

# EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL EFECTO DE FUENTES FOSFATADAS EN ARROZ INUNDADO<sup>1</sup>

## Agronomical evaluation of phosphorus source effects on flooded rice

Rodrigo Ortega B.<sup>2</sup> y Carlos Rojas W.<sup>3</sup>

### S U M M A R Y

Agronomical efficiency of phosphate soluble sources was compared with Chilean phosphate rock BIFOX (a carbonate-apatite) as an alternative for P deficiency attenuation in paddy rice (*Oriza sativa* L.) soils of Chile. This effect was evaluated in terms of grain yield and agronomical characteristics of the crop. The experiments were conducted between 1987/88 and 1991/92 growing seasons including a representative cultivar each season (Diamante-INIA, Oro and Buli-INIA).

An increase in phosphorus availability due to flooding conditions effects was observed, and the release of this element showed the same behavior for all the evaluated sources. All fertilizer sources increased grain yields, and reduced floret sterility. An induction of crop precocious effect was observed with P application which was apparent through a lower grain moisture content.

**Key words:** Agronomical efficiency, *Oriza sativa* L., phosphorus sources.

### INTRODUCCIÓN

En Chile, la mayor parte de los suelos dedicados al cultivo de arroz presentan bajos contenidos de fósforo (P) disponible, en un medio generalmente ácido y con bajos contenidos de materia orgánica (Rojas, 1976; Klee y Sepúlveda, 1989; Rojas y otros, 1991).

La corrección de la deficiencia de este nutriente esencial en el cultivo de arroz, que se desarrolla bajo condiciones de inundación permanente, ha sido una frecuente preocupación en diversos países donde se practica ese tipo de agricultura, para lo cual se han evaluado diversas fuentes fertilizantes fosfatadas incluyendo rocas fosfóricas (RF).

En los suelos ácidos inundados de Perú la roca de Huila produjo similar rendimiento de grano de arroz que la fuente estándar de Superfosfato Triple (SFT) en un experimento de largo plazo (Sánchez y Alvarado, 1992). En suelos ácidos inundados de Filipinas, las RF fueron más eficientes que el SFT en incrementar los rendimientos de grano de arroz (Thongbai *et al.*, 1988).

---

<sup>1</sup>Recepción de originales: 14 de marzo de 1994.  
Trabajo presentado al Primer Seminario Nacional sobre uso de Rocas Fosfóricas en Agricultura. Temuco-Chile, 1992.

El autor principal estuvo becado en EE.UU. hasta julio de 1997.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile.

<sup>3</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional La Platina, Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

En estudios de efectividad de fuentes de fósforo para arroz en suelos de la India, las RF indujeron los más altos rendimientos de arroz y trigo, además de retornos económicos satisfactorios (Datta y Gupta, 1983).

En una serie de experimentos en arroz inundado en Colombia, Sánchez y Alvarado (1992), concluyeron que cuando se utilizan RF molidas y parcialmente aciduladas, su comportamiento fue dependiente de las características del suelo y en la primera cosecha el rendimiento fue inferior al observado con SFT. Sin embargo, cuando se evaluó su comportamiento en el largo plazo, los mayores rendimientos se alcanzaron con las dosis más altas y todas las rocas fueron superiores al SFT.

León (1992), indicó que existen factores que controlan el comportamiento de la RF molida aplicada sobre cultivos, entre los que destacan las características del suelo y el clima.

En las condiciones de este estudio, se consideró necesario evaluar la eficiencia agronómica de fuentes fosfatadas solubles, en relación a una roca fosfórica chilena, como alternativa para la corrección de la deficiencia de fósforo en suelos de arroz inundado de Chile, en términos de rendimiento de grano y efectos sobre las características agronómicas del cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se repitió en cinco temporadas: 1987/88, 1988/89 y 1989/1990 en Ñiquén, en el Vertisol Quella (Aquic Haploxerert) y en 1990/91 y 1991/92 en Parral, en el Alfisol Unicaven (Ultic Haploxeralf), respectivamente.

