

EFECTIVIDAD DE FERTILIZANTES FOSFATADOS EN ARROZ¹

RICARDO MELGAR², JOAQUIN CASCO³, MIGUEL MÉNDEZ⁴, CRISTINA SANABRIA⁵ y MERCEDES FIGUEROA⁶

RESUMEN - Bajos niveles de fósforo (P) disponible en los suelos son una limitante común en extensas áreas arroceras del NE de Argentina y Sur del Brasil. Se realizaron experiencias en arroz (*Oryza sativa*, L.) con el objetivo de comparar los efectos directos y residuales de las aplicaciones de dos fuentes de P sobre el rendimiento de granos de arroz, absorción del P y disponibilidad de P en el suelo. Los tratamientos incluyeron dosis de 0, 13, 27 y 40 kg ha⁻¹ de P aplicados como superfosfato triple y roca fosfatada de Carolina del Norte, en siete distintos sitios, desde 1990 a 1993, sobre suelos ácidos de la provincia de Corrientes. Dos sitios fueron evaluados durante dos años consecutivos para estudiar el efecto residual de aplicaciones de P. Ambas fuentes se comportaron similarmente a iguales dosis de P aplicado, sugiriendo una alternativa más barata a las fuentes tradicionales de P. La dosis de fertilizante que resultó en el mayor incremento de productividad fue de 13 kg de P ha⁻¹, aumentando los rendimientos de granos de 5,13 a 5,95 Mg ha⁻¹. Un promedio de 38% de esta dosis es recuperada en biomasa, pero alrededor del 60% del P del fertilizante es exportado por la cosecha de granos, permaneciendo la diferencia en el suelo y en los residuos del cultivo.

Términos para índice: efecto residual, roca fosfatada, P-Bray, suelos ácidos de tierras bajas.

EFFECTIVITY OF PHOSPHATE FERTILIZERS FOR FLOODED RICE

ABSTRACT - Low levels of available phosphorus (P) in soils is a common constraint on rice (*Oryza sativa*, L.) growing area of Argentina and Brazil. Since P fertilizers are required for crop production, direct utilization of phosphoric rock might be an economical option for farmers. The aim of this paper was to compare the direct and the residual effect of two P sources on rice grain yield, P absorption and P soil availability. Seven site-year combination of fertilizer experiments were carried out on acid soils in Corrientes, Argentina, from 1990 to 1993. Treatment rates, 0; 13; 27 and 40 kg ha⁻¹ of P were applied as Triple superphosphate and Rock phosphate of North Carolina. Two sites were conducted during two consecutive years, to evaluate the residual effect of previous-year P applications. Both sources behaved similarly at equal rates of applied P, either for direct or residual effects, that suggest a possible cheap substitute to traditional P sources. The fertilizer rate that gave the biggest contrast with the control, averaged across year-sites crops, were 13 kg ha⁻¹ of P, increasing grain yields from 5.13 to 5.95 Mg ha⁻¹. A mean of 38% of this rate is recovered in biomass, but about 60% of the P from fertilizer is exported by the grain harvest, remaining the difference in soil and crop residues.

Index terms: residual effect of P, rock phosphate, lowland acid soils.

¹ Aceptado para publicación en 2 de abril de 1998.

² Ing. Agr., Ph.D., Est. Exp. INTA Pergamino, C.C. No. 31-2700-Pergamino, Argentina. E-mail: melgar@inta.gov.ar

³ Agr., Agencia Extensión Rural, Av. Brasil 806 - 3340 - Sto. Tome, Argentina.

⁴ Ing. Agr., M.Sc., Est. Exp. INTA Corrientes, C.C. No. 57-3400- Corrientes.

⁵ Ing. Agr., Est. Exp. Corrientes.

⁶ Ing. Agr., Est. Exp. Pergamino.

INTRODUCCION

Los bajos niveles de fósforo (P) disponible son comunes en una amplia región del cultivo del arroz de Argentina y Brasil. Aun cuando hay un incremento en la disponibilidad de P después de la inundación del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.), éste se siembra en suelo seco de acuerdo al sistema

usual, requiriendo inicialmente una fuerte fertilización fosfatada para garantizar el establecimiento del cultivo. La fertilización de los cultivos extensivos representa un costo variable significativo para la economía del sistema, por lo tanto el manejo de aplicaciones fosfatadas en arroz es de singular importancia, considerando que el cultivo responde económicamente cuando los suelos tienen menos de 7 mg kg^{-1} (Melgar & Ligier, 1986). Bajo estas condiciones es probable que el efecto residual de aplicaciones de P sea una contribución importante para los requerimientos de P para el próximo cultivo de arroz o pastura (Evers & Craigmiles, 1975).

