

EFECTO RESIDUAL DE LA ROCA FOSFÓRICA DE RIECITO MODIFICADA POR CALCINACIÓN O ACIDULACIÓN SOBRE PLANTAS DE MAÍZ EN SUELOS CON NIVEL VARIABLE DE CALCIO¹

Shirley M. Fernández² y Carlos A. Meza²

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el efecto residual de la roca fosfórica proveniente de Riecito (Venezuela) tratada con vinaza y altas temperaturas, se realizaron tres cosechas sucesivas de maíz, el cual fue usado como planta indicadora en un suelo ácido (pH 3,7) encalado hasta pH 5,7 y 6,8. Los tratamientos fueron el uso de: a) roca de Riecito natural (RFN), b) roca calcinada a 900 °C por 7 horas (RFC), c) roca acidulada con vinaza en proporción 1/1 (RFV), d) fosfato monoamónico (FMA), y e) testigo sin fósforo (Te). La dosis de fósforo empleada fue 300 mg·kg⁻¹. Las plantas se colectaron a los 30 días de la siembra para determinar la biomasa seca. Para el suelo de pH 3,7 en la primera cosecha, el tratamiento RFV produjo valores de biomasa seca comparables al FMA; para la segunda cosecha las fuentes RFV, RFC y RFN presentaron un comportamiento similar al FMA, e incluso, para la tercera cosecha la RFC logró superar al FMA. El testigo presentó siempre los menores valores. En el suelo de pH 5,7 las fuentes RFV, RFC y RFN evidenciaron un efecto residual inferior al presentado en el suelo de pH 3,7. En el suelo de pH 6,8 el FMA superó todas las otras fuentes. Los resultados sugieren que la roca fosfórica de Riecito calcinada o acidulada con vinaza incrementan la solubilidad del P cuando el pH del suelo es inferior a 5,7.

Palabras clave adicionales: Termo-fosfato, fósforo, suelo ácido, biomasa

ABSTRACT

Residual effect of acidulated or burnt Riecito phosphoric rock on maize grown in soils with variable levels of calcium

With the purpose of evaluating the residual effect of phosphoric rock from Riecito (Venezuela) treated with vinaza or high temperatures, three successive crops of corn, used as indicative plant, were grown in an acid soil (pH 3.7) whitewashed up to pH 5.7 and 6.8. The treatments consisted in the use of: a) rock of Riecito natural (RFN), b) rock burnt at 900 °C for 7 hours (RFC), c) acidulated rock with vinaza in proportion 1/1 (RFV), d) amoniacal phosphate (FMA), and e) a control without phosphorus (Te). The dose of phosphorus applied was 300 mg·kg⁻¹. The plants were harvested 30 days after planting to determine their dry biomass. For the acid soil, in the first crop, the treatment RFV produced values of dry biomass comparable to the FMA, in the second crop the treatments RFV, RFC and RFN presented a similar behavior to the FMA; for the third crop the RFC was able to overcome the FMA. The control always showed the lowest values. In the soil with pH 5.7 the sources RFV, RFC and RFN showed an inferior residual effect to the one found in the soil pH with 3.7. In the soil pH with 6.8 the FMA overcame all the other sources. The results suggest that the acidification of the phosphoric rock with vinaza or burning at high temperatures increases its solubility, when the soil pH is less than 5.7.

Additional key words: Water heater-phosphate, phosphorus, acid soil, biomass

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo en Venezuela la fertilización de los cultivos con fósforo se realizó casi exclusivamente con superfosfato triple y fosfatos de amonio importados; sin embargo, la eliminación del subsidio a la agricultura y el aumento de los precios de los fertilizantes ha servido de estímulo a los investigadores en la

búsqueda de alternativas más económicas para suplir las necesidades o requerimientos de fósforo a los cultivos, razón por la cual, se han realizado numerosos estudios utilizando roca fosfórica como fuente de fósforo.

La aplicación directa de este fertilizante fosfatado natural puede constituir una alternativa económica para la fertilización de cultivos permanentes; no obstante, en los cultivos de ciclo

Recibido: Marzo 17, 2003

Aceptado: Marzo 24, 2004

¹ Trabajo financiado por el Centro de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la UCLA.

² Dpto. de Química y Suelo, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" (UCLA). Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: sfernandez@ucla.edu.ve

corto el uso directo del mismo es limitado debido a la baja solubilidad que posee (Casanova, 1993), siendo necesario someterlo a diferentes tratamientos para aumentar su solubilidad.