El diseño experimental fue el de parcela dividida con 3 repeticiones incluyendo como tratamientos las dosis de fósforo (0, 13, 26 y 52 kg P ha<sup>-1</sup>) y como subtratamientos las siguientes fuentes fertilizantes: i) superfosfato triple (SFT), 20% de P; ii) fosfato diamónico (FD), 20% de P; iii)

superfosfato normal (SFN), 9% de P; y iv) roca fosfórica BIFOX (RF), 7% de P. Se estructuraron así 16 tratamientos, con 48 parcelas de 15 m<sup>2</sup> cada una. El fertilizante BIFOX corresponde a la roca fosfórica de Bahía Inglesa, II Región, Chile, cuyo componente fosfórico es flúor carbonato-apatita, con alto grado de sustitución isomórfica de fosfato por carbonato (Besoain *et al.*, 1991).

Los cultivares empleados para la evaluación fueron Diamante-INIA (1989/90), Oro (1987/88, 1988/89 y 1990/91) y Buli-INIA (1991/92). Se empleó una dosis de semilla equivalente a 160 kg ha<sup>-1</sup> con una fertilización base de 120 kg de N ha<sup>-1</sup>, aplicado como urea (45% de N), y 83 kg de K ha<sup>-1</sup>, a la forma de muriato de potasio (50% de K). La totalidad del fósforo, el potasio y la dosis de nitrógeno correspondiente a la siembra, fueron incorporados al suelo previo a la inundación, utilizando un rototiller. El nitrógeno contenido en el FD fue descontado de la dosis de N aplicada a la siembra. La segunda dosis de nitrógeno se aplicó al voleo sobre el agua. Las malezas fueron controladas con los herbicidas Bensulfuron Metil en dosis de 60 g i.a. ha<sup>-1</sup> y Bentazon en dosis de 1,15 L i.a. ha<sup>-1</sup>.

Las evaluaciones comprendieron análisis de suelo, rendimiento de grano, componentes de rendimiento, altura de planta, producción de materia seca, humedad de grano y esterilidad floral. El manejo de la lámina de agua fue el mismo que practicaban los agricultores en donde se establecieron los ensayos. La cosecha y trilla se realizaron a fines de marzo. Se muestrearon 20 panículas parcela<sup>-1</sup>, al azar, para determinar humedad de grano y esterilidad floral. Para rendimiento, se cosechó una superficie de 4 m<sup>2</sup> y se cortó a ras del suelo 0,25 m<sup>2</sup> para determinar componentes de rendimiento y producción de materia seca.

Se efectuó análisis de varianza y análisis de regresión simple y múltiple para la evaluación de los resultados. Toda vez que la prueba de F resultó ser significativa, se utilizó la prueba de Duncan para comparar las medias entre fuentes fosfatadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente artículo se discuten los resultados de las tres últimas temporadas de estudio (1989/90 a 1991/92), en términos de rendimiento y características agronómicas del cultivo. Además, se incluyen resultados de la temporada 1987/88, en relación a la evolución del P disponible bajo condiciones de inundación permanente.

### Características químicas de los suelos y evolución del P disponible

Los suelos sobre los cuales se realizaron los ensayos presentaron bajos contenidos de fósforo Olsen, nitrógeno disponible y potasio extractable en todas las localidades. La acidez de los suelos fluctuó en el rango de moderadamente ácido a neutro, con bajos contenidos de materia orgánica, característica que se explicaría por la rápida oxidación de ésta en la condición prolongada de monocultivo de arroz, en suelos con bajo contenido de aluminio de intercambio y dominio de calcio y magnesio en el complejo de saturación (Cuadro 1).

A partir de muestreos de suelo sucesivos, cada 30 días (0-10 cm), en todos los tratamientos, y cubriendo el ciclo de cultivo, se estudió durante la temporada 1987/88 la evolución del fósforo disponible después de la inundación, para comparar el comportamiento de la RF en relación al SFT.

Se observó un aumento de la disponibilidad del fósforo Olsen en el suelo, después de la inundación, en ambas fuentes fertilizantes, hasta los 60 días después de la siembra, y luego una disminución de estos valores hasta el período de cosecha (Figura 1). El incremento del P disponible se explica fundamentalmente por la reducción de los fosfatos férricos a ferrosos, en condiciones de inundación (Chang, 1976), mientras que la depresión observada a partir de los 60 días, podría deberse a que el fósforo liberado por reducción sería readsorbido por las arcillas o hidróxidos de Al en la zona reducida del suelo, o precipitado por el hierro en la capa oxidada (Ponnamperuma, 1972). La magnitud de los incrementos de P disponible fue dependiente de la dosis y fuente utilizada y, en general, fue levemente mayor en el SFT, de mayor