El mercado local provee de fuentes fosfatadas de rápida disponibilidad como el fosfato mono y diamónico o el superfosfato triple (SFT), todos de origen importado. El uso directo de rocas fosfatadas puede ser una importante opción para la economía del sistema, considerando su menor precio en origen que otros fertilizantes de fósforo de origen industrial. Entre otras igualmente buenas, la roca fosfatada de Carolina del Norte (RFCN) es reconocida por su alta reactividad y eficiencia agronómica, la que deriva en parte de su alto contenido en P (12% P), la mitad es soluble en citrato y por su alta superficie específica de $22 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (Engelstad & Terman, 1980). Considerando la acidez natural de los suelos más representativos, la RFCN, a dosis equivalentes de P actúa tan eficientemente como las fuentes tradicionales de alta solubilidad, tanto por su efecto

directo como así también el residual. De todos modos, las diversas situaciones de saturación del Aluminio, contenido de arcilla y mineralogía puede resultar en grandes diferencias en su efecto, afectando por consiguiente la curva de respuesta al P (Barnes & Kamprath, 1975). Esas diferencias pueden resultar en diferentes requerimientos de dosis de P para obtener el mismo rendimiento en sitios diferentes.

Este trabajo fue llevado a cabo para comparar los efectos directos y residuales de las aplicaciones de dos fuentes de P sobre el rendimiento del grano de arroz, absorción del P y disponibilidad de P en el suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento fue llevado a cabo en siete lugares en campos de productores de Corrientes, Argentina. La localización del sitio, la clasificación taxonómica y las características físicas y químicas de la capa arable están representadas en el Cuadro 1.

El clima de la región ha sido clasificado como húmedo, mesotérmico, con un poco o nada de deficiencia en agua de acuerdo a Thornthwaite. Los datos climáticos de largo plazo indican un promedio de precipitaciones durante el periodo de cultivo entre Octubre y Abril de 900 a 1000 mm en la región. Las temperaturas máxima y mínima medias del periodo de cultivo son $30,8^\circ\text{C}$ y $19,4^\circ\text{C}$ respectivamente en el área de la Estación Experimental de Corrientes y $29,5^\circ\text{C}$ y $17,0^\circ\text{C}$ en Alvear, la localidad más al Sur.

CUADRO 1. Clasificación a nivel de Gran Grupo y propiedades físicas y químicas seleccionadas de la capa arable (0-20 cm) de cada sitio experimental.

Año	Localidad	Clasificación	P-Bray (mg kg^{-1})	pH	M.O. -----(%)-	Arcilla	Cationes cambiables			
							Ca	Mg	K	Al
							-----($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)-----			
1990	S. Tome	Humacuepte	8,0	4,2	8,5	24	0,9	0,3	0,05	1,2
1991	Alvear	Ocraculte	7,0	4,8	1,9	22	0,6	0,2	0,21	1,8
1991	I.Ibate	Albacualfe	3,8	4,6	1,4	14	0,2	0,2	0,09	2,2
1991	S. Tome	Haplacuepte	3,0	4,2	4,7	29	0,6	1,0	0,24	3,0
1992	Alvear	Ocraculte	5,2	5,1	1,9	19	0,4	0,4	0,07	2,5
1992	S. Tome	Haplacuepte	2,9	4,0	3,3	30	0,6	0,3	0,13	1,9
1993	Alvear	Ocraculte	3,2	4,3	1,7	19	0,5	0,3	0,05	2,8

Los suelos de cada sitio fueron caracterizados por muestreos de la capa arable (0-20 cm) del período de plantación y antes de la inundación permanente. Fueron tomadas dos muestras compuestas por cada tratamiento, que corresponden a dos repeticiones por tratamiento. Para determinar las bases intercambiables, se realizó un extracto de suelo con AcNH_4 M y para el fósforo disponible con Bray 1 (FNH_4 0,03 N + HCl 0,025 N). El Ca y el Mg fueron determinados por complejometría con EDTA, el Na y el K por fotometría de llama y el P por colorimetría. El pH se determinó en una suspensión acuosa 1:2,5. El Al se extrajo con una suspensión 1:1 con KCl M determinándose el Al en el extracto por titulación. El C del suelo fue evaluado por el método de Walkley & Black. El contenido de arcilla fue evaluado por el método del hidrómetro, usando NaOH 0,1 M como dispersante.

