

Determinación de la calidad del fertilizante superfosfato simple obtenido de roca fosfática de Navay

Study of the single superphosphate quality produced from phosphate rock of Navay

D. Rodríguez¹, L. M. Silva¹, J. Bustamante² y M. Moreno³

¹Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Estado Táchira.

³Departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Resumen

La calidad del fertilizante superfosfato simple sintetizado (SFSs) a partir de la roca fosfática de Navay, fue establecida analizando sus características químicas y su efecto sobre el cultivo de tomate. Dentro de los análisis químicos se determinó hidrosolubilidad, contenido de calcio, potasio, sílice, aluminio, fósforo total, fósforo insoluble en citrato de amonio, fósforo soluble en agua y carbono orgánico. Para evaluar su calidad fertilizante, se aplicó SFSs sobre cuatro variedades comerciales de tomate y se comparó con la aplicación de SFSc (Superfosfato Simple comercial) y la mezcla SFSs+FMA (Fosfato Mono Amónico), aportando 100 kg P_2O_5 .ha⁻¹.ciclo⁻¹. Se incluyó un testigo sin fertilización fosfatada. Se midió el número de inflorescencias, número de frutos cuajados y cosechados, peso, firmeza y °Brix de los frutos. La roca fosfática y el SFSs presentaron 27,23% y 18,89% de P_2O_5 , respectivamente. El SFSs y SFSs+FMA favorecieron el número de inflorescencias, frutos cuajados y °Brix.

Palabras clave: Superfosfato simple, roca fosfática, fertilizante fosfatado, calidad del fertilizante.

Recibido el 22-11-2012 • Aceptado el 30-6-2014

Autor de correspondencia e-mail: darodriguez87@gmail.com; leidysilva24@gmail.com; jrbustamante@inia.gob.ve; mariamoreno1968@gmail.com

Abstract

The quality of the single superphosphate synthesized (SSPs) from phosphate rock from Navay deposit was evaluated. Its solubility, content of calcium, potassium, silica, aluminum, total phosphorus, ammonium citrate – insoluble phosphorus, water-soluble phosphorus and organic carbon were analyzed. The effect over four tomato varieties was studied to determinate fertilizer quality, applying 100 kg $P_2O_5 \cdot H^{-1}$ of SSPs, SSPc (commercial single superphosphate), SSPs + MAP (Mono Ammonium Phosphate) and a control without phosphorus. The number of inflorescences, number of fruit set and harvested, weight and firmness of fruit and °Brix were determinate. The phosphate rock and SSPs showed 27.23% and 18.89% of P_2O_5 , respectively. The SSPs and the SFSS + MAP had a positive effect on the number of inflorescences, fruit set and °Brix.

Keywords: Single superphosphate, phosphate rock, phosphate fertilizer, fertilizer quality.

Introducción

Los Andes venezolanos son ricos en depósitos de fosfatos de calcio, especialmente aquellos ubicados en el estado Táchira, en las localidades de Monte Fresco, Lobatera y Navay (Stainforth, 1962); entre éstos, las características geológicas del yacimiento de Navay muestran un potencial de explotación comercial viable para la producción de superfosfato simple (SFS), y en consecuencia, se disminuiría la dependencia que la agricultura nacional tiene de los fertilizantes solubles importados (Casanova, 1990). El SFS es un fertilizante fosfatado relativamente económico, con una alta hidrosolubilidad y un buen contenido de fósforo disponible para las plantas, por lo que es recomendado para corregir las deficiencias de este nutriente en suelos agrícolas de pobre fertilidad (Walker and Monasterios, 1990).

La roca fosfática del yacimiento de Navay (RF) fue descrita por Romero (1991) como una arenisca fosfática

Introducción

Venezuelan Andes are known by their richness in calcium phosphates, especially in Táchira state on counties Monte Fresco, Lobatera and Navay (Stainforth, 1962); among these, the geological characteristics of Navay deposit shown a great viable commercial exploitation potential for the production of simple superphosphate (SSPs), consequently, the dependence that the national agriculture has on imported soluble fertilizers, would reduce (Casanova, 1990). SSPs is a relatively cheap phosphate fertilizer, is high water-soluble and it has a good phosphorous content available for the plants, thus is well recommended to correct the deficiencies of this nutrient low-fertile soils (Walker and Monasterios, 1990).

