EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DIFERENTES PORTADORES FOSFÓRICOS APLICADOS COMO FERTILIZANTES EN EL CULTIVO DEL ARROZ INUNDADO UTILIZANDO FÓSFORO RADIACTIVO (^{32}P)

R. Gómez, Raffaella Rossetto, T. Muraoka y V. Franco do Nascimento Filho

ABSTRACT. An experiment was performed under greenhouse conditions using pots containing two kilograms of lixiviated Red Ferralitic soil, with the aim of evaluating the effectiveness of different phosphoric carriers applied as fertilizers to rice crop, following the isotopic methodology. Treatments consisted of a check, two doses of cuban phosphoric rock -1 000 and 2 000 ppm of total P-, two doses of 10 % zeolite -covered triple superphosphate -50 and 100 ppm of soluble P- and doses of commercial superphosphate -50 and 100 ppm of soluble P-. The soil was labeled by a 22 μci ^{32}P radioactive solution per pot to determine L value and the effectiveness of using phosphoric sources within active tillering stage. Concerning poorly soluble fertilizers -phosphoric rock and phosphate limestone-, the best treatment was that of the lowest phospohoric rock dose, it providing a greater amount of dry weight and P uptake compared to the check. Soluble fertilizers -triple superphosphate and zeolite-covered triple superphosphate- were responsible of high amounts of dry weight and P uptake. The greater the triple superphosphate doses, the higher the L value, otherwise it was lower when applying phosphoric rock or phosphate limestone as fertilizer sources. The profitable effect measured through the isotopic method of poorly soluble phosphate sources was low and decreased with higher doses. A higher effectiveness was observed when employing zeolite-covered triple superphosphate.

Key words: rice, *Oryza sativa*, aquatic rice, radioisotopes, superphosphate, phosphate rock, carbonate, phosphate fertilizers, soil amendment

RESUMEN. Con el objetivo de evaluar la eficiencia de diferentes portadores fosfóricos como fertilizantes en el cultivo del arroz, utilizando la metodología isotópica, se instaló un experimento en casa de vegetación con macetas que contenían dos kilogramos de suelo Ferralítico Rojo lixiviado. Los tratamientos constaron de un testigo, dos dosis de roca fosfórica cubana -1 000 y 2 000 ppm de P total-, dos dosis de superfosfato triple recubierto con 10 % de zeolita -50 y 100 ppm de P soluble- y dosis de superfosfato comercial -50 y 100 ppm de P soluble-. El suelo fue marcado con una solución radiactiva de 22 μci de ^{32}P por maceta, para la determinación del valor L y la eficiencia de utilización de las fuentes fosfóricas en la época de ahijamiento activo de las plantas. En relación con los fertilizantes poco solubles -roca fosfórica y caliza fosfatada-, el mejor tratamiento correspondió a la menor dosis de roca fosfórica, la que proporcionó mayor cúmulo de masa seca y extracción de fósforo en relación con el testigo. Los fertilizantes solubles -superfosfato triple y superfosfato triple recubierto con zeolita-, fueron responsables de los altos cúmulos de masa seca y extracción de fósforo. Hubo aumentos del valor L a medida que aumentaban las dosis de superfosfato triple, mientras que cuando las fuentes de fertilizantes fueron roca fosfórica o caliza fosfatada, disminuyó este valor. La eficiencia de utilización medida por el método isotópico de las fuentes fosfatadas poco solubles, fue baja y disminuyó con el aumento de las dosis. Cuando se utilizó superfosfato triple recubierto con zeolita, la eficiencia fue superior.

Palabras clave: arroz, *Oryza sativa*, arroz acuático, radioisótopos, superfosfato, roca fosfatada, carbonato, fertilizantes fosfatados, enmiendas del suelo

INTRODUCCIÓN

Cuba es un país esencialmente agrícola, dependiente en gran medida de la importación de fertilizantes químicos. En diferentes partes del territorio se han encontrado yacimientos de roca fosfórica, cuya utilización resultaría promisoria fundamentalmente en suelos ácidos. Por otra parte, el país posee numerosos yacimientos de caliza fosfatada, que presentan bajos porcentajes de fósforo. Este material calcáreo al ser utilizado para corregir la acidez, hace al mismo tiempo un aporte significativo de fósforo, dadas las elevadas cantidades que se utilizan (de 3 a 6 t.ha^{-1}).