En cada uno de los sitios se acomodaron siete tratamientos en un diseño de Bloques Completos al Azar. Fueron aplicadas tres dosis de fósforo (13, 27 y 40 kg ha^{-1} de P) como superfosfato triple (SFT) (20% de P) y roca fosfatada, originaria de Carolina del Norte, U.S.A. (RFCN) (12% de P). Se incluyó además un testigo sin P. Excepto en el ensayo del sitio 1 que tuvo tres, todos los demás tuvieron cuatro repeticiones. Estos tratamientos fueron aplicados en parcelas de 100 m^2 (5 x 20 m).

Los ensayos 6 y 7 fueron conducidos consecutivamente en el mismo sitio siguiendo a los ensayos 4 y 5 respectivamente. En esos ensayos las parcelas fueron divididas y los tratamientos fertilizantes aplicados en la mitad de la parcela que había recibido aplicaciones de P el año anterior, para evaluar el efecto directo; el resto de la parcela que en ese año no recibió fertilizante, se evaluó el efecto residual.

El efecto directo de los tratamientos fue evaluado en los siete ensayos considerándose todos diferentes localidades-año. No se consideró el eventual efecto acumulativo en dos de las localidades donde el efecto de los tratamientos fue testado en sitios consecutivos, años diferentes pero igual localidad, sin re-aleatorizar la asignación de tratamientos.

El arroz se sembró entre octubre y diciembre de cada año, usándose IRGA 409, una variedad de ciclo medio de grano largo-fino, en todos los ensayos, a una densidad de siembra estándar. Los fertilizantes fosfatados fueron aplicados inmediatamente antes de la siembra. Además de los fertilizantes fosfatados, todas las parcelas recibieron una dosis uniforme de 35 kg ha^{-1} de N como urea y 15 kg ha^{-1} de K_2O como KCl, aplicado e incorporado al suelo antes de la siembra. Todas las parcelas recibieron también una

aplicación complementaria de N al momento de diferenciación de panícula equivalente a 35 kg ha^{-1} como urea. El control de malezas fue realizado con mezclas y dosis variables de herbicidas de post-emergencia cuando fue necesario. El riego permanente comenzó entre los 15 a 25 días después de la emergencia, dejando los lotes inundados constantemente durante el ciclo de cultivo a un nivel entre 5 a 10 cm.

Los rendimientos de grano y paja fueron obtenidos de un área de 8 m^2 a la madurez fisiológica, correspondiente entre 120 y 135 días después de la siembra, según el ensayo sitio. Se tomaron submuestras para las determinaciones de contenido de humedad y de P. El rendimiento de granos fue ajustado a 13% de humedad. El contenido de P en los tejidos, grano y rastrojo, se determinó en los ensayos 1 al 4, tomándose una muestra compuesta por cada tratamiento, recolectándose submuestras de cada repetición. Los análisis de P se realizaron por digestión de las muestras con una mezcla de H_2SO_4 concentrado y H_2O_2 , determinando el P por colorimetría (Jones & Case, 1990).

Los valores de P asimilable de los suelos se dividieron en dos categorías según la metodología de Nelson & Anderson (1977), que separa los suelos según categorías de probabilidad de respuesta; donde por medio de un proceso iterativo se elige el punto crítico de partición de clases que da el mejor ajuste según el criterio del R^2 mas alto.

