

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CALCIO Y FÓSFORO EN UN SUELO ÁCIDO Y LA RESPUESTA EN EL CULTIVO DE TOMATE CHONTO (*Solanum lycopersicum* (L.) Mill)

*Sandra Marcela Cano-Betancur**, *Marisol Gallego-Becerra**, *William Chavarriaga-Montoya***

*Proyecto de investigación para optar al título de Ingenieras Agrónomas. Universidad de caldas.
Correo electrónico: sandracanobetancur@gmail.com, marisolgallegobecerra@gmail.com.

**Profesor Asociado, Universidad de Caldas. Correo electrónico: william.chavarriaga@ucaldas.edu.co

Recibido: 1 de junio; aprobado: 28 de junio de 2011

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de calcio y fósforo en un suelo ácido de la granja Montelindo en la vereda Santágueda, municipio de Palestina, Caldas, sobre el desarrollo y la producción del tomate chonto (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de semitecho. En un diseño experimental en bloques completos al azar se asignaron seis tratamientos: T1, sin fertilización; T2, fertilización convencional (fertilizante 10-20-20 + cloruro de potasio); T3, carbonato de calcio más DAP; T4, carbonato de calcio más roca fosfórica; T5, cal dolomita más DAP, y T6, cal dolomita más roca fosfórica. Las variables evaluadas fueron: variación de pH, contenido de fósforo, calcio, magnesio, potasio y aluminio intercambiable, altura de la planta, número de hojas, número de racimos y producción. En los tratamientos con aplicación de carbonato de calcio, cal dolomita, roca fosfórica y DAP se logró incrementar el pH, aumentar el contenido de P, Ca, Mg y K y neutralizar el Al^{3+} presentes en el suelo. En las variables relacionadas con producción no se observó diferencia estadística significativa entre tratamientos; sin embargo, el mayor rendimiento en producción se obtuvo con la fertilización convencional.

Palabras clave: enclamiento, aluminio intercambiable, pH.

ABSTRACT

EFFECT OF CALCIUM AND PHOSPHORUS APPLICATION IN AN ACID SOIL AND RESPONSE OF "CHONTO" TOMATO [*Solanum lycopersicum* (L.) Mill]

The objective of this investigation was to evaluate the effect of the application of calcium and phosphorus in an acid soil on the development and production of "chonto" tomato under semi-roof conditions in the Montelindo farm located in Santagueda, municipality of Palestina, Caldas. Six treatments were randomly assigned in a complete blocks experimental design. The treatments were: 1, without fertilization; 2, conventional fertilization (fertilizer 10-20-20 + potassium chloride); 3, calcium carbonate and DAP; 4, calcium carbonate and phosphoric rock; 5, dolomite lime and DAP, and 6, dolomite lime and phosphoric rock. The parameters evaluated were: pH variation, phosphorus, calcium, magnesium, potassium and exchangeable aluminum content, plant height, number of leaves, number of bunches and production. In the treatments with the application of calcium carbonate, dolomite lime, phosphoric rock and DAP it was possible to increase the pH, the content of P, Ca, Mg and K, and neutralize the Al^{3+} in soil. In the variables related to production, significant statistical difference between treatments was not observed; nevertheless, the greatest performance in production was obtained with conventional fertilization.

Key words: liming, interchangeable Al, pH.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un componente de gran importancia para la agricultura, y en Colombia se han realizado importantes investigaciones en suelos, principalmente en la zona cafetera (Sadeghian, 2003; Ortiz, 2003; Betancur & Trejos, 2004; Sadeghian *et al.*, 2005; Díaz, 2006; Castro & Gómez, 2008; Ocampo, 2009; Cuartas, 2010; Sadeghian, 2010). Los suelos de esta zona se caracterizan por su amplia variabilidad, condición originada por la acción e interacción de los agentes de formación, principalmente material parental, relieve y clima (Sadeghian *et al.*, 2005).

Aproximadamente el 40% de los suelos cultivables del mundo son ácidos y están sujetos a los efectos de la toxicidad por el aluminio, debido a que en suelos con pH inferior a 5,5 el aluminio aparece en la solución del suelo como Al^{3+} , conocido como aluminio intercambiable, que es un ión libre que puede formar compuestos con otros iones presentes en la solución como los fosfatos y los sulfatos. Estos iones de Al^{3+} también pueden competir con otros cationes como Ca^{2+} y Mg^{2+} por los sitios de intercambio en los coloides del suelo; de esta forma el aluminio intercambiable puede ser un factor limitante de la fertilidad de la mayoría de los suelos ácidos (Zapata, 2004).