La zeolita es un mineral que se encuentra en grandes cantidades en el país y posee propiedades como intercambiador aniónico y catiónico; además, es un gran mejorador de las propiedades físicas y químí-

Dr. R. Gómez, Investigador Auxiliar del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal No. 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba; M. S. Raffaella Rossetto, Drs. T. Muraoka y V. Franco do Nascimento Filho, Investigadores Titulares del Centro de Energía Nuclear para la Agricultura (CENA), Piracicaba, Brasil.

cas del suelo. Existe la perspectiva de utilizarla junto con los fertilizantes fosfóricos, en caso de que se compruebe una mejor eficiencia de utilización del fertilizante. En escala experimental se produjo superfosfato triple comercial recubierto con 10 % de zeolita, cuya principal acción sería la de retardar la liberación de fósforo.

El Laboratorio de Biotecnología Agrícola de la IAEA (FAO), utiliza la técnica con radioisótopos ^{32}P de forma rutinaria, para la evaluación agronómica de fosfatos naturales (IAEA 1976, 1985, 1990); esta técnica permite la cuantificación exacta de la disponibilidad de fósforo del fertilizante.

El arroz irrigado es el principal cereal cultivado en Cuba (más de 150 000 ha), siendo su productividad relativamente baja -3.5 $t.ha^{-1}$-, lo que obliga a la importación de más de 100 000 t al año.

Hay que tener en cuenta, que el arroz en Cuba se considera un cultivo dependiente de la utilización de fertilizantes fosfóricos, por lo que existen grandes intereses a nivel de estado en mejorar la productividad del cultivo, a través de investigaciones sobre el mejoramiento de variedades, el manejo y uso eficiente de los fertilizantes, así como la utilización de fuentes nacionales no convencionales como fertilizantes.

El objetivo del siguiente trabajo fue evaluar la eficiencia de utilización de diferentes fuentes fosfatadas, utilizando la metodología isotópica en el cultivo del arroz variedad J-104 cubana en el suelo Ferralítico Rojo lixiviado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se instaló un experimento en casa de vegetación con macetas de dos kilogramos de suelo Ferralítico Rojo lixiviado, cuyas principales características químicas fueron:

pH = 4.5

C = 1.1 %

PO_4^{3-} = 0.08 meq/100 g

K^+ = 0.06 meq/100 g

Ca^{2+} = 1.08 meq/100 g

Mg^{2+} = 0.29 meq/100 g

$Al^{3+} + H^+$ = 4.20 meq/100 g

Los tratamientos utilizados fueron:

1. testigo
2. roca fosfórica cubana (1 000 ppm P total)
3. roca fosfórica cubana (2 000 ppm P total)
4. calcáreo fosfatado cubano (230 ppm P total)
5. calcáreo fosfatado cubano (460 ppm P total)
6. superfosfato triple con 10 % zeolita (50 ppm P soluble)
7. superfosfato triple con 10 % zeolita (100 ppm P soluble)
8. superfosfato triple (50 ppm P soluble)
9. superfosfato triple (100 ppm P soluble)

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres observaciones por tratamiento. Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza y prueba de Duncan al 5 % en los casos necesarios.

Se trasplantaron seis plántulas de arroz variedad J-104 cubana de ciclo medio por maceta; se muestrearon dos plantas (parte aérea) en las fases de ahijamiento activo, iniciación de la panícula y cosecha.

Se calculó el valor L según:

$$L\ \text{fertilizante (ppm)} = \frac{L\ \text{tratamiento} - L\ \text{testigo (mg P)}}{2\ \text{(kg suelo)}}$$

$$L\ \text{tratamiento} = \text{mg P p f} = \frac{\text{cpm patrón/maceta}}{\text{cpm planta testigo/mg P}}$$

$$L\ \text{testigo} = \text{mg P p t} = \frac{\text{cpm patrón/maceta}}{\text{cpm planta testigo/mg P}}$$

$$\text{cpm planta/mg P} = \frac{\dfrac{\text{cpm planta}}{\text{g masa seca}}}{\dfrac{\text{mg P planta}}{\text{g masa seca}}}$$

$$\text{Eficiencia utilización (\%)} = \frac{L\ \text{fertilizante (mg P)} \times 100}{\text{mg P total aplicado con el fertilizante}}$$

L: valor de Larsen

cpm: conteos por minuto

mg P p f: milígramos de fósforo en la planta proveniente del fertilizante

mg P p t: milígramos de fósforo en la planta proveniente del suelo

cpm patrón: conteos por minuto de la solución patrón

cpm planta: conteos por minuto en la planta.