The phosphate rock of Navay (PR) was described by Romero (1991) as phosphate sandstone mainly formed by fluorapatite ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2(S)$), with a P_2O_5 content of 17-18% and high

conformada principalmente por fluorapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_{2(\text{S})}$), con un tenor de 17-18% de P_2O_5 y alto contenido de calcio, por lo que presenta un buen potencial la industria de los fertilizantes fosfatados en Venezuela. La acidulación de la RF se ha descrito como el método más eficaz para producir SFS con un buen contenido de fósforo soluble y alta eficiencia agronómica (Walker y Monasterios, 1990; Romero, 1991).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad fertilizante del SFS sintetizado a partir de la RF extraída del yacimiento de Navay, para lo cual se determinaron sus características químicas y su efecto sobre cuatro variedades de tomate comercial.

Materiales y métodos

La RF extraída de la capa B del suelo, en el sector Los Bancos, franja La Linda (N 220857 y E 848578) de la formación Navay, fue molida (< 2 mm) y tamizada con mallas 20, 40, 60, 80 y 100. Las fracciones retenidas en los tamices 40 y 60 fueron utilizadas para la caracterización físico-química de la RF y la elaboración del fertilizante SFS, según la metodología adaptada propuesta por Romero (1991).

Para sintetizar el SFS (SFSs) se tomaron muestras de 15 g de la RF y se acidularon con 5,8 mL de ácido sulfúrico al 70%, agitando por cinco minutos, en un baño de enfriamiento con hielo, sal y agua para mantener la temperatura entre 60-70°C. Se colocaron en una campana durante 21 días y luego fueron secadas a 80°C por 30 minutos (USDA and TVA, 1964).

calcium content, representing an excellent potential for the phosphate fertilizers industry in Venezuela. The acidification of PR has been described as the most efficient method to produce SSPs, with a good soluble phosphorous content and high agronomic efficiency (Walker and Monasterios, 1990; Romero, 1991).

The aim of this research was to evaluate the quality of the synthesized SSPs fertilizer after the PR extracted from Navay, determining its chemical characteristics and its effect on four varieties of commercial tomato.

Materials and methods

The PR extracted from the B layer of the soil, at Los Bancos area, La Linda strip (N 220857 and E 848578) from Navay, was grounded (< 2 mm) and sift with meshes 20, 40, 60, 80 and 100). The fractions retained in the sieves 40 and 60 were used for carrying out the physical-chemical characterization of the PR and elaborating the SSPs fertilizer, according to the methodology proposed by Romero (1991).

To synthesize the SSPs samples of 15 g were taken from the PR and were acidified with 5.8 mL of sulphuric acid at 70%, moving it for five minutes in a cooling bath done with ice, salt and water to keep the temperature from 60-70°C. The samples were punt on a chamber for 21 days, later were let dried at 80°C for 30 minutes (USDA and TVA, 1964).

The calcium (% CaO) and silica (% SiO_2) content were determined in both the PR and the SSPs by gravimetry, potassium by flame

Tanto a la RF como al SFSs se les determinó el contenido de calcio (% CaO) y sílice (% SiO₂) por gravimetría, potasio por fotometría de llama (% K₂O), aluminio por absorción atómica (% Al₂O₃), fósforo total y fósforo insoluble en citrato de amonio por colorimetría (% P₂O₅), fósforo soluble en agua por volumetría (% P₂O₅) y carbono orgánico (% C.O.) por Walkley-Black (ASTM, 1990; AFPC, 1980; NAFDC, 1979; Welcher, 1975).

