

## EFFECTO DEL SILICIO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE FOSFORO EN UN ANDEPT Y UN OXISOL<sup>1</sup>

JAIRO ORLANDO MONCADA<sup>2</sup> ORLANDO PUENTES<sup>2</sup> Y LUIS JORGE MESA<sup>3</sup>

**Resumen.** El presente ensayo trató de cuantificar el efecto de la adición y época de aplicación de enmiendas silicatadas (ceniza de cascarrilla de arroz y metasilicato de sodio), sobre la disponibilidad de fósforo en dos suelos altamente fijadores del elemento un Dys-trandept típico y un Haplorthox tropetico, provenientes de las Series "Bermeo" (Sabana de Bogotá) y "La Libertad" (Villavicencio, Meta). Un preensayo a nivel de laboratorio determinó aproximadamente las dosis más adecuadas de enmiendas y la época de aplicación de éstas y del fósforo. Con los resultados del preensayo se realizó un ensayo de invernadero evaluando como variables de respuesta el rendimiento (peso seco) y el contenido de silicio y fósforo en el suelo y en la planta indicadora utilizada rabanitorojo (*Raphanus sativus*). Los mejores resultados se obtuvieron en el Oxisol con la aplicación de tres toneladas por hectárea de la ceniza de cascarrilla de arroz veinte días después de la aplicación de fósforo. En el Andept no hubo respuesta a la aplicación de enmiendas silicatadas, mientras que el metasilicato produjo efectos negativos en los dos suelos.

**Abstract.** The effect of doses and time of application of siliceous amendments (rice husk-ashes and sodium metasilicate) on the phosphorus availability in two acid soils (Oxisol and Andept) was quantified. A laboratory essay was conducted in order to determine both the nearly appropriate doses

and the time of application of the amendments against phosphate application. By using this information a green house experiment was conducted to evaluate the amendments effect on yield of radish (*Raphanus sativus*) and on phosphorus and silica content in soils and plant. The application of ashes twenty days after phosphorus application showed the best results on the Oxisol, but no significant difference was shown on the Andept. Sodium metasilicate shown negative effects on both soils. The best amount of rice husk-ashes seems to be close to three tons/ha applied twenty days after phosphate application on the Oxisol.

### INTRODUCCION

Características predominantes como pH bajo y alta capacidad de fijación de fósforo son limitantes químicas reconocidas en suelos tropicales de importancia agrícola tales como Ultisoles, Oxisoles y Andepts. Las condiciones químicas mencionadas hacen que las prácticas de fertilización realizadas en estos suelos y en particular la aplicación de materiales fosfatados resulte de muy bajos niveles de eficiencia y en consecuencia costosa si se compara con suelos de mejores características químicas.

Investigaciones realizadas en otros países reportan efectos positivos en el rendimiento y absorción de fósforo por la planta mediante la aplicación de enmiendas silicatadas. A este respecto a nivel del país, son escasos los trabajos realizados. En el ensayo de invernadero se evaluó el efecto de la época de aplicación de la enmienda y del fósforo sobre la disponibilidad de este último.

El presente trabajo se llevó a cabo durante el segundo semestre de 1988 y el primero

<sup>1</sup> Basado en la tesis presentada por J.O.M. y O.P. como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

<sup>2</sup> Anteriormente, estudiantes de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

<sup>3</sup> Profesor Asistente, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional- Bogotá, A.A. 14490 Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.

de 1989 a nivel de laboratorio e invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Si bien el papel del silicio tanto en el suelo como en la planta no está bien definido, se cita a este elemento como importante en el sistema suelo-planta evidenciando que se acumula preferentemente, en la parte aérea de la planta (Fasbender y Muller, 1967; Okuda, 1964 y Comhaire, 1966).

Comhaire (1966), reporta que la translocación de elementos dentro de la planta es favorecida por la presencia de silicio así como también que existe una relación inversa entre la concentración de silicio y transpiración. El mismo autor junto con Raleigh (1963) y Taylor (1960), reportan que el silicio favorece el crecimiento del arroz y lo hace resistente al ataque de microorganismos (*Piricularia oryzae*) y el de ciertos insectos.

