05	abc
320	23	0.77	d
320	46	1.12	ab
320	92	0.95	bcd

=====  
1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.

ANEXO 13: Fósforo en el suelo después de cosechado. Bray II. 1/

Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha		P en el suelo	
RFH	SFT	ppm	
0	0	4.19	i <u>2/</u>
0	23	5.00	hi
0	46	5.44	hi
0	92	5.09	hi
40	0	4.38	i
40	23	5.91	gh
40	46	4.93	hi
40	92	7.18	efg
80	0	5.77	gh
80	23	4.52	i
80	46	7.10	efg
80	92	8.41	cde
160	0	5.49	ghi
160	23	8.48	cde
160	46	6.20	fgh
160	92	7.95	def
320	0	9.09	bc
320	23	7.52	defg
320	46	9.46	b
320	92	10.94	a

=====  
1/ Promedio de 4 replicaciones

2/ Tratamientos con letras en común no son significativamente diferentes al nivel del 5%.