En un umbráculo se llenaron bolsas de 5 kg con suelo y otras con turba comercial (SOGEMIX VT-M 107 L[®]), y se sembraron cuatro variedades comerciales de tomate: CLN2498D (V1), LBR-16 (V2), LBR-9 (V3) y Missouri (V4). Se aplicó el equivalente a 100 kg P₂O₅.ha⁻¹ utilizando SFSs (18,89% P₂O₅), SFS comercial (SFSc, 20% P₂O₅) y una mezcla de SFSs más Fosfato Mono Amónico comercial (SFSs + FMA, 50% P₂O₅). Se incluyó un testigo sin aplicación de fósforo. La fertilización se completó con el equivalente a 150 kg N y 120 kg K₂O por hectárea. El diseño experimental fue en bloques al azar con distribución de los tratamientos en parcelas divididas, en un arreglo factorial 2x4² y tres repeticiones. En las parcelas principales se colocaron los dos tipos de sustrato, en las subparcelas primarias las variedades de tomate y en las subparcelas secundarias los tratamientos de fertilización fosfatada.

Se determinó el número de inflorescencias por planta, el número de frutos cuajados y frutos cosechados por planta, el peso de los frutos (g), la firmeza de los frutos con penetrómetro KOEHLER (mm) y el contenido de azúcares con refractómetro VEE-GEE

photometry (% K₂O), aluminum by atomic absorption (% Al₂O₃), total phosphorous and insoluble phosphorous in ammonium citrate by colorimetry (% P₂O₅), water-soluble phosphorous by volumetry (% P₂O₅) and organic carbon (% C.O) by Walkley-Black (ASTM, 1990; AFPC, 1980; NAFDC, 1979; Welcher, 1975).

5 kg of soils and others with commercial peat (SOGEMIX VT-M 107 L[®]) were filled in a greenhouse, and four commercial tomato varieties were sowed: CLN2498D (V1), LBR-16 (V2), LBR-9 (V3) and Missouri (V4). An equivalent to 100 kg P₂O₅.ha⁻¹ was applied using SSPs (18.89 % P₂O₅), commercial SSPs (SSPs, 20% P₂O₅) and a mix of SSPs plus commercial mono ammonium phosphate (SSPs + MAP, 50% P₂O₅). A witness without sodium was included. The fertilization completed with the equivalent of 150 kg N and 120 kg K₂O by hectare. A 2x4² randomized split plot design was used with three replications. In the main plots were located the two different types of substrate, an on the main sub-plots the tomato varieties, and on the secondary sub-plots the treatments with phosphate fertilization.

The number of inflorescences per plant was determined, as well as the number of fruit-set and fruits harvested per plant, the fruit's weight (g), firmness of fruits with KOEHLER penetrometer (mm) and sugar content with refractometer VEE-GEE BX-1 (°Brix). The concentration of the phosphorous absorbed by the plant was also measured (A.P in %) using the formula:

A.P. (%) = [(P dose applied- residual P dose) / applied dose] * 100

BX-1 (°Brix). También se evaluó la concentración de fósforo absorbido por la planta (P.A. en %), a través de la fórmula:

$$\text{P.A. (\%)} = [(\text{Dosis de P aplicada} - \text{Dosis de P residual}) / \text{Dosis aplicada}] * 100$$

Para obtener la dosis residual de P en el sustrato, se realizó un análisis químico del mismo para determinar su concentración de P disponible por Olsen (Van Reeuwijk, 1993). El análisis de la varianza entre los tratamientos y la comparación de las medias con el test de Tukey ($P < 0,05$) se realizaron con el programa Statistix v. 4.0.

Resultados y discusión

Características químicas de la RF de Navay

En el cuadro 1 se resumen las características químicas de la RF. El contenido de P total fue de 27,23 % P_2O_5 y el de P soluble en citrato de amonio fue 6,97% P_2O_5 , los cuales son considerados como elevadas concentraciones de P extraíble en una apatita, según los valores referenciales reportados por investigaciones precedentes en otros yacimientos de roca fosfática (Morillo *et al.*, 2007; Casanova y Herrera, 1997; Issa *et al.*, 1991; Casanova, 1990). Este alto tenor de P le confiere un valioso potencial a la RF de Navay tanto como fuente para la síntesis industrial del fertilizante SFS, como para las aplicaciones directas a los cultivos para proveer P de lenta liberación en el suelo. Así mismo, la RF mostró una alta concentración de carbonato de calcio (36,42% CaO), otorgándole buenas propiedades como en-

To obtain the residual P dose in the substrate, a chemical analysis was performed to determine its concentration of available P by Olsen (Van Reeuwijk, 1993). The variance analysis among treatments and the Tukey mean comparison test ($P < 0.05$) were carried out using the software Statistix v. 4.0.