Okuda (1964), anota que aunque el silicio no se considera como elemento esencial para las plantas, se han encontrado deficiencias y respuesta a la aplicación del mismo para algunas especies de pastos y particularmente en caña y arroz especialmente en suelos tropicales altamente lixiviados. En arroz se han reportado mayores rendimientos por crecimiento más erecto de la hoja, mayor tolerancia a plagas y enfermedades, menor absorción de hierro y manganeso cuando estos se encuentran en cantidades tóxicas en el suelo y quizás un mayor poder de oxidación de las raíces. Sánchez (1981) reporta que aplicaciones de silicatos en caña de azúcar y en ausencia de problemas de fijación de fósforo, producen aumentos de materia seca, contenido de sacarosa, tallos de mayor tamaño y mayor número de hojas funcionales.

Fisher (1929) y Raleigh (1963), reportan efectos benéficos por la aplicación de enmiendas silicatadas sobre el rendimiento de cebada y tomate, pero sólo para suelos deficientes en fósforo.

Suehissa *et al* (1963), trabajando con un Latosol húmico de Hawaii de concentración media de  $\text{SiO}_2$  total, encontraron respuestas favorables a la aplicación de silicatos de calcio y sodio.

De Datta (1962), aplicando 1120 Kg/Ha de silicato de Na, observó incrementos en la producción de trigo y arroz pero no en trébol con ó sin presencia de fósforo. Así mismo, Khan y Roy (1964) anotan efectos positivos sobre el desarrollo, producción y absorción de fósforo en plantas de yute al aplicar 104 lbs/acre de metasilicato de sodio. Sawarker y Pathak (1985), encontraron respuestas directamente proporcionales a la aplicación de silicatos sobre el rendimiento y la concentración foliar de fósforo y silicio en plantas de maíz. Ortiz y León (1982), aplicando silicato de Ca (1ton/Ha  $\text{SiO}_2$ ) reportan aumentos en la absorción de fósforo en fríjol y *Stylosanthes guyanensis*, cuando la enmienda fue aplicada treinta y quince días después del fósforo respectivamente. Guerrero *et al* (1972), trabajando con suelos volcánicos de Nariño, anotan como incrementos en la concentración de  $\text{SiO}_2$ , disminuyeron la precipitación total de fósforo y en especial la formación de fosfatos de hierro.

Varios autores (Khan y Roy, Sawarker y Pathak, Ortiz y León, Fasbender y Muller entre otros), atribuyen el efecto benéfico de la adición de silicatos a un desplazamiento de los fosfatos retenidos en los sitios de adsorción del suelo. Otros atribuyen al silicio un efecto nutricional dentro del metabolismo vegetal, que podría sustituir en cierta forma al fósforo (Okuda, Comhaire).

## MATERIALES Y METODOS

Los suelos estudiados fueron un Tropeptic Haplorthox (Serie "La Libertad") y un Typic Dystrandept (Serie Bermeo). Las características químicas de los dos suelos se consignan en el Cuadro 1.

Como enmiendas silicatadas, se utilizó ceniza de cascarilla de arroz (850 ppm de silicio soluble determinado por el método Merck ácido B-silicomolíbido reducido) y metasilicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  28% de  $\text{SiO}_2$ ) Como fertilizante fosfatado se utilizó Super Fosfato Triple comercial (SFT:46% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Como planta indicadora se utilizó rábano rojo (*Raphanus sativus*).