Los datos de rendimiento de arroz-cáscara fueron analizados estadísticamente considerando los efectos de sitio, fuente y dosis, así como su interacción, de acuerdo al siguiente modelo

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_{j(i)} + \gamma_k + \eta_l + \gamma\eta_{kl} + \alpha\gamma_{ik} + \alpha\eta_{il} + \alpha\gamma\eta_{ikl} + \epsilon_{ijk}$$

Donde el término μ es el promedio general y ϵ es el error experimental, α , β , η y γ son los estimadores para el efecto de sitio, bloque, fuente y de dosis respectivamente. Cuando se analizaron los rendimientos en cada sitio se suprimió del modelo completo el efecto correspondiente y sus interacciones. El efecto residual de los ensayos 6 y 7 fue analizado como parcelas divididas, de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \rho_{ijk} + \lambda_l + \lambda\alpha_{il} + \lambda\beta_{jl} + \lambda\alpha\beta_{ijl} + \epsilon_{ijkl}$$

donde λ es el estimador del efecto residual; considerándose para evaluar la fuente, las dosis y su interacción el término ρ_{ijk} como error. La respuesta al P se ajustó al modelo lineal y meseta, eligiendo la función de mayor R^2 , de una familia de funciones discontinuas des-

critas por Anderson & Nelson (1987). Los datos fueron analizados estadísticamente por SAS, modelo de procedimiento lineal general (SAS, 1988).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación entre el P disponible y los rendimientos de arroz

Todas las dosis, independientemente de las fuentes usadas resultaron en una respuesta con tendencia lineal de los niveles de P asimilable en todos los sitios (Fig. 1). Esas diferencias entre dosis correlacionaban con la presencia de síntomas visuales de deficiencia de P de las plantas antes de la inundación, siendo las plantas más vigorosas las asociadas a los niveles más altos.

La correlación entre los rendimientos logrados con la aplicación de P y los niveles del P disponible evaluados antes de la inundación, fue positiva y significativa ($r = 0,32^{**}$), pero no hubo correlación de niveles de P y rendimientos de arroz en las parcelas donde se evaluó el efecto residual. El valor crítico encontrado es similar a otras evaluaciones conducidas en áreas próximas (Melgar & Ligier, 1986).

El análisis conjunto de la experiencia determinó, como era de esperarse, diferencias entre sitios ($F: 2,83; P < 0,013$), pero no hubieron efectos significativos de la interacción con los tratamientos ($F: 0,51; P > 0,98$), permitiendo promediar las respuestas obtenidas de todos los sitios. Sin embargo, las diferencias entre localidades justificaron

realizar el estudio separado de la respuesta en cada uno de ellas. Los rendimientos del arroz aumentaron con la fertilización de P en cada sitio (Cuadro 2). El mayor contraste, cerca de 1 Mg ha^{-1} , resultó del control y la primera dosis de P con una respuesta promedio de $63 \text{ kg de arroz por kg de P aplicado}$. La respuesta al P aplicado continuó más allá de 13 kg ha^{-1} correspondiendo a la dosis más alta con un rendimiento máximo de granos de $6,18 \text{ Mg ha}^{-1}$, pero la magnitud de esta respuesta fue mucho más baja que la primera dosis: $8,6 \text{ kg de arroz por kg de P aplicado}$. La ausencia de diferencias entre fuentes en seis de los siete sitios resultó en un único ajuste para el modelo lineal y meseta, que describe la respuesta promedio del arroz al agregado de fósforo (Fig. 2). Esta función discontinua elegida identifica una dosis que divide dos áreas con respuestas diferentes al agregado de P. Esta dosis indicaría un óptimo a la que se obtendrían los máximos retornos económicos (Waugh et al., 1975).

Las diferencias en la respuesta al P para el sitio 2 en Santo Tomé pudo ser resultado de cambios en el tiempo de cosecha. La demora observada en la madurez de las parcelas testigo determinó la cosecha de este tratamiento 21 días más tarde que el resto de los tratamientos. Las mejores condiciones climáticas de radiación solar pueden haber resultado en asimilación futura durante el llenado de granos que incrementó los rendimientos y disminuyó las respuestas al P aplicado.

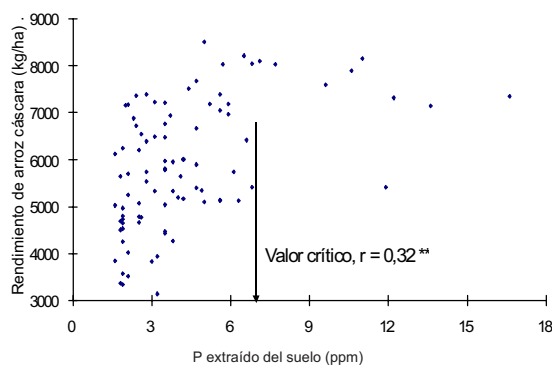


FIG. 1. Relación entre rendimiento de arroz-cáscara y niveles de fósforo evaluados por Bray 1 luego de la fertilización a la siembra y antes de la inundación.