Results and discussion

Chemical characteristics of the PR from Navay

In table 1 are presented the chemical characteristics of the PR. The total P content was of 27.23% P_2O_5 and the soluble P content in ammonium citrate was of 6.97% P_2O_5 , which are considered as high concentration of P extracted in an apatite, according to the referential values reported on prior researches carried out in other deposits of the phosphate rock (Morillo *et al.*, 2007; Casanova and Herrera, 1997; Issa *et al.* 1991; Casanova, 1990). This high content of P gives the PR from Navay a valuable potential, for both the industrial synthesis of the SSPs fertilizer as to the direct applications to the crops, to provide a slow release P in the soil. Likewise, the PR showed a high concentration of calcium carbonate (36.42% CaO), providing it excellent properties as amendment to improve the reaction of acid soils. The concentrations of potassium, aluminum and organic matter had low values, similar to the reported in phosphate rocks from other deposits worldwide (FAO, 2007; USDA and TVA, 1964).

The CaO/ P_2O_5 relation was of 1.34, which is adequate to make the

Cuadro 1. Características químicas de la roca fosfática de Navay.**Table 1. Chemical characteristics of the phosphate rock from Navay.**

Análisis	Resultado
P Total (P_2O_5)	27,23%
P Soluble en Agua (P_2O_5)	1,99%
P Soluble en Citrato (P_2O_5)	6,97%
P Insoluble en citrato (P_2O_5)	18,27%
Óxido de Calcio (CaO)	36,42%
Sílice (SiO_2)	26,94%
Óxido de Potasio (K_2O)	0,05%
Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	0,28%
Carbono Orgánico	0,50%
CaO/ P_2O_5	1,34

mienda para mejorar la reacción de los suelos ácidos. Las concentraciones de potasio, aluminio y materia orgánica mostraron valores bajos, similares a los reportados en rocas fosfáticas de otros yacimientos en el mundo (FAO, 2007; USDA and TVA, 1964).

La relación CaO/ P_2O_5 fue de 1,34 lo cual es adecuado para que la acidulación de la RF sea un proceso industrial rentable, ya que cuando esta relación es mayor a 1,6 se requiere un gran exceso de ácido sulfúrico para garantizar una buena conversión del fosfato de calcio a SFS (Walker y Monasterios, 1990).

El contenido de sílice observado fue bastante elevado (26,94 % SiO_2), ya que este mineral es abundante en el yacimiento de Navay (Pequiven, 2008). Consecuentemente, la RF debe ser sometida a un proceso de flotación para disminuir estos niveles de sílice y así evitar daños operacionales por abrasión y taponamiento de equipos al momento de sintetizar los fertilizantes fosfatados (FAO, 2007).

acidification of PR a profitable industrial process, since when this relation is higher to 1.6, it is required a huge excess of sulphuric acid to guarantee a good conversion of the calcium phosphate to SSPs (Walker and Monasterios, 1990).

The silica content observed was very high (26.94% SiO_2), since this mineral appears in abundance in Navay (Pequiven, 2008). Consequently, the PR must be submitted to a floating process to reduce these silica levels and avoid operational damages caused by abrasion and clogging of the equipments at the moment of synthesizing the phosphate fertilizers (FAO, 2007).

Chemical characteristics of SSPs after the PR from Navay

The total P content, P soluble in water and in ammonium citrate of SSPs are high (table 2) when compared to the worldwide referential values for SSPs (FAO, 2007), which favors the immediate availability of P for these

Características químicas del SFSs a partir de la RF de Navay

El contenido de P total, P soluble en agua y en citrato de amonio del SFSs son elevados (cuadro 2) al ser comparados con los valores mundiales de referencia para SFS (FAO, 2007), lo cual favorece la disponibilidad inmediata de P para los cultivos. Según los trabajos publicados por la USDA y TVA (1967), estos resultados estarían asociados a los altos tenores de P en la RF utilizada como materia prima para la síntesis del SFS y a la micronización del mineral entre 40 y 100 mesh, que permite una alta eficiencia en el proceso de acidulación y de conversión de la RF a SFS.