La saturación de aluminio en el suelo reduce el crecimiento de raíces, inhibe su elongación y penetración en el suelo y, consecuentemente, reduce la absorción de agua y nutrientes, así como la incapacidad de las raíces de llegar a estos en el subsuelo. En una segunda fase del daño, el aluminio obstaculiza la translocación de nutrientes a la parte aérea, los cuales se manifiestan como deficiencias nutricionales, principalmente de P, Ca y Mg (Zapata, 2004), impidiendo el desarrollo adecuado de los cultivos poco tolerantes a estas condiciones de acidez, tales como: frijol, maíz, sorgo, soya y trigo (Zapata, 2004). Este efecto negativo es ampliamente estudiado por los investigadores en el mundo (Wild, 1992; Malavolta, 1992; Espinosa, 1995; Molina, 1998; Ortiz,

2003; Ortiz *et al.*, 2004; Zapata, 2004). El parámetro de la acidez de los suelos adquiere gran importancia en la zona tropical, especialmente en Colombia, donde los suelos ácidos ocupan más del 80% del territorio (Zapata, 2004).

La acidez incide en fenómenos fisicoquímicos, como la capacidad de intercambio catiónico, la adsorción de los elementos y la presencia de aluminio en formas tóxicas para las plantas (Zapata, 2004). Uno de los elementos que se ven más limitados por la condición ácida del suelo es el fósforo, principalmente por la formación de fosfatos de aluminio y de hierro, que son compuestos muy insolubles (Lindsay, 1979; Díaz, 2006). Los efectos de la acidez inciden directamente en la fertilidad de los suelos, y son uno de los factores determinantes en la evaluación de la productividad agrícola, de ahí la importancia que tiene su valoración para establecer estrategias de manejo (Sadeghian, 2010).

El tomate (*S. lycopersicum*) es una planta que demanda altas cantidades de nutrientes y la producción de frutos de buen calibre y alto peso está relacionada con la disponibilidad de nutrientes en cada una de las etapas de crecimiento del cultivo (Vallejo & Estrada, 2004). La necesidad de fertilizantes del cultivo depende de: la disponibilidad de nutrientes del suelo, el contenido de materia orgánica, la humedad del suelo, la variedad, la producción y la calidad esperada del cultivo (Jaramillo *et al.*, 2006). Los requerimientos nutricionales promedio de N, P, K, Ca y Mg para el cultivo son 225 kg.ha⁻¹, 72 kg.ha⁻¹, 318 kg.ha⁻¹, 50 kg.ha⁻¹ y 64 kg.ha⁻¹, respectivamente, para una densidad de población de 19.000 plantas y un rendimiento esperado de 42 t.ha⁻¹ (Vallejo & Estrada, 2004). Para el cultivo de tomate se requieren suelos sueltos, bien drenados, profundos y ricos en materia orgánica (Espinosa, 2004; Jaramillo *et al.*, 2006). Según Zapata (2004), el rango de pH adecuado para el cultivo de tomate está entre 5,5 y 6,5.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de dos materiales encalantes y dos

fuentes de fósforo sobre las propiedades químicas de un suelo ácido de la granja Montelindo y su efecto sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo del cultivo de tomate chonto (*S. lycopersicum*) en condiciones de semitecho.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas, ubicada en la vereda Santágueda, municipio de Palestina, Caldas, a una altura de 1.010 msnm, temperatura media de 22,8°C, humedad relativa de 76% y precipitación anual de 2.200 mm (FNC & CENICAFÉ, 2010). Los suelos del área de estudio son de origen volcánico,

textura franco-arenosa con pH fuertemente ácido y alto contenido de materia orgánica, clasificados taxonómicamente como Andic Dystrudepts.