Absorción del P

La mayoría del P absorbido por el arroz está localizado en el grano, representando un promedio de 75% del P total de la biomasa (Cuadro 3). Como se observó con los rendimientos, no hay diferencias entre las fuentes para el P absorbido; similarmente, el mayor contraste se da entre el control y la primera dosis de P aplicado, con pequeñas diferencias entre la primera y las mayores dosis del P aplicado, que refleja el alto grado de deficiencia de esos suelos.

La concentración de P en los tejidos mostró diferencias entre años y sitios. El contenido promedio de P de los tratamientos para Santo Tomé 1990, Alvear, Itá Ibaté y Santo Tomé 1991, de los residuos de cul-

CUADRO 2. Efecto de diferentes fuentes y dosis de P sobre el rendimiento del arroz (Mg ha⁻¹).

Fuente	Dosis de P (kg ha ⁻¹)	Sitios y años							
		S. Tome		Alvear	I. Ibate	S. Tome		Alvear	
		1990	1991	1991	1991	1992	1992	1992	1993
Control	0	5,70	6,60	4,35	7,08	4,84	3,49	3,87	
SFT	13	6,88	7,50	5,13	7,22	5,59	4,88	4,25	
	27	7,36	7,59	5,25	6,93	5,77	5,44	4,64	
	40	6,39	7,74	5,27	7,50	5,65	5,87	4,42	
RFCN	13	7,15	7,31	5,34	7,14	5,56	5,02	4,34	
	27	6,73	8,33	5,24	6,85	5,89	5,01	4,59	
	40	6,54	7,72	5,70	7,28	6,22	5,91	4,36	
Medias									
SFT		6,88	7,61	5,22	7,22	5,58	5,40	4,44	
RFCN		6,81	7,79	5,43	7,09	5,89	5,31	4,43	
	13	7,02	7,41	5,23	7,18	4,95	5,58	4,30	
	27	7,05	7,96	5,25	6,89	5,23	5,83	4,62	
	40	6,46	7,73	5,49	7,39	5,89	5,93	4,39	
S \bar{x}		0,41	0,88	0,29	0,25	0,41	0,20	0,39	
C.V. (%)		10,50	23,40	11,10	6,90	15,90	7,10	8,62	
Control vs. fertilizados		**	+	**	ns	*	**	**	
Fuente		ns	*	*	ns	Ns	ns	ns	
Dosis		**	ns	ns	ns	Ns	*	*	
Fuente x dosis		ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	

** , * , + , ns Significativo al nivel de probabilidad a 0,01; 0,05; 0,10 y no significativo respectivamente por el test de F.

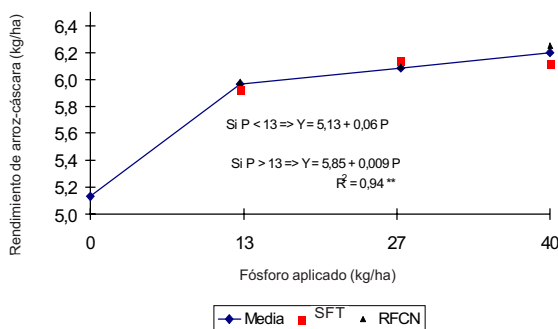


FIG. 2. Modelo de respuesta del arroz a aplicaciones directas de fósforo y promedios de cada fuente de los siete sitios evaluados.

tivo fueron 0,5; 1,0; 0,4; y 0,5 g kg⁻¹ y en granos fue de 1,8; 2,8; 2,0; y 1,9 g kg⁻¹ respectivamente. Los datos presentados en el Cuadro 3 sugieren que un promedio del 38% del P aplicado fue recuperado en la biomasa, considerando las diferencias entre el control y la primera dosis, considerando todos los tratamientos. La exportación del P del campo por la

cosecha del grano fue equivalente al 25% del P proveniente del fertilizante, permaneciendo el resto en el suelo y residuos del cultivo, disponibles en diferente grado para el próximo cultivo o pastura.