**Cuadro 1. Análisis químico de suelos, Series La Libertad y Bermeo.**

Característica	Haplortox tropeptico	Dystrandept típico
Textura	Franco arcillo-arenoso	Franco
pH	4.8	5.2
C.I.C.*	12.0 meq/100 g	32.2 meq/100 g
Aluminio	0.6 meq/100 g	0.72 meq/100 g
Calcio de cambio	2.98 meq/100 g	4.68 meq/100 g
Magnesio de cambio	1.70 meq/100 g	1.70 meq/100 g
Potasio de cambio	0.10 meq/100 g	0.50 meq/100 g
Sodio de cambio	0.30 meq/100 g	0.20 meq/100 g
Fósforo asimilable	14 ppm	6 ppm
Materia Orgánica	4.75%	11.3%

\*con acetato de amonio pH 7.0

A nivel de laboratorio se realizó un preensayo en materas plásticas con 200 g de suelo, empleando un diseño completamente al azar (D.C.A.) con dos replicaciones, en un arreglo factorial donde se involucraban dos formas de aplicación de la enmienda silicatada: 20 días antes y 20 días después de aplicado el SFT; siete niveles de ceniza equivalentes a 0; 0,25; 0,5; 1; 2; 4 y 8 ppm de silicio soluble; tres niveles de SFT (0, 300 y 600 ppm de P205).

El ensayo de invernadero se realizó en materas plásticas de 1.500 centímetros cúbicos de capacidad empleando un (D.C.A.) con tres replicaciones, trabajando cada suelo independientemente en un arreglo factorial 4 x 4 x 3 para los siguientes niveles: ceniza 0; 0,3; 0,6; y 1 ppm silicio soluble. Metasilicato de sodio: 0; 1; 2 y 3 ppm de silicio soluble SFT (0,150 y 300 ppm de P205). Para el Oxisol se aplicó primero el SFT y luego las enmiendas silicatadas; en el Andept se invirtió el orden de aplicación. Después de la aplicación de cada una de las fuentes silicatadas o fosfóricas las unidades experimentales se sometieron a períodos de incubación de 20 días y humedad constante próxima a capacidad de campo. Como fertilización de balanceo se aplicaron 75Kg. de N y 25 Kg de K<sub>2</sub>O para el Andept y a 75 Kg de N y 75 Kg de K<sub>2</sub>O/Ha para el Oxisol, utilizando Urea como fuente de N y Cloruro de Potasio como fuente de Potasio. Las variables de respuesta escogidas fueron: rendimiento (peso seco (gr), silicio (ppm) en suelo y en planta, fósforo disponible (ppm) en suelo y concentración foliar de fósforo (ppm).

## RESULTADOS

**Preensayo.** En el Oxisol se hallaron diferencias altamente significativas entre disponibilidad de Fósforo y la aplicación de Si soluble entre 0 y 1 ppm, equivalente a 3.240 Kg/Ha.

En cuanto a la época de aplicación, se encontró mejor respuesta en el Oxisol cuando se incorporaban primero el SFT y luego la ceniza. El Andept no mostró diferencias significativas, pero en general mostró un mejor promedio de disponibilidad de fósforo con la aplicación primero de ceniza y luego de fósforo.

**Ensayo de Invernadero.** Al igual que en el preensayo, se observó respuestas positivas a las variables escogidas y la adición de fósforo. La ceniza influyó significativamente sobre el peso seco y el silicio soluble en el suelo; además mostró respuesta positiva en silicio foliar y fósforo disponible en suelo, pero no para contenido foliar de fósforo.

El metasilicato de sodio presentó efectos negativos sobre las variables rendimiento y sobre fósforo y silicio en suelo y planta. Las interacciones fósforo-metasilicato y ceniza metasilicato demostraron respuesta negativa.

El Andept presentó respuesta especialmente a la aplicación de fósforo, pero con la aplicación de ceniza no reportó diferencias estadísticamente significativa para las diferentes variables de respuesta. El metasilicato de sodio influyó positivamente (1% ) sobre el rendimiento.