Plántulas de tomate chonto (*S. lycopersicum*) híbrido Andino de hábito indeterminado, procedentes de la granja Tesorito de la Universidad de Caldas, fueron usadas para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo de la planta. Se realizó un diseño en bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. La fertilización se definió con base al análisis de suelos y el enclamiento con la fórmula sugerida por Cochrane *et al.* (1980). La descripción de los tratamientos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	DESCRIPCIÓN
1	Testigo (sin fertilización)
2	Fertilización convencional. Fertilizante grado 10-20-20 (78 g.planta ⁻¹) + KCl (37 g.planta ⁻¹)
3	CaCO ₃ (1,32 t.ha ⁻¹) + DAP (0,16 t.ha ⁻¹)
4	CaCO ₃ (1,09 t.ha ⁻¹) + Roca fosfórica (0,25 t.ha ⁻¹)
5	CaCO ₃ MgCO ₃ (1,90 t.ha ⁻¹) + DAP (0,16 t.ha ⁻¹)
6	CaCO ₃ MgCO ₃ (1,53 t.ha ⁻¹) + Roca fosfórica (0,25 t.ha ⁻¹)

La incorporación del carbonato de calcio, de la cal dolomita y de la roca fosfórica se realizó una semana antes del trasplante. La primera fertilización se llevó a cabo en el trasplante y, posteriormente, se realizaron otras tres fertilizaciones a los 20, 40 y 60 días después del trasplante. Para la fertilización convencional se emplearon cloruro de potasio (KCl) y fertilizante grado 10-20-20 de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente. En los tratamientos con carbonato de calcio, cal dolomita, roca fosfórica y DAP se aplicó urea y cloruro de potasio para aportar nitrógeno y potasio requeridos por el cultivo. Durante todo el ciclo del cultivo fueron realizadas todas las labores necesarias para el mantenimiento del cultivo.

Para observar el efecto de los tratamientos sobre el suelo se determinó el pH cada 30 días; así mismo, al inicio y al final del experimento se midió el contenido de P, Ca, Mg, K y Al³⁺; el efecto en la planta se evaluó registrando cada 8 días la altura de la planta (cm), la cantidad de hojas (número) y racimos (número), y la producción (kg.parcela⁻¹). Para cada una de las variables evaluadas se calcularon promedios y se realizó un análisis de varianza con el programa estadístico Statgraphics plus, utilizando la prueba comparativa de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del encalamiento y la aplicación de fósforo sobre las propiedades químicas del suelo

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la variable pH. En términos de pH, el suelo que no recibió fertilización química (testigo) fue estadísticamente diferente al que recibió fertilización con carbonato

de calcio más DAP (tratamiento 3) y cal dolomita más DAP (tratamiento 5). El suelo tratado con fertilización convencional (tratamiento 2) presentó diferencias estadísticas significativas con los suelos fertilizados con carbonato de calcio más DAP (tratamiento 3), cal dolomita más DAP (tratamiento 5) y cal dolomita más roca fosfórica (tratamiento 6), y se pudo encontrar que el encalamiento en los suelos ácidos de la granja Montelindo contribuye a la disminución de la acidez (Figura 1).