Tabla I. Características de los portadores fosfóricos

Fuente	% P_2O_5 total	% P
Roca fosfórica	26.0	11.4
Caliza fosfatada	8.8	3.84
Superfosfato triple + Zeolita	47.0	18.3
Superfosfato triple	47.0	18.3

En la Tabla I se presentan las principales características de los fertilizantes utilizados.

Se marcaron 30 g de arena fina tamizados con una solución radiactiva de $^{32}P(Na_2H^{32}PO_4)$ libre de cargador. La actividad inicial del ámpula fue de 5 $mci.mL^{-1}$ y por dilución se llevó a 22 μci. La arena marcada y seca se homogeneizó con los dos kilogramos de suelo seco y tamizado; posteriormente se mezclaron con el suelo los diferentes portadores fosfóricos según los tratamientos ensayados.

Se realizaron aplicaciones de 50 ppm de N y K a todas las macetas.

Las muestras de plantas colectadas se secaron, molieron y mineralizaron (método HNO_3-$HClO_4$) para su análisis químico (azul de molibdeno y ácido ascórbico) e isotópico (efecto Cerenkov en el equipo de centelleo líquido). En la fase de cosecha se separaron en grano y paja, se secaron, molieron y mineralizaron de forma similar a los muestreos de las diferentes fenofases.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figuras 1 y 2 se muestran las respuestas al rendimiento en masa seca en tres momentos de desarrollo de la planta. De acuerdo con los diferentes tratamientos ensayados en la etapa de cosecha, se expresan el total y aporte que hacen la panícula y paja.