## DISCUSION

**Ensayo preliminar.** Las bajas respuestas encontradas a la adición de ceniza para el Andisol, se pueden atribuir a la presencia de alofana, material con relación  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  no constante y que podría producir insolubilización del silicio agregado. (Fasbender 1975). Aplicaciones mayores a 3,24 ton de ceniza/Ha para el Andisol (1 ppm de silicio soluble), posiblemente produjeron precipitaciones de los silicatos haciendo que su efecto sobre la disponibilidad de fósforo no fuera efectiva; tales resultados difieren del rango establecido por Elgawhary y Lindsay (1972), para que produzcan procesos de precipitación de silicio 51 ppm para el silicio amorfo y 2.8 ppm Si para el cristalino.

La forma de aplicación (Fósforo-Ceniza), presentó los mejores resultados, tal hecho se explicaría por los conceptos de Raupach y Piper (1959), quienes observaron ante la aplicación de silicatos un afecto temporal en la utilización del fósforo por la planta, atribuyendo tal hecho a una rápida inactivación del silicio por realización con  $\text{R}_2\text{O}_3$  ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ), impidiendo así una íntima reacción entre el fósforo y óxidos de Fe y Al. Así, cuando se aplica el silicio en primera instancia habría mayor posibilidad de disminuir las reacciones con los  $\text{R}_2\text{O}_3$  del suelo y el P-adicionado.

**Ensayo Invernadero.** La respuesta del Oxisol a la adición creciente de fósforo mostró una relación directa con la cantidad de silicio en la planta. Low y Black (1948), anotaron como adiciones de compuestos fosfóricos están en capacidad de liberar silicatos de las arcillas minerales; al producirse tal liberación, el silicio se acumularía en la parte aérea de la planta coincidiendo con lo expresado por Fasbender y Muller (1967).

El efecto positivo de la ceniza sobre rendimiento (peso seco), correlacionó mejor con los valores de silicio foliar que con la concentración foliar de fósforo; si bien se observó también cierta tendencia positiva en el nivel de fósforo disponible en el suelo y rendimiento. Tal comportamiento concuerda, en cierta forma, con las teorías de Okuda (1964) y Comhaire (1966), quienes atribuyen al silicio un cierto papel como nutriente

dentro del metabolismo vegetal, pudiendo sustituir en cierta forma al fósforo.

Los efectos negativos del metasilicato de sodio sobre la mayoría de las variables de respuesta, indicarían que ante la aplicación de dicha fuente se presentan procesos que indisolubilizan tanto a fosfatos como a silicatos. Kirk y Othmer (1968), catalogaron al silicio como un elemento débilmente electro-negativo con una tendencia mayor a la formación de compuestos con los no metales que con los metales. Tal concepto concuerda en cierta forma con los resultados obtenidos.

La respuesta de aplicación de fósforo en el Andisol, al igual que para el suelo anterior, mostró además, una alta correlación con el silicio foliar. Los efectos positivos del metasilicato de sodio sobre el peso seco no se correlacionaron con mayores concentraciones

de fosfatos o silicatos en suelo o en planta, presumiéndose entonces un efecto benéfico del ión sodio sobre el rendimiento de la planta indicadora (*Raphanus sativus*).

## CONCLUSIONES

1. Para los dos suelos estudiados, adiciones de fuentes fosfatadas, produjeron aumentos en la presencia de silicio a nivel foliar.
2. La adición de ceniza de cascarilla de arroz al Oxisol (La Libertad), reportó efectos positivos sobre la disponibilidad de fósforo y en rendimiento (peso seco), en particular al aplicarla después del material fosfórico.
3. Sin embargo, la ceniza no parece estar en capacidad de cambiar significativamente los mecanismos de fijación de fósforo del suelo "La Libertad". Se recomienda por lo tanto adelantar investigaciones que determinen el efecto residual de las fuentes silicatadas sobre la relación silicio-fósforo en el suelo; involucrando además el uso de otras fuentes silicatadas, e incluyendo como una nueva variable de respuesta la cantidad de Aluminio extractable en el complejo de cambio.