**Cuadro 1. Algunas características químicas de los suelos inundados (0-20 cm)**

**Table 1. Some chemical characteristics of flooded soils (0-20 cm)**

	Año 1 (1989) Quella (Aquic Haploxerert) Ñiquén	Año 2 (1990) Unicaven (Ultic Haploxeralf) Parral	Año 3 (1991) Unicaven (Ultic Haploxeralf) Parral
pH (al agua 1:2,5)	5,6	6,0	6,5
M.O. (%)	1,9	2,5	1,6
P disponible Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	1,0	2,0	1,0
N disponible (mg kg <sup>-1</sup> )	43,0	44,0	19,0
K extractable (mg kg <sup>-1</sup> )	19,0	24,0	26,0
Ca <sup>++</sup> int (Cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	7,4	10,0	14,1
Mg <sup>++</sup> int (Cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	3,2	5,2	8,0
Na <sup>+</sup> int (Cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	0,28	0,30	0,44
Al <sup>+++</sup> int (Cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	0,02	0,02	0,02
H <sup>+</sup> int (Cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	0,02	0,02	0,02
CIC efectiva (Cmol (+) kg <sup>-1</sup> )	10,0	15,5	22,6

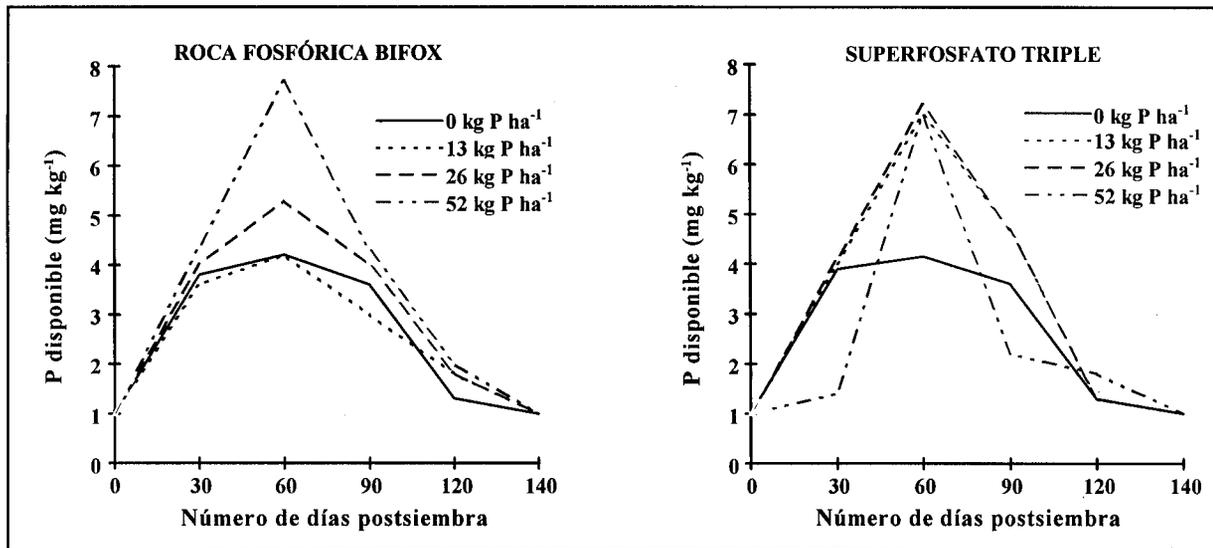


Figura 1. Evolución de P disponible (Olsen), en un suelo cultivado con arroz fertilizado con dos fuentes fosfatadas. Ñiquén, 1987/88.

Figure 1. Evolution of available P (Olsen) in a cropped paddy rice soil fertilized with two phosphorus sources. Ñiquén, 1987/88.

solubilidad que la RF. Al respecto, Chien (1978) señala que bajo condiciones de inundación, en los materiales ricos en apatita, la entrega de P disponible se incrementa en la medida que la sustitución isomórfica de carbonatos por fosfatos en la estructura de la apatita aumenta. El mismo autor sugiere una relación lineal entre el P absorbido por plantas de arroz y la relación molar de  $\text{CO}_3/\text{PO}_4$  en la estructura de la apatita.