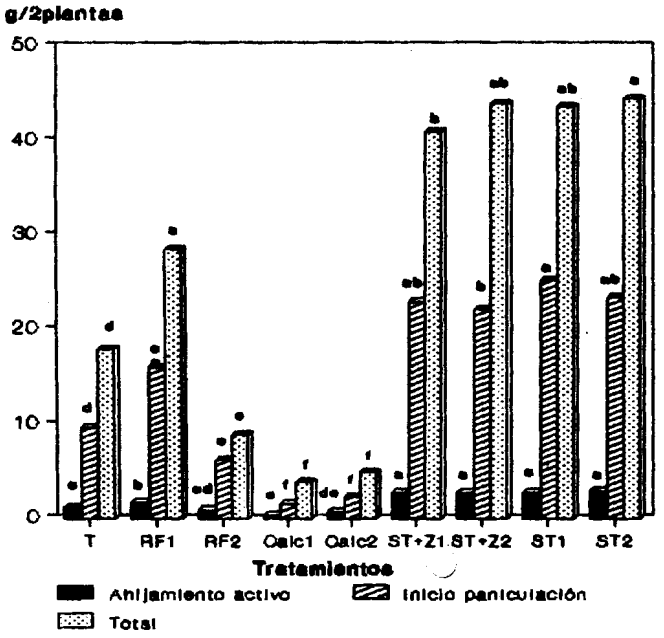

Figura 1. Rendimiento masa seca total en las diferentes fenofases del cultivo

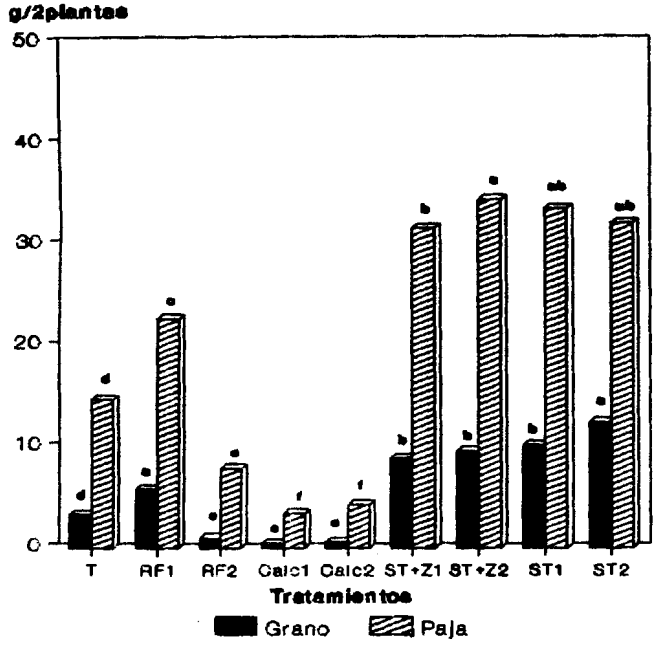

Figura 2. Rendimiento masa seca en grano y paja al momento de la cosecha

El superfosfato triple utilizado como fertilizante de liberación lenta, al estar recubierto por zeolita o sin recubrir, mostró ser el mejor portador, seguido de la dosis menor de roca fosfórica, el testigo, la dosis mayor de roca fosfórica y por último la caliza fosfatada. Este efecto fue similar en los tres momentos de muestreos, obteniéndose mayor masa seca con el aumento de la edad del cultivo, lo que se explica por tener mayor desarrollo vegetativo.

Los rendimientos obtenidos en este ensayo al usar roca fosfórica, fueron muy inferiores a los informados por León (1988) para suelos ácidos de América Latina, lo cual puede deberse a la baja fertilidad del suelo Ferralítico Rojo lixiviado utilizado en este ensayo.

La aplicación directa de rocas fosfóricas naturales y otros materiales que contienen fósforo, ha sido una práctica empleada durante muchos años en diferentes países, para un suministro adecuado de fósforo a los cultivos. Gran cantidad de los suelos de América Latina y el Caribe presentan reacción ácida y bajos contenidos de fósforo disponible, lo que hace posible la aplicación de estas fuentes fosfóricas (Fried, 1954; Barnes y Kramprath, 1975; Hammond, Chien y Polo, 1980; León 1988; y Barbarick, Lai y Eberl, 1990).

El cultivo del arroz necesita cantidades relativamente altas de fósforo para su normal desarrollo, lo que hace de este cultivo un excelente indicador para la evaluación de fuentes fosfóricas (Fenster y León, 1979; León 1980, 1988; y Zapata, Axamun y Braun, 1986).

La extracción de fósforo presentó un patrón de comportamiento similar al de la masa seca y se consideraron como mejores los tratamientos a los que se les aplicó superfosfato en la mayor dosis. Se demuestra que el arroz extrae el fósforo necesario en las fases que se enmarcan en el ahijamiento activo y el inicio de la paniculación, distribuyéndose en etapas posteriores fundamentalmente hacia la panícula en formación, donde permanece en más de un 50 % del total extraído en los tratamientos con una adecuada nutrición fosfórica (Figuras 3 y 4). También se observó que en los tratamientos con altas dosis de roca fosfórica y caliza fosfatada, se bloquea la asimilación del fósforo, lo que inhibe el crecimiento y desarrollo del cultivo, como se refleja en la altura de la planta, el número de hijos y la producción de masa seca (Figura 1, Tablas III y IV). En estos casos, solo se mantiene en la panícula entre el 20 y 30 % del total del fósforo extraído por las plantas. Lo anteriormente expuesto demuestra la necesidad de fertilizar con fósforo en suelos pobres, para un buen desarrollo del cultivo, la factibilidad de usar roca fosfórica en dosis media como fuente alternativa y la no aplicación de caliza fosfatada en este tipo de suelo, ya que insolubiliza el fósforo disponible para el cultivo, afectándose el desarrollo y la producción del grano.

En la Tabla II se presentan los datos obtenidos para el valor L y la eficiencia de utilización de los diferentes portadores fosfóricos evaluados.

El valor L presenta una estimación del tenor de fósforo disponible en el suelo extraído por la planta. Se observó que existe un aumento del valor L con el aumento de las dosis en las fuentes solubles -superfosfato triple-. Este efecto fue diferente al utilizar las fuentes insolubles, las cuales disminuyeron su valor con el aumento de las dosis. En el tratamiento con la caliza fosfatada, es probable que haya ocurrido insolubilización del fósforo por el calcio y en el caso de la roca fosfórica, por los incrementos de aluminio y manganeso presentes en este material como impurezas, que conllevan a una disminución del crecimiento vegetativo, en los cúmulos de masa seca y en la absorción de fósforo, según se refleja en las Figuras 1, 2 y 3.