Entre los tratamientos a los que se ha sometido la roca fosfórica se encuentran la acidulación parcial con ácido sulfúrico (Vera et al., 1989; García et al., 1997), compactación de la roca con materiales fosfatados de mayor solubilidad (Solórzano, 1993), tratamientos térmicos a altas temperaturas (Büll et al., 1997) y acidificación o incubación con materiales orgánicos y microorganismos (Reyes y Gamboa, 1991; Vegas, 1999).

En algunas de estas investigaciones con cultivos de ciclo corto se ha observado que la roca fosfórica modificada promueve una respuesta similar a la obtenida con fuentes de fósforo altamente disponible; sin embargo, no todos los tratamientos han mostrado buenos resultados, por lo cual autores como Solórzano (1993) recomiendan el estudio del efecto residual de dichos materiales a través de cosechas sucesivas, ya que en algunos casos se presenta un incremento del fósforo disponible después de la cosecha del cultivo.

En tal sentido, Nuñez y Gavi (1991), Pérez et al. (1995) y López et al. (1997) al evaluar la solubilidad y eficiencia agronómica de algunas rocas fosfóricas naturales y modificadas en cosechas sucesivas de diferentes cultivos, observaron un aumento de la disponibilidad del fósforo en el suelo y un mayor rendimiento al pasar de una cosecha a otra, mientras que en los tratamientos de alta solubilidad la disponibilidad del fósforo disminuye a medida que transcurre el tiempo.

Considerando que las investigaciones no han proporcionado una solución definitiva al problema de solubilidad de la roca fosfórica, surge la necesidad de continuar los estudios en función de encontrar nuevas y mejores alternativas. En tal sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto residual de la roca fosfórica de los yacimientos de Riecito (estado Falcón, Venezuela) modificada por calcinación o por acidulación con vinaza, en comparación con la roca natural y con una fuente soluble de fósforo, así como estudiar la posibilidad de utilizar estas fuentes en suelos encalados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres cosechas sucesivas de maíz (*Zea mays* L.) var. UCLA 1, utilizando un suelo de la localidad de Villanueva, estado Lara, caracterizado por su textura arcillosa, 3,7 de pH, 3,4 % de materia orgánica, 4 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ de aluminio y contenido inicial de fósforo y calcio de 6 y 270 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente.

El primer experimento fue realizado utilizando el suelo original. Para los experimentos restantes, el suelo fue encalado hasta pH 5,7 y 6,8 utilizando una caliza dolomítica (60,5 % CaCO_3 y 37,5 % MgCO_3). La cantidad aplicada fue determinada mediante pruebas de encalado, mezclando el suelo con la caliza, para luego ser humedecido e incubado por 21 días hasta lograr el pH requerido.

Como fuente de fósforo se utilizó roca fosfórica de Riecito natural (RFN), roca fosfórica de Riecito calcinada a 900 °C por 7 horas (RFC), roca fosfórica de Riecito acidulada con vinaza (RFV) y el fertilizante fosfato monoamónico (FMA), con una dosis fija de P de 300 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ para todos los tratamientos. Esta dosis fue seleccionada debido a que ha producido buenos resultados en experiencias previas (López et al., 1991). Adicionalmente, se evaluó un testigo sin fertilizante fosfatado (Te).

Para obtener la roca fosfórica de Riecito calcinada, ésta fue sometida a una temperatura de 900 °C en una mufla durante 7 horas y posteriormente colocada en un beaker con agua destilada fría para producir un choque térmico. La acidificación con vinaza se realizó incubando durante 7 días 100 g de roca fosfórica de Riecito mezclada con 100 g de vinaza.

Los niveles de fósforo de los materiales fosfatados utilizados en los experimentos, determinados por la metodología de AOAC (1997) modificada por Carrillo et al. (1999), se muestran en el Cuadro 1.

Como complemento a la fertilización fosfatada, en todos los tratamientos se suministró una solución nutritiva con cloruro de potasio (70 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{K}$), sulfato de hierro y de zinc (0,05 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de Fe y de Zn, respectivamente) y Borax (0,5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{B}$). Adicionalmente, en los tratamientos con roca fosfórica natural o modificada se aplicó sulfato de amonio (150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{N}$) y en el fertilizado con fosfato monoamónico se

suministró azufre ($200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\text{S}$), para complementar el proporcionado con el sulfato de amonio en los otros tratamientos.