### Efecto sobre altura de plantas

En las etapas iniciales de desarrollo del cultivo, se apreció un hábito erecto de crecimiento de las plantas de arroz en el testigo sin fósforo. Sin embargo, este efecto desapareció gradualmente en la medida que se incrementaba la dosis de fósforo aplicado, en todas las fuentes evaluadas. Al mismo tiempo, se observó una mejor cobertura de las plantas sobre el suelo al corregir la deficiencia de fósforo, independientemente de la fuente aplicada. Esto debido al efecto positivo del P sobre el macollaje de las plantas.

Sólo en el cultivar Diamante-INIA, sembrado durante la temporada 1989/90, se apreció un

efecto significativo de la dosis de fósforo aplicado en la altura de las plantas, sin embargo, este efecto no fue significativo en lo que se refiere a las fuentes fertilizantes empleadas en ninguna de las temporadas de evaluación (Cuadro 2). Esta menor altura de plantas deficientes en P, ha sido también observada en los mismos cultivos estudiados en ausencia de fósforo en suelos inundados de la provincia de Talca, Chile (Rojas y otros, 1991).

### Efecto sobre la esterilidad floral

Durante las dos últimas temporadas, se evaluó el efecto de las dosis y fuentes fertilizantes sobre la característica definida como esterilidad floral del arroz. Se observó una disminución de la esterilidad floral al incrementarse la dosis de fósforo aplicado, independientemente de la fuente fertilizante empleada (Figura 2). En la variedad Oro, este efecto fue evidente a partir de los 13 kg P ha<sup>-1</sup>, alcanzándose la mínima esterilidad floral con una dosis de aproximadamente 33 kg P ha<sup>-1</sup>. Por otro lado, en el cultivar Buli-INIA, el efecto de disminución de la esterilidad floral fue evidente a partir de la dosis de 26 kg P ha<sup>-1</sup>,

**Cuadro 2. Efecto de las dosis y fuentes de fósforo en la altura de plantas de arroz (*Oryza sativa* cv. Diamante). Ñiquén, Ñuble. 1989/90**

**Table 2. Phosphorus rate and source effects on plant height of flooded rice (*Oryza sativa* cv. Diamante). Ñiquén, Ñuble. 1989/90**

Dosis de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente Fosfatada				Promedio
	SFT	FD	SFN	RF	
	----- cm -----				
0	93,0	93,0	93,0	93,0	93,0b*
13	97,0	95,0	95,3	97,0	96,3ab
26	93,3	98,7	98,0	94,3	96,1ab
52	94,0	97,3	97,7	100,7	97,4a
Promedio	94,3a	96,2a	96,0a	96,3a	

\*Promedios con distintas letras en filas o columnas, indican diferencias significativas, según Prueba de Duncan (P ≤ 0,05).

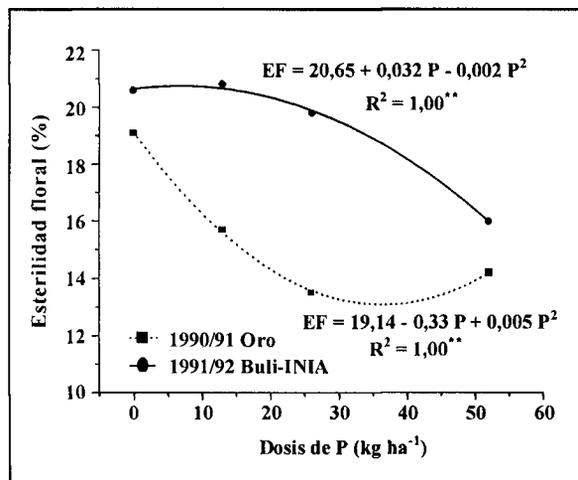


Figura 2. Efecto de la dosis de P sobre la esterilidad floral de arroz inundado (promedio de 4 fuentes de fósforo).