El calcio (24,73% CaO) del SFSs fue apreciablemente menor respecto al contenido original en la RF, seguramente por reacciones secundarias de este elemento durante el proceso de acidulación, formando sulfato de calcio (USDA and TVA, 1964). Sin em-

cro. According to the researches published by USDA and TVA (1967), these results might be related to high contents of P in the PR used as raw matter for the synthesis of SSPs and the micronization of the mineral from 40 to 100 mesh, that allows a high efficiency in the acidification process and the conversion of the PR to SSPs.

The calcium (24.73% CaO) of SSPs was significantly lower regarding the original content in the PR, probably due to secondary reactions of this element during the acidification process, forming calcium sulphate (USDA and TVA, 1964). However, the remaining concentration in the SSPs, still represents a good source of calcium for the crops.

The silica content in the SSPs (17.96% SiO₂) was also significantly reduced during the acidification of the PR. Previous researches have mentioned that the formation of silica fluoride during the acidification process

Cuadro 2. Características químicas del SFSs preparado a partir de la roca fosfática de Navay.

Table 2. Chemical characteristics of SSPs prepedated after phosphate rock from Navay.

Parámetro	Contenido (%)
P Total (P ₂ O ₅)	19,56
P Soluble en Agua (P ₂ O ₅)	15,97
P Soluble en Citrato (P ₂ O ₅)	2,92
P Insoluble en Citrato (P ₂ O ₅)	0,67
P disponible (P ₂ O ₅)	18,89
Óxido de Calcio (CaO)	24,73
Sílice (SiO ₂)	17,96
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0,04
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,00
Materia Orgánica (C.O.)	0,18

bargo, la concentración remanente en el SFSs, aún representa una buena fuente de calcio para los cultivos.

El contenido de sílice en el SFSs (17,96% SiO₂) también se redujo apreciablemente durante la acidulación de la RF. Trabajos anteriores han señalado que posiblemente la formación de fluoruro de sílice durante el proceso de acidulación de la RF induciría estas reducciones del sílice originario en las apatitas (USDA and TVA, 1964); sin embargo, a pesar de esta disminución significativa en el contenido de sílice del SFSs, aún su concentración es considerablemente más elevada que el promedio mundial reportado para este fertilizante (0,10 - 2,5% SiO₂), lo que implica que debe haber un mayor procesamiento industrial para su eliminación (FAO, 2007).

Efecto de la aplicación del SFSs sobre el desarrollo del cultivo del tomate

La absorción del P del SFSs y los otros fertilizantes fosfatados comerciales fue superior al 70 % en el suelo y al 94% en la turba comercial, lo cual demostró una alta disponibilidad de este nutriente (figura 1).

En el suelo, las variedades con una mayor eficiencia en la absorción del SFSs fueron V1 (78,89%) y V2 (80,15%); en tanto que V3 tuvo una mejor absorción del P de SFSs + FMA (75,11%) y V4 absorbió en mayor cantidad el P del SFSs (77,76%). En contraste, todas las variedades cultivadas en la turba comercial absorbieron casi la totalidad del P aplicado (99,70%) como SFSs y SFSs + FMA. Este resultado evidencia que las variedades del cultivo presentan diferencias apreciables en la absorción del P de las distintas fuentes fertilizantes

of the PR could possibly reduce these reductions of the original silica in the apatites (USDA and TVA, 1964); however, in spite of this significant reduction in the silica content of SSPs, its concentration is still considerably higher than the average value reported worldwide for this fertilizer (0.10-2.5 SiO₂), which implies that there must be a higher industrial processing for its elimination (FAO, 2007).