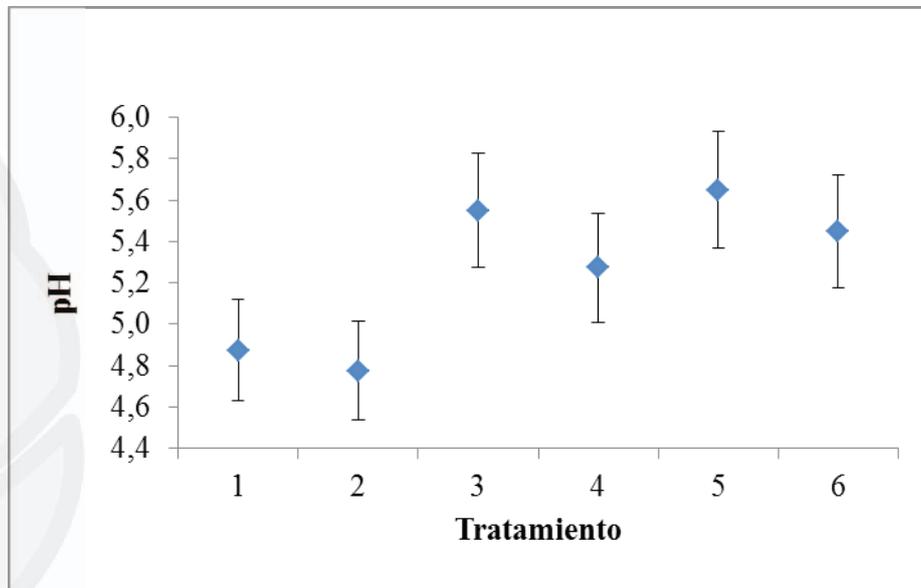


Figura 1. Efecto del encalamiento y la aplicación de fósforo sobre el pH del suelo. Tratamiento 1, sin fertilización (testigo); tratamiento 2, fertilización convencional; tratamiento 3, carbonato de calcio más DAP; tratamiento 4, carbonato de calcio más roca fosfórica; tratamiento 5, cal dolomita más DAP y tratamiento 6, cal dolomita más roca fosfórica.

El comportamiento del pH fue poco variable para el tratamiento sin fertilización (testigo) y con fertilización convencional (tratamiento 2), en los cuales no se realizó encalamiento; la mayor respuesta al encalamiento se observó en el tratamiento 5 correspondiente a la aplicación de cal dolomita más DAP, pasando de un pH muy fuertemente ácido con un valor de 4,7 a medianamente ácido con un valor de 5,6 (Figura 2). En los suelos fuertemente ácidos existe una baja disponibilidad de nutrientes, con la

excepción del hierro; en muchos casos, el aumento de pH por encalado hace más disponibles los nutrientes y es una forma más económica que la sola aplicación de fertilizantes (Zapata, 2004).

Los resultados encontrados en esta investigación coinciden con lo reportado por otros autores (Sadeghian, 2003; Díaz, 2006; Ocampo, 2009) y confirman una vez más los beneficios obtenidos con la aplicación de fertilización fosfórica y fuentes

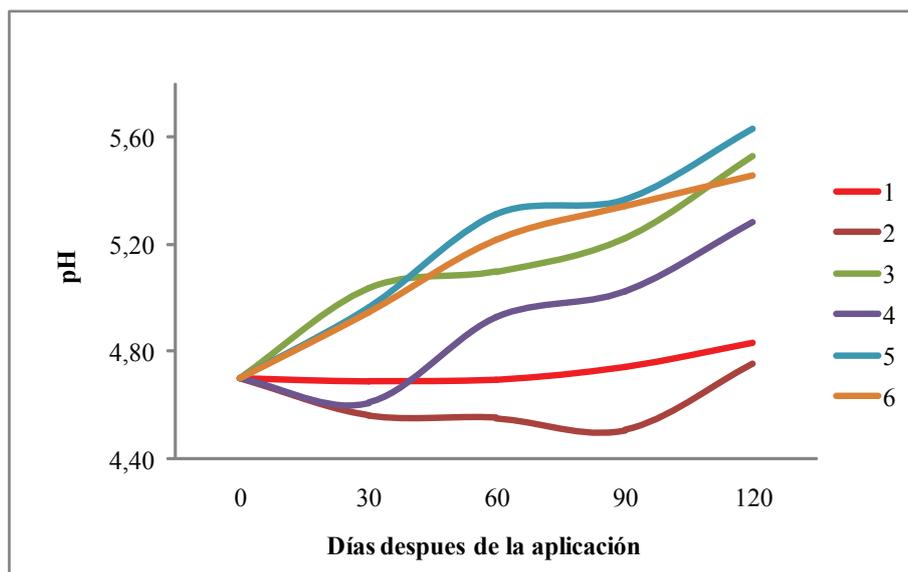


Figura 2. Efecto del encalamiento sobre la variación del pH del suelo. Tratamiento 1, sin fertilización (testigo); tratamiento 2, fertilización convencional; tratamiento 3, carbonato de calcio más DAP; tratamiento 4, carbonato de calcio más roca fosfórica; tratamiento 5, cal dolomita más DAP y tratamiento 6, cal dolomita más roca fosfórica.

encalantes como correctivos de la acidez del suelo, y su efecto directo en las propiedades químicas del suelo e indirecto sobre las propiedades asociadas a estas.