Figure 2. Phosphorus rate effect on floret sterility of flooded rice (average of 4 P sources).

disminuyendo linealmente a partir de esta dosis. Rojas y otros (1992), al evaluar diversas fórmulas de fertilización en arroz sustrayendo fósforo, indican que en general los cultivares tienden a mantener esta característica por su estabilidad

genética frente a este estrés nutricional. Otros investigadores han detectado una alta dependencia entre la disminución de la esterilidad floral y la dosis de fósforo aplicada. Al respecto, Sánchez y Alvarado (1992) informan que altas dosis de la roca fosfórica de Huila (138 kg de P ha<sup>-1</sup>) redujeron en aproximadamente un 10% el vaneamiento en el cultivar Oryzica y en un 1 - 4% en el cultivar CICA-4. Sin duda que esta característica también puede ser provocada o agudizada por efecto de factores climáticos y por enfermedades que afectan en el período de floración.

### Humedad de grano

Durante las tres temporadas estudiadas, a partir del estado de grano lechoso (aproximadamente 112 días después de la siembra), los tratamientos fertilizados con P, en todas las fuentes evaluadas, mostraron una menor humedad del grano, en comparación al testigo sin P (Figura 3). Al momento de cosecha, la humedad de grano disminuyó linealmente con la dosis de P aplicada en todas en todas las fuentes evaluadas y en todos los cultivares estudiados (Figura 4). Las diferencias de humedad detectadas, del orden de un 5-10% inferior al testigo sin aplicación de fósforo, pueden repercutir en un retraso del desarrollo vegetativo de 10-15 días, postergando la oportunidad de cosecha del cultivo.

La menor humedad de grano en todas las fuentes fertilizantes evaluadas se obtuvo con una dosis de 52 kg de P ha<sup>-1</sup> coincidiendo con un mayor rendimiento de grano.

### Efecto sobre el peso y rendimiento de grano

En las temporadas evaluadas no se observó diferencias significativas, por efecto de las fuentes fertilizantes comparadas ni de las dosis empleadas, en relación al peso de grano, sin embargo, en el cultivar Oro se observó un mayor peso del grano en los tratamientos que incluían las fuentes solubles al agua (SFT y FD) (Cuadro 3).

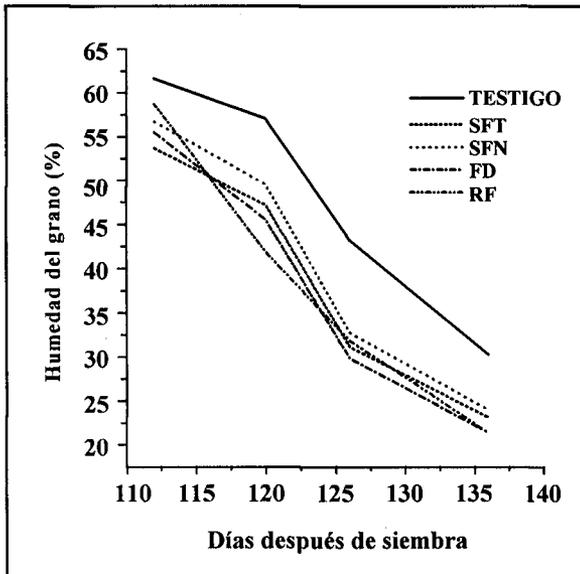


Figura 3. Evolución del contenido de humedad del grano de arroz, fertilizado con 52 kg P ha<sup>-1</sup> en 4 fuentes fosfatadas. Ñiquén, 1989/90.

Figure 3. Evolution of grain moisture content of paddy rice grain, fertilized with 52 kg P ha<sup>-1</sup> in 4 phosphorus sources. Ñiquén, 1989/90.

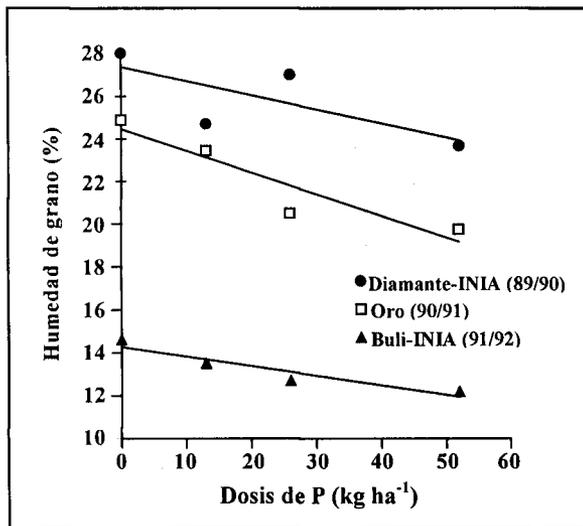


Figura 4. Efecto de la dosis de fósforo en la humedad de grano de arroz a cosecha (promedio de 4 fuentes de fósforo).