4. No se encontró relación entre el aumento del peso seco y la concentración foliar de fósforo ante la aplicación de ceniza en el oxisol, no descartándose un posible efecto nutricional del silicio en el metabolismo vegetal.
5. El metasilicato de sodio, produjo efectos negativos en la mayoría de las variables de respuesta para el Oxisol.
6. El fósforo fue el factor de mayor influencia sobre las variables de respuesta del Andept (Serie Bermeo).
7. Aplicaciones de metasilicato de sodio al Andisol (Serie Bermeo), afectaron positivamente los rendimientos de la planta indicadora, sin embargo no se atribuye tal respuesta a mayores niveles de absorción de fosfatos o silicatos.
6. Fisher. R.A. 1929. Preliminary note on the effects of Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> in increasing the yields of barley. J. Agric. Sci. 19: 132-139.
7. Guerrero, R.R. Burbano, J. y T. Cabrera. 1972. Estado y fijación del fósforo en suelos volcánicos del Sur de Colombia. II Panel sobre suelos volcánicos de Colombia. ICA-OEA. Universidad de Nariño. Pasto.
8. Khan, D.H. y A.C. Roy, 1964. Growth, P-uptake and fibre cell dimensions of the jute plants as effected by silicate treatment. Plant and Soil. 20: 331-336.
9. Kirk, R.E. y D.F. Othmer. 1968. Silice y Silicatos. Enciclopedia de Tecnología Química. 14: 493-653.
10. Low, P.F. y C.A. Black, 1948. Phosphate induced decomposition of kaolinite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12: 180-184.
11. Okuda, A. 1964. The role of the silicon. Annual report IRRRI. Los Baños-Filipinas. 123-145.

### AGRADECIMIENTOS

- MERCK DE COLOMBIA. Drs. ALFONSO REY y JAVIER DAVILA, por su valiosa colaboración y financiación del proyecto.
- I.Q. FRANCISCO GALIANO SEDANO. Profesor Asociado y Director del Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia-Bogotá, Codirector del Proyecto.

### LITERATURA CITADA

1. Comhaire, M. 1966. The role of silica for plants. Agricultural Digest. 7: 9-18.
2. De Datta, N.P. 1962. Effect of sodium silicate on the berseern (*Trifolium alexandrinum*. Ind. J. Agr. Sci. 32: 219-227. 1962.
3. Elgawhary, S.M. y W.L. Lindsay 1972. Solubility of silica in soils. SoilsSci. Soc. Amer. Proc. 36: 439-442.
4. Fasbender, H.W. 1975. Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Segunda Edición. Editorial IICA. Turrialba. Costa Rica. 398 p.
5. Fasbender, H.W. y L. Muller. 1967. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. I. Efecto de aplicaciones de metasilicato de sodio. Turrialba. 17: 372-375.
12. Ortiz, G. y A. León. 1982. Efecto de la época de aplicación de dos enmiendas en la disponibilidad de fósforo en un Oxisol de Carimagua, Colombia. Suelos Ecuatoriales. Vol. XII. No. 2.
13. Raleigh; G.H. 1963. Some effects of varios silicates, lime and gypsum on growth of tomato plants in western and eastern soils of low levels of phosphorus nutrition. Cornell Agricultural Station. Memorias 326.
14. Raupach, M. y C.S. Piper. 1959. Interactions of silicate and phosphate in a lateritic soil. Aust. J. Agr. Res. 10:818-831.
15. Sawarkar, M.J. y B.K. Pathak. 1985. Effect of silicate and phosphate application on nutrition of maize. Journal of the Indian Society of Soil Science. Vol. 33. No. 4.
16. Sánchez, P.A. 1981. Suelos del Trópico. Primera Edición. IICA. San José Costa Rica. 325 p.
17. Suehisa, R.H., O.R., Younge y G.D. Sherman. 1963. Effects of silicite on phosphorus availability to Sudan grass grown on Hawaiian soils. Hawaiian Agricultural Experimental station. Thecnical Bulletin No. 51. 37 p.
18. Taylor, A.W. 1960. The agronomic value of silica. Literature review survey. Tennessee Valley Authority. Div. Chem. Branch Wilson Dam, Alabama. Report. 693.