Application effect of SSPs on the development of the tomato crop

The P absorption of SSPs and other commercial phosphate fertilizers were higher than 70% in the soil and 94% in the commercial peat, which proved a high availability of this nutrient (figure 1).

In the soil, the varieties with a higher absorption efficiency of SSPs were V1 (78.89%) and V2 (80.15%), V3 had a better P absorption in the SSPs + FMA (75.11%) and V4 absorbed P in a higher quantity (77.76%). Contrary, all the cropped variables in the commercial peat absorbed almost all the P applied (99.70%) as SSPs and SSPs + FMA. This result proves that the crop varieties have evident differences in the absorption of P of the different fertilizer sources when develop in the soil, maybe related to the interactions of this element with the mineral fraction of the soil, which is not presented in highly humified peats used as substrates.

The SSPs favored the inflorescence production (P<0.05) compared to other applied phosphate fertilizers (figure 2). A higher inflorescence number was obtained in the cropped varieties in the commercial

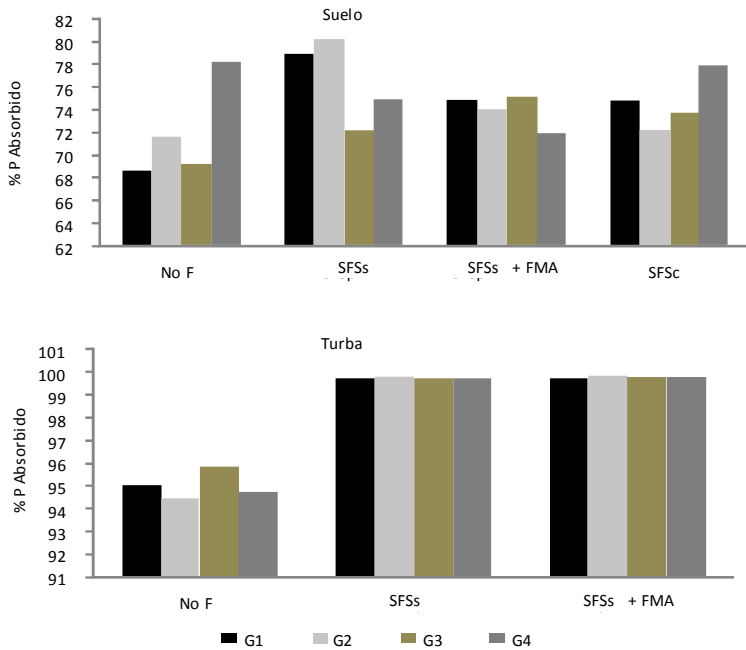


Figura 1. Absorción del fósforo aplicado por el cultivo del tomate.

Figure 1. Absorption of the phosphorous applied in the tomato crop.

cuando se desarrollan en el suelo, posiblemente asociado a las interacciones de este elemento con la fracción mineral del suelo, lo cual no se presenta en las turbas altamente humificadas utilizadas como sustratos.

El SFSS favoreció la producción de inflorescencia ($P < 0,05$) en comparación a los otros fertilizantes fosfatados aplicados (figura 2). Un mayor número de inflorescencias se obtuvo en las variedades cultivadas en la turba comercial y fertilizadas con SFSS y con SFSS + FMA, al compararlas con la floración observada en el tomate cultivado en el suelo ($P < 0,001$).

La aplicación del SFSS en el suelo y de la mezcla SFSS + FMA en la turba comercial produjeron las más al-

peat and fertilized with SSPs and SSPs + FMA, when compared to the flowering observed in the tomato cropped in the soil ($P < 0.001$).

The addition of SSPs in the soil, and the mix SSPs + FMA in the commercial peat produced the highest quantities of fruit-set (figure 3); meanwhile, the application to the soil of SSPs + FMA and SSPs caused the lowest number of fruit-set ($P < 0.001$).

The accumulation of sugar in tomato was directly related to the variety of the crop and the sources of phosphate fertilizers. The non-addition of phosphate sources at the moment of the crop affected negatively the accumulation of sugar in tomato ($P < 0.001$).