Figure 4. Phosphorus rate effect on paddy rice grain moisture at harvest (average of 4 P sources).

**Cuadro 3. Efecto de las dosis y fuentes de fósforo en el peso del grano de arroz (*Oriza sativa* cv. Oro). Parral, 1990/91**

**Table 3. Phosphorus rate and source effects on grain weight of paddy rice (*Oriza sativa* cv. Oro). Parral, 1990/91**

Dosis de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente Fosfatada				Promedio
	SFT	FD	SFN	RF	
	— — — g 100 granos <sup>-1</sup> — — —				
0	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6a*
13	2,9	3,0	2,8	2,8	2,9a
26	2,9	3,0	2,9	2,9	2,9a
52	3,0	3,0	2,9	2,9	3,0a
Promedio	2,85a	2,9a	2,8b	2,8b	

\*Promedios con distintas letras en filas o columnas, indican diferencias significativas, según Prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

Los rendimientos de grano obtenidos son altos, reflejando el excelente potencial de rendimiento del arroz en Chile. El rendimiento del tratamiento sin fósforo fue elevado en todas las temporadas de evaluación, a pesar del bajo contenido de P Olsen del suelo. Esto se debe al incremento del P disponible en condiciones de inundación permanente (Figura 1).

La aplicación de fósforo incrementó el rendimiento de grano, independientemente de la fuente fertilizante empleada, en todos los cultivares evaluados, durante las tres temporadas de estudio. En promedio, las dosis de 26 y 52 kg de P ha<sup>-1</sup> mostraron, en general, un efecto significativo sobre el testigo sin fósforo (Cuadros 4, 5 y 6). La respuesta a la aplicación de P fue cuadrática durante las temporadas 1990/91 y 1991/92 y lineal en 1989/90. La mayor respuesta se produjo en 1990/91 con el cultivar Oro (Figura 5). El comportamiento satisfactorio de la roca BIFOX, en aplicación directa, se explicaría por su alta reactividad determinada por el elevado grado de sustitución isomórfica de este carbonato-apatita que permitiría una eficiente entrega de fósforo a la planta especialmente en sus primeros estados de desarrollo.

**Cuadro 4. Efecto de las dosis y fuentes de fósforo en el rendimiento de grano arroz (*Oriza sativa* cv. Oro). Ñiquén. 1989/90**

**Table 4. Phosphorus rate and source effects on grain yield of paddy rice (*Oriza sativa* cv. Oro). Ñiquén. 1989/90**

Dosis de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente Fosfatada				Promedio
	SFT	FD	SFN	RF	
	--- qqm ha <sup>-1</sup> ---				
0	86,7	86,7	86,7	86,7	86,7ab*
13	91,1	92,8	94,6	91,6	92,5a
26	85,4	88,3	84,1	79,5	84,3b
52	91,9	92,0	96,0	92,0	92,9a
Promedio	88,8a	90,0a	90,4a	87,5a	

\*Promedios con distintas letras en filas o columnas, indican diferencias significativas, según Prueba de Duncan (P ≤ 0,05).

**Cuadro 5. Efecto de las dosis y fuentes de fósforo en el rendimiento de grano de arroz (*Oriza sativa* cv. Oro). Parral. 1990/91**

**Table 5. Phosphorus rate and source effects on grain yield of paddy rice (*Oriza sativa* cv. Oro). Parral. 1990/91**

Dosis de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente Fosfatada				Promedio
	SFT	FD	SFN	RF	
	--- qqm ha <sup>-1</sup> ---				
0	69,1	69,1	69,1	69,1	69,1b*
13	79,9	77,7	67,2	71,2	74,0ab
26	84,2	98,7	92,7	94,2	92,5a
52	95,2	85,7	96,0	95,1	93,0a
Promedio	82,1a	82,8a	81,3a	82,4a	

\*Promedios con distintas letras en filas o columnas, indican diferencias significativas, según Prueba de Duncan (P ≤ 0,05).