La neutralización del Al^{3+} presente en el suelo se logró en gran medida con el encalamiento, siendo esta mayor en los suelos tratados con carbonato de calcio más DAP (tratamiento 3) y cal dolomita más DAP (tratamiento 5), pasando el Al^{3+} en ambos casos desde $1 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ hasta $0,2 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Figura 3). Se evidenció así que para el suelo en estudio no existe diferencia en el efecto causado por los diferentes materiales encalantes utilizados. De acuerdo con Sadeghian (2008), la elección del material encalante que se va a utilizar depende del requerimiento que se tenga de aportar otros nutrientes diferentes al calcio, como es el caso del Mg con la cal dolomita, debido a que el efecto como correctivos de acidez es

semejante. El Al^{3+} es el catión predominante cuando el pH del suelo es menor de 5,5, y cuando el pH es mayor de este valor, el complejo de cambio pasa a estar dominado por Ca^{+2} , seguido de Mg^{+2} y K^{+} (Zapata, 2004).

La fertilización convencional incrementó en gran medida el contenido de fósforo en el suelo, pues pasó de $12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $168 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; esto en virtud a la gran cantidad de fósforo aportado al suelo mediante el fertilizante grado 10-20-20 utilizado convencionalmente para el cultivo de tomate chonto. Con la aplicación de DAP y el aumento en el pH del suelo se logró incrementar la cantidad de fósforo disponible en el suelo, mientras que con la roca fosfórica, por ser de más lenta reacción en el suelo, no se observaron altas cantidades de fósforo disponible al final del experimento (Figura 4).

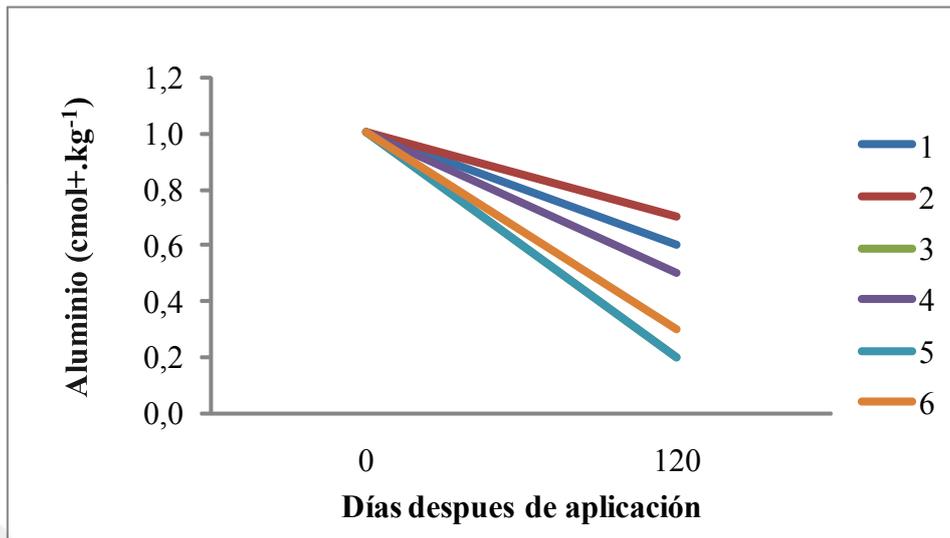


Figura 3. Neutralización del aluminio intercambiable presente en el suelo. Tratamiento 1, sin fertilización (testigo); tratamiento 2, fertilización convencional; tratamiento 3, carbonato de calcio más DAP; tratamiento 4, carbonato de calcio más roca fosfórica; tratamiento 5, cal dolomita más DAP y tratamiento 6, cal dolomita más roca fosfórica.