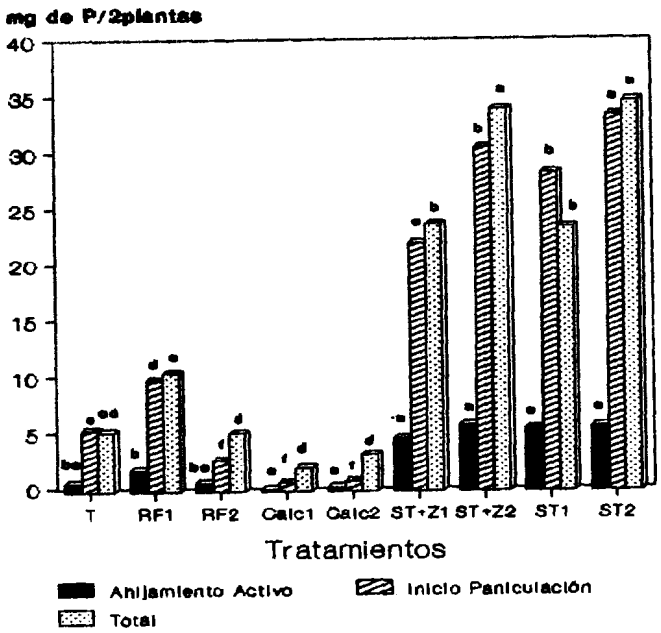

Figura 3. Extracción total de P en las diferentes fenofases del cultivo

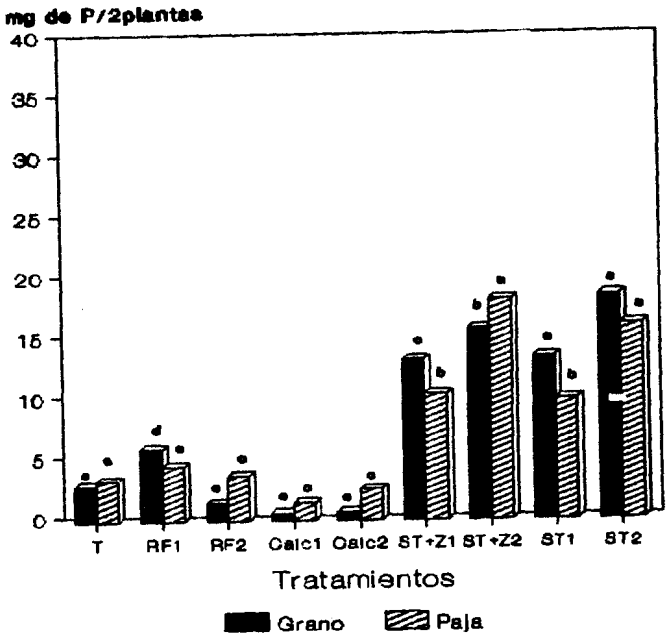

Figura 4. Extracción de P grano y paja en el momento de la cosecha

Tabla II. Valor L (ppm) y eficiencia de la utilización del fertilizante (%)

Tratamientos	Valor L (ppm)	Eficiencia de utilización (%)
Testigo	-	-
RF1	11.30 c	1.13 c
RF2	6.60 c	0.31 c
Caliza fosfatada 1	11.20 c	6.12 c
Caliza fosfatada 2	7.90 c	2.16 c
ST + Zeolita 1	48.80 b	97.50 a
ST + Zeolita 2	80.00 a	80.08 b
ST_1	36.40 b	72.80 b
ST_2	76.80 a	76.78 b
$\bar{X}$	34.88	42.12
ES $\bar{X}$	4.51***	4.64***

Medias con letras comunes no difieren significativamente, según prueba de Duncan para $P < 0.05$

La eficiencia de utilización de fertilizantes fue baja para los portadores insolubles y disminuyó con el aumento de las dosis, lo que refleja que puede utilizarse el efecto residual de estos portadores en cosechas posteriores, teniendo en cuenta que los rendimientos en la dosis menor de roca fosfórica son aceptables y brindan la posibilidad de usar esta fuente como alternativa para la fertilización del arroz. Cuando se utilizaron las fuentes solubles, la eficiencia fue superior, alcanzándose los mayores valores al utilizar superfosfato triple con zeolita en la dosis menor, lo cual demuestra que la zeolita recubriendo al fertilizante funciona como fertilizante de liberación lenta, haciendo más eficiente al fertilizante fosfórico y permitiendo así un mejor aprovechamiento por la planta