**Cuadro 6. Efecto de las dosis y fuente de fósforo en el rendimiento de grano de arroz (*Oriza sativa* cv. Buli-INIA). Parral. 1991/92**

**Table 6. Phosphorus rate and source effects on grain yield of paddy rice (*Oriza sativa* cv. Buli-INIA). Parral. 1991/92**

Dosis de P (kg ha <sup>-1</sup> )	Fuente Fosfatada				Promedio
	SFT	FD	SFN	RF	
	--- qqm ha <sup>-1</sup> ---				
0	94,6	94,6	94,6	94,6	94,6b*
13	97,3	97,5	97,0	104,2	99,0ab
26	105,9	113,2	104,3	107,3	107,7a
52	110,3	109,5	111,0	108,3	109,8a
Promedio	102,0a	103,7a	101,7a	103,6a	

\*Promedios con distintas letras en filas o columnas, indican diferencias significativas, según Prueba de Duncan (P ≤ 0,05).

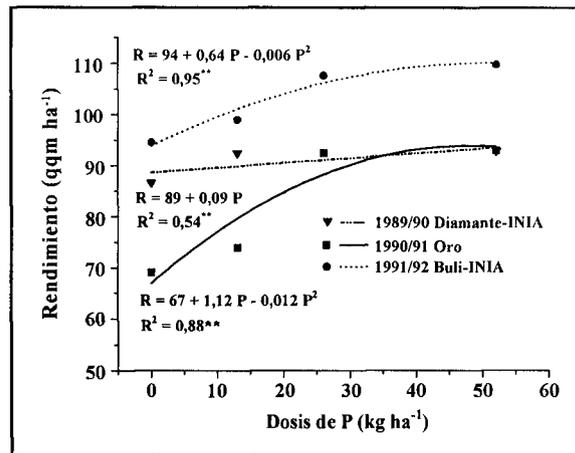


Figura 5. Efecto de la dosis de P en el rendimiento de grano de arroz paddy (promedio de 4 fuentes fosfatadas).

Figure 5. Phosphorus rate effect on paddy rice grain yields (average of 4 P sources).

## Eficiencia agronómica

Se determinó la eficiencia agronómica de los distintos fertilizantes evaluados en las temporadas 1990/91 y 1991/92. No se observaron diferencias significativas entre las fuentes evaluadas, como tampoco efectos de la aplicación de P sobre esta variable. La ausencia de diferencias en eficiencia entre las dosis de P, pueden atribuirse a la elevada variación observada. La eficiencia promedio general fue de 57 kg grano  $\text{kg}^{-1}$  P en 1990/91 y 38 kg grano  $\text{kg}^{-1}$  P en 1991/92. La RF Bifox presentó en ambas temporadas de evaluación una eficiencia promedio similar a la de los fertilizantes más solubles (Figura 6).

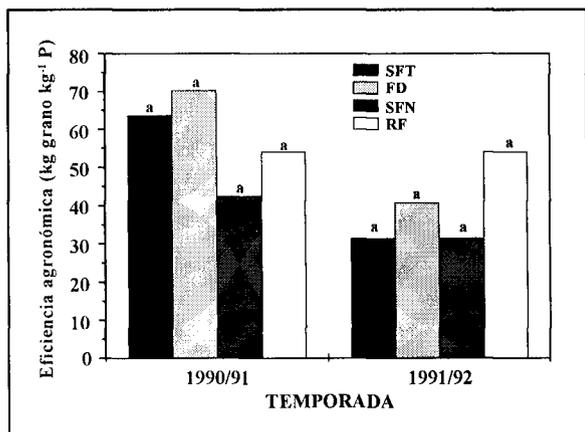


Figura 6. Eficiencia agronómica de 4 fuentes de fósforo en dos temporadas de evaluación (promedio de 3 dosis de P).

Figure 6. Agronomic efficiency of 4 P sources in two growing seasons (average of 3 P rates).

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de la evaluación agronómica de fuentes fertilizantes fosfatadas en arroz inundado permiten concluir que:

- La aplicación de fósforo de todas las fuentes fertilizantes evaluadas permitió incrementar los rendimientos de grano y disminuir la esterilidad floral en forma significativa.
- La aplicación de fósforo indujo una mayor precocidad al cultivo inundado, medida a través de la disminución de la humedad de grano, en todos los cultivares evaluados.
- Todas las fuentes fosfatadas evaluadas presentaron una eficiencia similar. Tanto la roca fosfórica BIFOX como los fertilizantes solubles evaluados mostraron una dinámica del fósforo disponible muy similar en las condiciones de arroz inundado.