Efecto residual

El Cuadro 4 muestra el efecto residual comparado al efecto de la aplicación anual directa de los dos sitios. Donde los tratamientos fueron conducidos durante dos años consecutivos (S. Tomé, ensayos 4 y 6 y Alvear sitios 5 y 7), los rendimientos del cultivo disminuyeron en el segundo año consecutivo en los dos sitios (Cuadro 4). Esta disminución afectó no solamente al testigo sino también los tratamientos fertilizados. A pesar de la aplicación de fertilizantes, el rendimiento máximo del segundo año no superó los obtenidos en el primer año. Parte de esta disminución debe ser atribuida a una disminución general en la fertilidad del suelo, en propiedades tales como pH, materia orgánica y cationes intercambiables (Cuadro 1).

Aunque las respuestas al efecto residual del fósforo fueron significativas en ambos sitios, conside-

rando la respuesta al P como un contraste significativo entre el control y las parcelas fertilizadas, éste fue mayor en Santo Tomé que en Alvear. Esta mayor respuesta también se observó con el efecto anual directo.

No hubieron diferencias entre fuentes ni entre dosis para el efecto residual en ninguno de los dos sitios. Si bien se observaron algunas diferencias puntuales entre los efectos residuales de la RFCN y

los del SFT en un sitio, en el otro sitio el comportamiento relativo se invirtió. De todos modos, ni el efecto de la fuente o la interacción con las dosis de P tuvieron diferencias significativas.

El cultivo del arroz respondió a las aplicaciones de P en seis de los siete sitios, aunque hubieron dos sitios donde el comportamiento de la RFCN fue mejor que el SFT, la tendencia general indica que no hubieron diferencias en el efecto directo entre las

CUADRO 3. Efecto de diferentes fuentes y dosis de P aplicado sobre el P acumulado (kg P ha⁻¹) en materia seca total y en el grano (kg de P/ha).

Fuente	Dosis de P (kg ha ⁻¹)	Sitios y años									
		S. Tome 1990	Alvear 1991	I. Ibate 1991	S. Tome 1991	Media	S. Tome 1990	Alvear 1991	I. Ibate 1991	S. Tome 1991	Media
		Biomasa					Grano				
Control		10	18	20	6	14	8	13	14	5	10
SFT		14	18	32	15	20	10	13	24	12	15
RFCN		14	17	33	14	20	11	13	24	11	15
	13	14	20	29	11	19	9	15	20	9	13
	27	14	17	36	17	21	10	12	27	13	16
	40	15	16	33	15	20	11	13	24	13	15

CUADRO 4. Efecto directo de la re-fertilización y efecto residual según fuentes y dosis de P aplicado sobre los rendimientos medios obtenidos para los dos cultivos (Mg ha⁻¹).

Fuente	Dosis de P (kg ha ⁻¹)	S. Tome 1992		Alvear 1993	
		Directo	Residual	Directo	Residual
Control	0		3,49		3,87
SFT		5,40	4,28	4,44	4,44
RFCN		5,31	4,60	4,43	4,27
	13	4,95	4,13	4,30	4,16
	27	5,23	4,27	4,62	4,36
	40	5,89	4,94	4,39	4,56
Control vs. fertilizados			**		**
Fuente			ns		ns
Dosis			ns		ns
Fuente x dosis			ns		ns
Residual			**		**
Residual x fuente			ns		ns
Residual x dosis			ns		ns
Residual x fuente x dosis			ns		ns
S ² _x			0,42		0,21
C.V. (%)			17,6		9,02

** y ns: Significativo al nivel de probabilidad a 0,01 y no significativo respectivamente por el test de F.

dos fuentes de P. Promediando a través de los sitios, esas respuestas al P fueron mayores al primer nivel de P aplicado, resultando en un incremento promedio de rendimiento de arroz equivalente a 0.7 Mg ha⁻¹ de granos. La respuesta a aplicaciones más allá de la primer dosis, fue marginal y solamente justificable bajo un contexto de alta productividad. Las recomendaciones de fertilización con P mas allá de la dosis de 13 kg ha⁻¹ estaría justificada cuando la relación entre el P y el precio del arroz sea adecuada. La respuesta del P está de acuerdo con experimentos previos llevados a cabo en el área (Melgar & Ligier, 1986; Melgar et al., 1990).