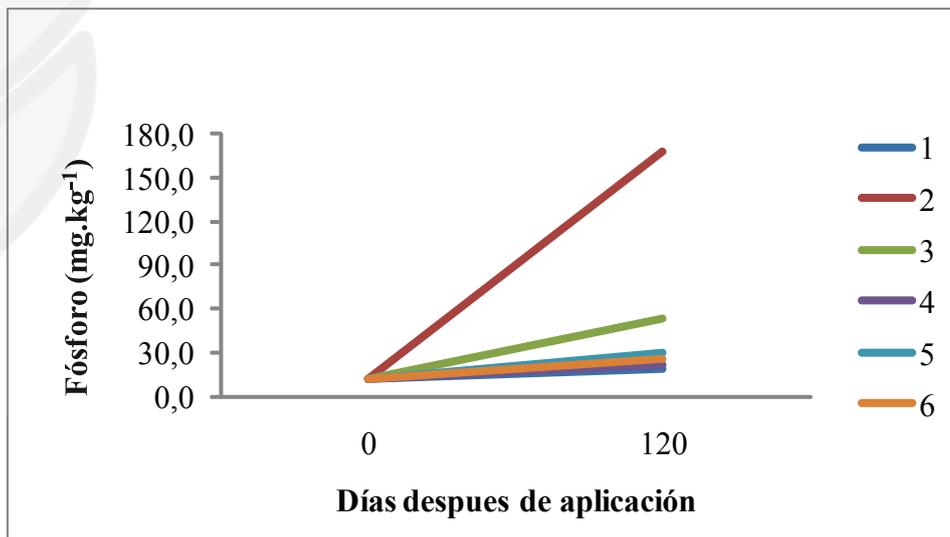


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de fósforo en el suelo. Tratamiento 1, sin fertilización (testigo); tratamiento 2, fertilización convencional; tratamiento 3, carbonato de calcio más DAP; tratamiento 4, carbonato de calcio más roca fosfórica; tratamiento 5, cal dolomita más DAP y tratamiento 6, cal dolomita más roca fosfórica.

En los tratamientos con incorporación de carbonato de calcio, cal dolomita y roca fosfórica, además del cambio en el pH del suelo, se incrementaron las cantidades de calcio en la solución del suelo (Figura 5). Con la aplicación de cal dolomita se realizó un

aporte de magnesio que se tradujo en el aumento en la cantidad de este elemento disponible en el suelo (Figura 6). Resultados similares fueron obtenidos en estudios realizados por Oliveira *et al.* (2002).

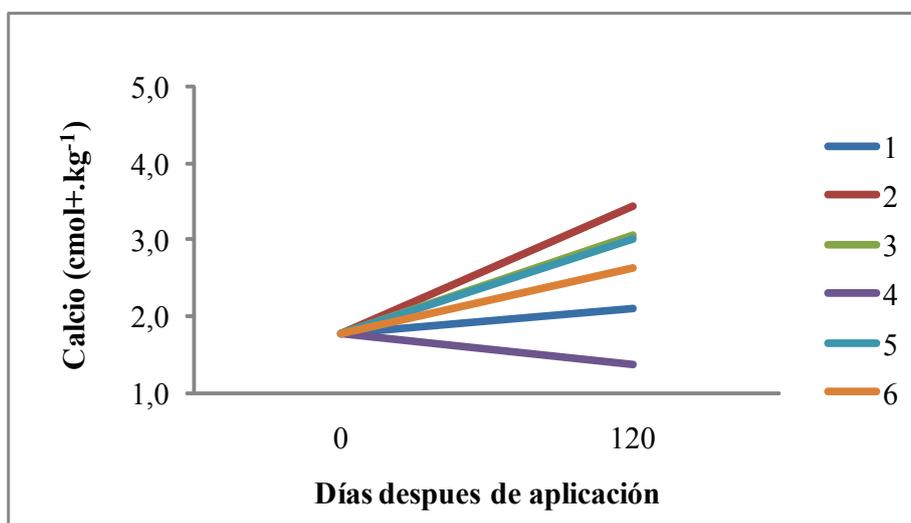


Figura 5. Efecto del encalamiento sobre el contenido de calcio en el suelo. Tratamiento 1, sin fertilización (testigo); tratamiento 2, fertilización convencional; tratamiento 3, carbonato de calcio más DAP; tratamiento 4, carbonato de calcio más roca fosfórica; tratamiento 5, cal dolomita más DAP y tratamiento 6, cal dolomita más roca fosfórica.