## RESUMEN

Se evaluó la eficiencia agronómica de fuentes fosfatadas solubles y se comparó con la de roca fosfórica chilena BIFOX (carbonato-apatita), como alternativa para la corrección de la deficiencia de P en suelos de arroz (*Oriza sativa* L.) inundado de Chile. Los efectos de las diferentes fuentes fueron evaluados en términos de rendimiento de grano y características agronómicas del cultivo. Los experimentos, se condujeron

entre las temporadas 1987/88 y 1991/92, incluyendo un cultivar representativo en cada temporada (Diamante-INIA, Oro y Buli-INIA).

Se observó un incremento de la disponibilidad del fósforo por efecto de las condiciones de inundación y la entrega de este nutriente mostró un comportamiento similar en todas las fuentes evaluadas.

Todas las fuentes fertilizantes incrementaron los rendimientos de grano de arroz y disminuyeron la esterilidad floral. Se observó inducción de la precocidad por aplicaciones de P, evidenciándose un más bajo contenido de humedad de

grano a cosecha en tratamientos que recibieron fertilización fosfatada.

**Palabras claves:** Eficiencia agronómica, *Oriza sativa* L., fuentes de fósforo.

### LITERATURA CITADA

- BESOAIN M.,E.; SEPÚLVEDA W.,G. Y MOLINA, R. 1991. Rocas fosfóricas nacionales. I. Caracterización mineralógica y química. *Agricultura Técnica (Chile)* 51(2): 121-130.
- CHANG, S.C. 1976. Phosphorus in submerged soils and phosphorus nutrition and fertilization of rice. *In: ASPAC Food and Fertilizer Technology Center. The fertility of paddy soils and fertilizer application for rice.* Taipei, Taiwan. pp. 93-116.
- CHIEN, S.H. 1978. Dissolution and phosphate rocks in solutions and soils. *In: Seminar on Phosphate Rock for Direct Application.* Haifa, Israel. March 20-23. Special Publication IFDC-S-1. International Fertilizer Development Center. Muscle Shoals, Alabama, U.S.A. pp. 97-129.
- DATTA, M. AND GUPTA, R.K. 1983. Comparative efficiency of single superphosphate, bone meal and rock phosphate alone and in various combinations in an augmenting crop yields in Nagaland soils. *Indian Agriculturist* 27(3): 247-259.
- SEPÚLVEDA, C. Y KLEE, G. 1991. Caracterización de los sistemas de producción de los agricultores arroceros. I. Antecedentes generales del predio y los rubros agropecuarios. *Agricultura Técnica* 51 (3): 288-294.
- LEÓN, L. 1992. El empleo de las rocas fosfóricas en la fertilización de los cultivos en Colombia. *En: Primer Seminario Nacional Sobre Uso de Roca Fosfórica en Agricultura.* 18-20 de Nov. 1992. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Estación Experimental Carillanca. Temuco, Chile. pp. 79-97.
- PONNAMPERUMA, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24: 29-96.
- ROJAS W., C.; BELMAR, C. Y GRAU, P. 1991. Diagnóstico de deficiencias nutritivas bajo monocultivo de arroz. I. Efecto sobre desarrollo vegetativo y reproductivo. *Agricultura Técnica (Chile)* 51(4): 328-333.
- ROJAS W., C.; BELMAR, C. Y GRAU, P. 1992. Diagnóstico de deficiencias nutritivas en suelos bajo monocultivo de arroz. II. Efecto sobre rendimiento de grano y algunas variables agronómicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 52: 181-186.
- SÁNCHEZ, L. Y ALVARADO. 1992. Uso de rocas fosfóricas en suelos de la Orinoquia Colombiana. CIAT. Cali, Colombia. *Boletín Técnico* 215: 1-34.
- THONGBAI, P.; PUCKRIDGE, D.W.; SANGTHONG, P. AND SATTARASANT, A. 1987. Residual effect of rock phosphate and triple superphosphate on production of deepwater rice on acid sulphate soil. IRRI, Bangkhen, Bangkok 10900, Thailand. *Proceedings of the 1987 International Deepwater Rice Workshop.* Manila, Philippines. pp. 439-448.