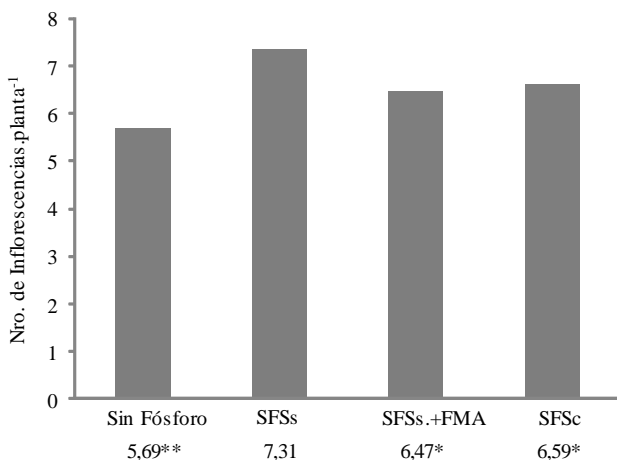


Figura 2. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el número de inflorescencia en el cultivo de tomate (*: P<0,05; **: P<0,001).

Figure 2. Effect of the phosphate fertilization on the inflorescence number in tomato (*: P<0.05; **: P<0.001).

tas cantidades de frutos cuajados (figura 3); mientras que la aplicación al suelo de SFSs + FMA y de SFSsC originaron el más bajo número frutos cuajados (P<0,001).

La acumulación de azúcares en los frutos del tomate estuvo directamente relacionada con la variedad del cultivo y las fuentes de fertilizantes fosfatados. La no aplicación de fuentes fosfatadas al momento de la siembra del cultivo afectó negativamente la acumulación de azúcares en los frutos de tomate (P<0,001).

Las variedades V1 y V3 mostraron la mayor producción de flores y frutos cuajados (P<0,01) pero con una menor acumulación de azúcares; en tanto que V2 y V4 presentaron menor cantidad de inflorescencias y frutos cuajados, pero con más alto contenido de azúcares, con los tratamientos de fertilización fosfatada aplicada.

Varieties V1 and V3 showed the highest production of flowers and fruit-set (P<0.01), but with a lower accumulation of sugar, V2 and V4 presented a lower quantity of inflorescences and fruit-set, but with higher sugar content with the phosphate fertilization treatments applied.

Conclusions

The phosphate rock from Navay had a P₂O₅ content of 27.23% and the SSPs obtained by acidification showed a good quantity of available phosphorus (18.89% P₂O₅).

The SSPs was absorbed more efficiently by the commercial tomato varieties CLN2498D and LBR-16, cropped in the soil; on the other hand, the commercial tomato varieties cropped in the peat absorbed 99.70% of the total P provided by SSPs.

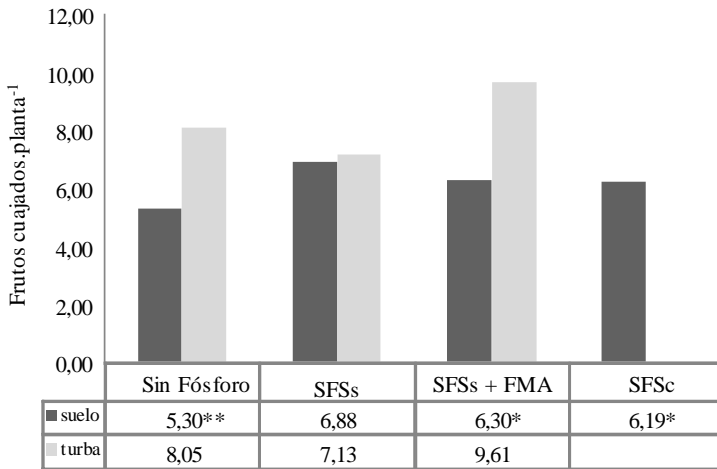


Figura 3. Efecto de la fertilización fosfatada y el sustrato sobre el cuaje de los frutos de tomate (*: $P < 0,05$; **: $P < 0,001$).

Figure 3. Effect of the phosphate fertilization and the substrate on the fruit-set of tomato (*: $P < 0.05$; **: $P < 0.001$).