Tabla III. Número de hijos emitidos en las diferentes fenofases del cultivo

Tratamientos	Ahijamiento activo	Cosecha
1	3.0 b	2.5 d
2	4,0 a	4.2 c
3	2.0 c	2.1 d
4	1.0 d	1.0 e
5	1.3 d	1.2 e
6	4.0 a	5.0 b
7	3.3 b	4.8 bc
8	3.0 b	5.7 a
9	4.0 a	5.1 ab
$\bar{X}$	2.9	3.5
ES	0.16***	0.21***

Tabla IV. Altura de las plantas en las diferentes fenofases del cultivo

Tratamientos	Ahijamiento activo	Inicio panícula
1	52.9 c	75.8 cd
2	61.4 b	82.0 bc
3	50.0 c	73.9 d
4	36.8 e	56.0 e
5	43.2 d	58.7 e
6	64.9 ab	92.1 a
7	67.7 ab	89.1 ab
8	68.1 a	93.6 a
	66.8 ab	91.1 a
$\bar{X}$	56.9	79.1
ES	1.99***	2.58***

CONCLUSIONES

- Se comprueban las ventajas de utilizar la metodología isotópica en la evaluación de las fuentes solubles e insolubles de fósforo, utilizando como indicadores el valor L y la eficiencia de utilización mediante el empleo de ^{32}P.
- Dosis de 1 000 ppm de P total de roca fosfórica pueden ser utilizadas para la fertilización del arroz en suelos Ferralíticos Rojos lixiviados de baja fertilidad, como alternativa de sustitución del fertilizante fosfórico.
- La caliza fosfatada no es recomendable utilizarla en suelos similares al ensayado en este experimento.
- Los fertilizantes ST2 + 10 % zeolita y superfosfato triple en la dosis mayor fueron óptimos para ser utilizados en el cultivo del arroz, ya que permitieron elevar la eficiencia de utilización de fertilizante entre 70 y 97 %.

BIBLIOGRAFÍA

Barbarick, K. A., T. M. Lai y D. D. Eberl. Exchange Fertilizer (Phosphate Rock Plus Ammonium-Zeolite). Effects on Sorgum-Sudangrass. Soil Sci. Soc. Am. J. (Nueva York)54:911-916, 1990.

Barnes, J. S. y E. J. Kamprath. Availability of North Carolina Rock Phosphate Applied to Soils Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. 3-22, 1975.

Fenster, W. E. Utilization of Phosphate Rock in Tropical Soils of Latin America./W. E. Fenster, L. A. León.- **En:** Seminar on Phosphate Rock for Direct Application (1978 mar : Israel), 1978.

Fried, M. Qualitative Evaluation of Processed and Natural Phosphates. Agric. and Food Chem. (Nueva York)2:241-244, 1954.

Hammond, L. L., S. H. Chien y J. R. Polo. Phosphorus Availability from Partial Acidulation of Two Phosphate Rocks. Fertilizer Research 1:37-49, 1980.

IAEA. Tracer Manual on Crops and Soils./IAEA.- Viena, 1976.- (Technical Reports Series; 171).

IAEA. Nuclear Techniques to Study the Role of Mycorrhiza in Increasing Food Crop Production./IAEA.- Viena, 1985.-(Tec. Doc.).- 338 p.

IAEA. Empleo de técnicas nucleares en los estudios de relación suelo-planta./IAEA.- Viena, 1990

León, L. A. El uso de rocas fosfóricas en suelos ácidos del trópico americano./L. A. León.- **En**: Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control.-Bogotá : Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1980.

León, L. A. El uso de rocas fosfóricas en el cultivo del arroz. Arroz en las Américas (Cali)9(2):48, 1988.

Zapata, F., H. Axamun y H. Braun. Agronomic Evaluation of Rock Phosphate Materials by Means of Radioisotope Techniques. /F. Zapata, H. Axamun, H. Braun.- **En**: Proc. Cong. Int. Soil Sci. Soc. Hamburgo (13:1986:Hamburgo), 1986.- p. 1012-1013.

Recibido: 24 de agosto de 1994
Aceptado: 16 de septiembre de 1994