El efecto residual es importante y significativo, y sin diferencias aparentes entre ambas fuentes. Una aplicación de P mas allá del primer nivel, aunque pudiera no resultar un beneficio marginal directo, lograría un efecto residual mayor que el logrado con la dosis mas económica. Así, la disminución de rendimiento de arroz producido por el cultivo consecutivo en un sitio determinado, podría compensarse aumentando la dosis de P aplicadas en el primer año. No obstante la aplicación anual de una cantidad equivalente al primer nivel de P sería la dosis mas económica. Debido a la disminución observada por efecto del cultivo consecutivo de arroz en el mismo sitio, el efecto residual de la dosis máxima es equivalente al efecto directo del primer nivel de P aplicado.

Estos resultados reflejan en parte el balance del P aplicado y el P extraído y exportado por la cosecha de arroz. No es una simple interpretación, porque se observaron al menos tres nutrientes que disminuyeron sus niveles, afectando la fertilidad del suelo. De todos modos, si se considera la cantidad de P remanente dejada por el primer cultivo, el efecto residual de las mayores dosis de aplicación sería aprovechado por el cultivo siguiente.

CONCLUSIONES

1. Las respuestas al agregado de fósforo, indicadas por los rendimientos de arroz-cáscara, o por la absorción de P por el cultivo, son equivalentes en magnitud para las dos fuentes usadas, a igualdad de P aplicado.

2. Las dos fuentes no presentan diferencias entre sí, tanto si se consideran los efectos directos de su aplicación anual, como los efectos residuales evaluados al año de aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Al Sres. J. Ignacio Meza y Dino Berges, por la invalorable colaboración y vocación de servicio; al resto del personal auxiliar y técnico de la Estación Experimental Corrientes; a la estadística Edith Frutos por la valiosa ayuda en los aspectos específicos del análisis de los datos; a PASA SA y TEXASGULF Inc. EEUU por el financiamiento parcial del trabajo.

REFERENCIAS

- ANDERSON, R.L.; NELSON, L.A. **Linear-Plateau and Plateau-Linear-Plateau Models. Useful in evaluating nutrient responses.** Raleigh: North Carolina Res. Service, 1987. 100p. (Tech. Bull., 283).
- BARNES, J.S.; KAMPRATH, E.J. **Availability of North Carolina Rock Phosphate applied to soils.** Raleigh: North Carolina Agric. Exp.St., 1975. 23p. (Tech. Bull., 229).
- ENGELSTAD, O.P.; TERMAN, L. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In: KHASAWNEH, F.E. (Ed.). **The role of phosphorus in Agriculture.** Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1980. p.311-332.
- EVERS, G.W.; CRAIGMILES, J.P. Rotations - alternate and competitive crops. In: TEXAS A&M UNIVERSITY. **In Six decades of rice research in Texas.** Texas, 1975. p.76-80. (Research monograph, 4).
- JONES, J.B.; CASE, V.W. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In: WESTERMAN, R.L. (Ed.). **Soil testing and plant analysis.** 3.ed. Madison, Wisconsin: Soil Soc. of Am. Book, 1990. (Series, 3).
- MELGAR, R.J.; LIGIER, H.D. Respuestas del arroz a la fertilización fosforada en el norte de Corrientes. **Ciencia del Suelo**, v.4, n.1, p.38-48, 1986.
- MELGAR, R.J.; MANOILOFF, I.T. de; LIGIER, H.D. Niveles y factores de respuesta del arroz a los fertilizantes en el norte de Corrientes. **Ciencia del Suelo**, v.8, p.64-72, 1990.
- NELSON, L.A.; ANDERSON, R.L. Partitioning of soil test-crop response probability. In: STELLY, M. (Ed.). **Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results.** Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1977. p.19-38. (ASA Special Publication, No. 29).
- SAS INSTITUTE INC. (Cary, NC). **SAS/STAT guide for personal computers.** Version 6.03. Cary, NC, 1988.
- WAUGH, D.L.; CATE JUNIOR, R.B.; NELSON, L.A.; MANZANO, A. New concepts in biological and economical interpretation and fertilizer responses. In: BORNEMISZA, E.; ALVARADO, A. (Eds.). **Soil Management in Tropical America.** Raleigh: North Carolina State University, 1975. p.484-501.