Cuadro 1. Contenido de fósforo total y asimilable (soluble en citrato de amonio) en las fuentes fosfatadas

Fuente fosfatada	P ₂ O ₅ total (%)	P ₂ O ₅ asimilable (%)
RFN	28,82	1,45
RFC	31,22	3,99
RFV	23,1	5,38
FMA	50	50

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con arreglo de tratamientos de parcelas divididas en el tiempo con tres repeticiones, donde las parcelas principales fueron representadas por las fuentes fosfatadas y las subparcelas por las cosechas.

Las plantas se desarrollaron en invernadero en envases de 10 L de capacidad. La humedad en los envases se mantuvo cercana al 70 % de la capacidad de campo con riegos interdiarios. A los 30 días de la siembra, el material vegetal se cosechó cortando a 1cm del suelo cada planta; posteriormente las muestras fueron lavadas y

Cuadro 2. Biomasa seca de plantas de maíz fertilizadas con FMA, RFV, RFC y RFN, en tres cosechas sucesivas. Suelo de pH 3,7.

	Biomasa Seca (g/planta)		
	Primera cosecha	Segunda cosecha	Tercera cosecha
FMA	5,32 aA	5,42 aA	3,77 bB
RFV	4,92 abB	5,16 aA	2,64 Bc
RFC	3,56 bcC	4,78 aB	5,27 aA
RFN	2,17 cB	4,20 abA	3,10 bAB
Te	0,57 cB	0,97 bA	0,236 cC

Valores en cada columna seguidos de la misma letra minúscula y valores en cada fila seguidos de la misma letra mayúscula no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Como se puede observar en la evaluación de la primera cosecha (Cuadro 2), la mejor respuesta en producción de biomasa seca fue para los tratamientos fertilizados con FMA, fuente con el mayor contenido de fósforo asimilable, seguidas por los tratamientos fertilizados con RFV y RFC, fuentes con contenidos intermedios de fósforo asimilable, mientras que la fuente RFN, con menor contenido de fósforo asimilable, presentó efectos estadísticamente inferiores.

Comparando los valores de biomasa seca obtenidos en las tres cosechas sucesivas se puede

llevarlas en bolsas de papel a una estufa durante 48 horas para determinar la biomasa seca a 75 °C.

Para la segunda y tercera cosecha, una vez tomadas las muestras vegetales, el suelo en los recipientes fue nuevamente tamizado y se prosiguió exactamente igual a la primera cosecha, pero sin la aplicación del fertilizante fosfatado.

Para el análisis de los resultados se utilizó el método de la varianza y la separación de medias de Tukey, utilizando el programa estadístico Stalstix.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En condiciones de suelo ácido (pH 3,7), la acidulación de la roca fosfórica de Riecito con vinaza (RFV) produjo en la primera cosecha valores de biomasa estadísticamente similares a los obtenidos con el uso del FMA y RFC y superiores a la RFN (Cuadro 2). Para la segunda cosecha los tratamientos FMA, RFV, RFC y RFN no presentaron diferencias estadísticas. Sin embargo, en la tercera cosecha la RFC resultó significativamente superior al resto de los tratamientos. El testigo presentó siempre los menores valores.

observar que en los tratamientos fertilizados con FMA no se presentaron diferencias significativas entre la primera y la segunda cosecha; sin embargo, se evidenció una marcada disminución al pasar de la segunda a la tercera cosecha. Por otra parte, se puede observar que los tratamientos RFV, RFC y RFN lograron incrementos significativos al pasar de la primera a la segunda cosecha. La RFC alcanzó su mejor respuesta en la tercera cosecha (Cuadro 2). En tal sentido, López et al. (1991) indican que fuentes de baja solubilidad han producido en las cosechas

posteriores rendimientos comparables o superiores a los obtenidos con fuentes fosfatadas de alta solubilidad como el superfosfato triple.

Resultados similares fueron obtenidos por Hammond et al. (1982), quienes estudiaron el efecto residual de siete fuentes de fósforo sobre el pasto *Brachiaria decumbens* y observaron que para el primer año, el establecimiento del pasto se correlacionó significativamente con la solubilidad del fósforo en citrato de amonio; sin embargo, al transcurrir el tiempo, el efecto residual de todas las fuentes fue similar en lo referente a la producción de materia seca.

De lo antes mencionado se deduce que las fuentes fosfatadas de alta solubilidad poseen un mayor efecto directo, es decir, una mejor

respuesta en la primera cosecha, efecto que disminuye notablemente en cosechas posteriores. Contrariamente, las fuentes de menor solubilidad poseen un efecto directo muy pobre; sin embargo, para una segunda y tercera cosecha se produce un efecto residual considerable.