Conclusiones

La roca fosfática de Navay presentó un tenor de 27,23% P_2O_5 y el SFSs obtenido por acidulación, mostró una buena cantidad de fósforo disponible (18,89% P_2O_5).

El SFSs fue absorbido con mayor eficiencia por las variedades de tomate comercial CLN2498D y LBR-16, cultivadas en suelo; en tanto que todas las variedades de tomate comercial sembradas en la turba absorbieron el 99,70% del P total aportado por el SFSs.

El SFSs y la mezcla de SFSs+FMA mostraron los mejores efectos positivos en la producción de inflorescencias, frutos cuajados y contenido de azúcares en las diferentes variedades comerciales de tomate.

The SSPs and the mix SSPs+FMA showed the best positive effects in the production of inflorescences, fruit-set and sugar content in the different commercial varieties of tomato.

End of english version

Literatura citada

Agricultural Research Service. Soil and Water Conservation Research Division (USDA) and Tennessee Valley Authority. Office of Agricultural and Chemical Development (TVA). 1964. Superphosphate: Its History, Chemistry, and Manufacture. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture; for sale by the Superintendent of Documents, U.S. Govt. Print. Off. Washington, 349 p.

- American Society for Testing and Materials Staff (ASTM). 1990. Method D1252-88. Annual Book of ASTM Standards. Vol 15. Philadelphia, PA.
- Association of Florida Phosphate Chemist (AFPC). 1980. Fertilizer Sampling and Analytical Methods. Section IX, Methods of Analysis For Phosphate Rock, No. 3 Phosphorus-P₂O₅ or Ca₃(PO₄)₂, Method A-Volumetric Method. 5th Edition, AFPC, Bartow, FL.
- Casanova, E. y Herrera, T. 1997. Efecto de las características de suelos y rocas fosfóricas sobre el fósforo disponible. Venesuelos, 5 (1 y 2): 34-39.
- Casanova, E. 1990. Uso de los recursos nativos de fósforo en cultivos de importancia en Venezuela. Rev. Fac. Agron. UCV, 17 (1-4): 253- 279.
- Issa, O., Morales, F. y Furnari, S. 1991. Preparación de fertilizantes utilizando rocas fosfóricas nacionales como materia prima. Rev. Fac. Agron. UCV, 17 (1 - 4): 461-472.
- Morillo, A., Sequera, O. y Ramírez R. 2007. Roca fosfórica acidulada como fuente de fósforo en un suelo ácido con o sin encalado. Bioagro 19(3): 161-168.
- National Fertilizer Development Center (NAFDC). 1979. Laboratory Manual. General Analytical Laboratory. Phosphorus. pp.107-135. Tennessee Valley Authority, NAFDC-TVA, Muscle Shoals, Alabama.
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación (FAO). 2007. Utilización de las Rocas Fosfóricas para una Agricultura Sostenible. Boletín FAO, Fertilizantes y Nutrición Vegetal, Número 13. Roma, Italia. 177 p.
- Pequiven. 2008. La roca fosfática de la formación Navay. Aspectos a considerar para su desarrollo minero e industrial. Informe Dirección de proyectos, Gerencia del proyecto Navay. San Cristóbal, 33 p.
- Romero P. 1991. Desarrollo Integral de los Fosfatos del Suroeste de Venezuela. Rev. Fac. Agr. (UCV) 17:19-24.
- Stainforth, R. M., 1962. Definitions of some new stratigraphic units in western Venezuela: Las Pilas, Cocuiza, Vergel, El Jebe, Tres Esquinas and Nazaret. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról., Bol. Inform., 5(10): 279-282.
- Van Reeuwijk, L.P. 1993. Procedures for soil analysis. 4ta ed., International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). Technical paper Nro 9.
- Walker, C. y Monasterio, E. 1990. Estudio agronómico de rocas fosfóricas chilenas. Rev. Fac. Agr. (UCV). 17: 111-123.
- Welcher, F.J. 1975. Standard methods of chemical analysis. Vol 2. Part 3. R. E. Krieger Pub. Co. 6th Edition. Pennsylvania. 1372 p.