Para la evaluación realizada en el suelo de pH 5,7, en la primera cosecha, el FMA produjo una cantidad de biomasa significativamente superior al resto de los tratamientos; sin embargo, en la segunda cosecha la RFV igualó estadísticamente la producción de biomasa obtenida con el FMA, mientras que para la tercera cosecha los tratamientos FMA, RFV y RFC no presentaron diferencias estadísticas entre sí (Cuadro 3).

Cuadro 3. Biomasa seca de plantas de maíz fertilizadas con FMA, RFV, RFC y RFN, en tres cosechas sucesivas. Suelo de pH 5,7.

	Biomasa Seca (g/planta)		
	Primera cosecha	Segunda cosecha	Tercera cosecha
FMA	3,38 aA	2,56 aA	3,77 aA
RFV	0,52 bcB	1,74 abAB	2,15 abA
RFC	0,68 bB	1,31 bcAB	2,47 abA
RFN	0,35 cdB	1,18 cAB	1,98 bA
Te	0,25 dB	0,90 cA	0,69 bAB

Valores en cada columna seguidos de la misma letra minúscula y valores en cada fila seguidos de la misma letra mayúscula no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Comparando en conjunto las tres cosechas, se pudo observar que las fuentes RFV, RFC y RFN aumentaron significativamente la producción de biomasa al pasar sucesivamente de la primera a la segunda y tercera cosecha, mientras el FMA produjo en las tres cosechas valores similares de biomasa (Cuadro 3).

Estos resultados evidencian en el suelo de pH 5,7, un efecto residual para las fuentes menos solubles (Cuadro 1), aunque este efecto fue mucho menor que el obtenido en el suelo de pH 3,7.

En el Cuadro 4 se observa que la producción de biomasa seca en el suelo de pH 6,8, para las tres cosechas, fue significativamente superior en las plantas fertilizadas con el FMA en relación al resto de los tratamientos.

Comparando los valores de biomasa seca obtenidos en las tres cosechas realizadas en el suelo de pH 6,8, se puede observar que los tratamientos fertilizados con RFN, RFV y RFC

no mostraron incrementos significativos al pasar de la primera a la segunda y tercera cosecha (Cuadro 4). Esto indica que en suelos con pH superior a 5,7, la roca fosfórica natural y los productos obtenidos por modificaciones de la misma no lograrían hacerse disponibles para las plantas, aun después de transcurridas varias cosechas. Aparentemente, la alta concentración de calcio intercambiable en la solución del suelo encalado habría afectado la disolución de la roca fosfórica natural o modificada (RFV y RFC) y como consecuencia la disponibilidad del fósforo en dichos tratamientos.

Chien et al. (1995), Choudhary et al. (1996) y He et al. (1996) señalan que el encalado presenta un efecto negativo sobre la disolución de la roca fosfórica, como consecuencia de la elevación del pH y el contenido de calcio intercambiable, condiciones que no favorecen la disolución de este material.

Cuadro 4. Biomasa seca de plantas de maíz fertilizadas con FMA, RFV, RFC y RFN, en tres cosechas sucesivas. Suelo de pH 6,8.

	Biomasa Seca (g/planta)		
	Primera cosecha	Segunda cosecha	Tercera cosecha
FMA	6,26 aA	3,66 aA	5,90 aA
RFV	0,42 bA	1,14 bA	1,60 bA
RFC	0,67 bA	1,43 bA	1,31 bA
RFN	0,47 bA	1,03 bA	0,99 bA
Te	0,42 bA	0,78 bA	0,98 bA

Valores en cada columna seguidos de la misma letra minúscula y valores en cada fila seguidos de la misma letra mayúscula no son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

En los dos suelos encalados (pH 5,7 y 6,8) la producción de biomasa seca obtenida con la aplicación de FMA fue mayor en la primera cosecha en comparación a la obtenida en la segunda cosecha, aumentando nuevamente para la tercera cosecha (Cuadro 4). Según Zhang et al. (2001) esto posiblemente se deba a un proceso de fijación del fosfato por el calcio agregado a estos dos suelos con el encalado.

Bolan (1991) señala que cuando se adiciona un fertilizante fosfatado soluble, la concentración de P en la solución del suelo aumenta inicialmente, lo cual se evidenció claramente en la primera cosecha, luego disminuye continuamente por la formación de complejos insolubles con elementos como el calcio. Esta disminución continúa hasta llegar al equilibrio, presumiblemente lo ocurrido para la tercera cosecha.

CONCLUSIONES

En el suelo muy ácido (pH 3,7) los tratamientos con roca fosfórica mostraron un efecto residual importante. Incluso, para la tercera cosecha la roca fosfórica calcinada logró superar los valores de biomasa obtenidos con el fosfato monoamónico. Este efecto residual disminuyó en la medida que aumentó el pH del suelo al punto que la roca fosfórica no produjo ningún efecto en el suelo de pH 6,8.

El tratamiento de la roca fosfórica por calcinación o acidulación produjo sólo mejoras parciales con relación a la roca fosfórica natural y el efecto sólo fue detectado en el suelo con mayor acidez.

LITERATURA CITADA

1. AOAC. 1997. Official method 963.03. Phosphorus in fertilizers. Chapter 2. AOAC Internacional. Gaithersburg, MD.
2. Bolan, N. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil* 134: 189-207.
3. Büll, L., S. Lacerda y J. Nakagawa. 1997. Fertilidade do solo e nutrição de plantas. Termofosfatos: Alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agrônômica. *Bragantia*. Campinas, 56 (1): 169-179.
4. Casanova, E. 1993. Las rocas fosfóricas y su uso agroindustrial en Venezuela. *Apuntes Técnicos de Palmaven*. Maracay, Venezuela, 124 p.
5. Carrillo C., C. Arvelo, M. Ruiz, A. Sancez, J. Escalona y L. Castillo. 1999. Análisis de fósforo total en fertilizantes. Método colorimétrico. *Memorias del XV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto, Venezuela. pp. 303-309.
6. Chien, S., R. Menon, R., Taylor y K. Sistani. 1995. Evaluation of agronomic effectiveness of phosphate rocks for aluminum-tolerant soybean cultivar. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal*, 26(19 - 20): 3133-3144.

7. Choudhary, M., L. Bailey y T. Peck. 1996. Effect of rock phosphate and superphosphate on crop yield and soil phosphorus test in long-term fertility plots. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27(18-20): 3085-3099.
8. García, A., A. Nuviola y M. Aguilera. 1997. Evaluación de roca fosfórica natural y modificada del yacimiento Trinidad de Guedes. *Agrotecnia de Cuba* 27(1): 50-54.
9. Hammond, L., L. León y L. Restrepo. 1982. Efecto residual de las aplicaciones de siete fuentes de fósforo sobre el rendimiento de *Brachiaria decumbens* en un oxisol de Camarigua. *Suelos Ecuatoriales* 12(2): 196-206.
10. He, Z., V. Baligar, D. Martens, K. Ritchey y W. Kemper. 1996. Kinetics of phosphate rock dissolution in acidic soil amended with liming materials and cellulose. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1589-1595.
11. López, A., E. Casanova, L. Chacón y M. Paz. 1991. Efecto residual de rocas fosfóricas del estado Táchira, usando maíz (*Zea mays* L.) como cultivo indicador. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 17(1-4): 341-348.
12. López, I., R. Mercado, A. Sánchez, L. Nieves y H. Wiedenhofer. 1997. Efecto residual de la roca fosfórica en un ultisol del estado Cojedes a través de cuatro años de evaluación. *Agronomía Tropical* 47(2): 185-189.
13. Núñez, R y F. Gavi. 1991. Avances de las investigaciones sobre aplicación directa de roca fosfórica en México. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 17:197-216.
14. Pérez, M., B. Troung y J. Fardeau. 1995. Solubilidad y eficiencia agronómica de algunas rocas fosfóricas venezolanas (naturales y modificadas) mediante el uso de técnicas isotópicas. *Agronomía tropical* 45(4): 483-505.
15. Reyes, I. y J. Gamboa. 1991. Efecto de la materia orgánica en la solubilización de la roca fosfórica. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 17(1-4): 381-395.
16. Solórzano, P. 1993. Evaluación de la roca fosfórica natural y compactada en diversos sistemas suelo-planta en Venezuela. *Venesuelos* 1(1):31-36.
17. Vegas, F. 1999. Evaluación agronómica de las rocas fosfóricas venezolanas (Riecito y Monte fresco) tratadas con vinaza usando el maíz (*Zea Mays* L.) como planta indicadora. Trabajo de ascenso. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Barquisimeto.
18. Vera, J., E. Casanova y C. Sánchez. 1989. Evaluación de la efectividad agronómica de rocas fosfóricas modificadas (Lobatera y Riecito). *Jornadas Técnicas. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay.* pp. 120-127.
19. Zhang, M., A. Alva, Y. Li y D. Calvert. 2001. Aluminum and iron fractions affecting phosphorus solubility and reactions in selected sandy soils. *Soil Sci.* 166 (6):374-381.