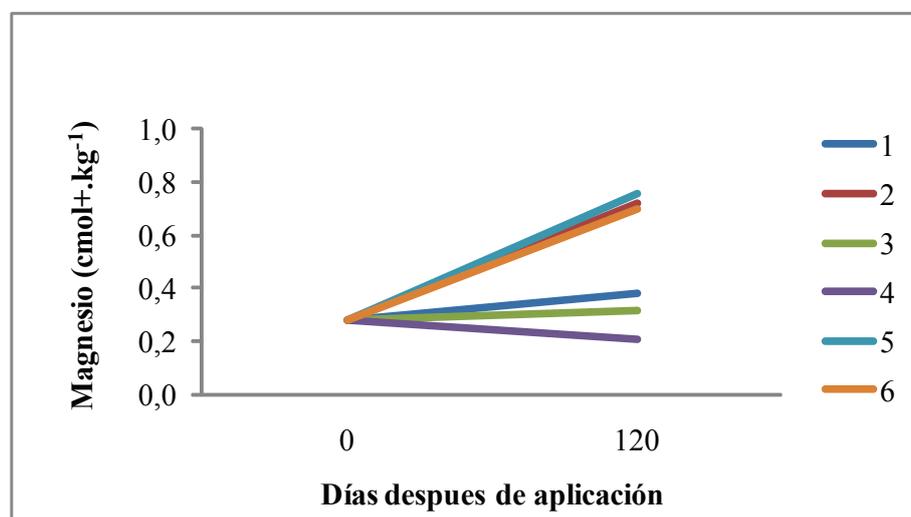


Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de magnesio en el suelo. Tratamiento 1, sin fertilización (testigo); tratamiento 2, fertilización convencional; tratamiento 3, carbonato de calcio más DAP; tratamiento 4, carbonato de calcio más roca fosfórica; tratamiento 5, cal dolomita más DAP y tratamiento 6, cal dolomita más roca fosfórica.

El potasio presente en el suelo al final del experimento fue mayor en el suelo fertilizado convencionalmente (Figura 7) como consecuencia del aporte efectuado de este nutriente mediante el fertilizante grado 10-20-20 y el cloruro de potasio aplicados en alta cantidad comparado con lo requerido de acuerdo con el análisis de suelos y las necesidades nutricionales del cultivo de tomate chonto. En contraste a lo ocurrido en el suelo sin fertilización (testigo), en el suelo encalado y fertilizado al final del experimento se observó un incremento en los niveles de P, Ca, Mg y K disponibles para la planta en la solución del suelo. Castro & Gómez (2008) reportaron que dependiendo de las

fuentes de encalamiento utilizadas, los mecanismos de reacción de los mismos enriquecen la fase intercambiable con Ca^{++} y Mg^{++} una vez producen el desplazamiento del aluminio intercambiable en la solución del suelo, de modo que se induce un mejoramiento en la concentración de bases. De otra parte, a medida que el pH se hace menos ácido (pH mayor a 5,5), el fósforo aumenta su disponibilidad o solubilidad.

Efecto del encalamiento y la aplicación de fósforo sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo del cultivo de tomate chonto

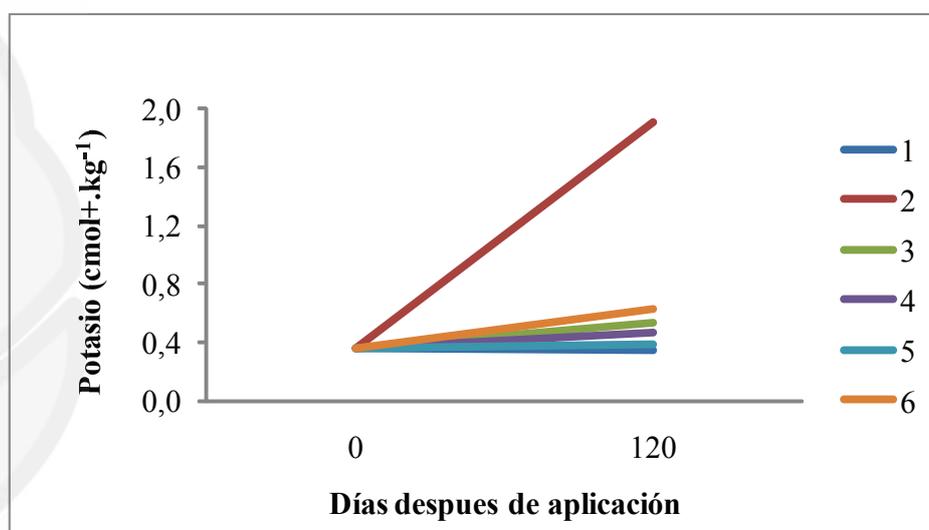


Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el contenido de potasio en el suelo. Tratamiento 1, sin fertilización (testigo); tratamiento 2, fertilización convencional; tratamiento 3, carbonato de calcio más DAP; tratamiento 4, carbonato de calcio más roca fosfórica; tratamiento 5, cal dolomita más DAP y tratamiento 6, cal dolomita más roca fosfórica.

Para las variables altura de la planta, número de hojas, número de racimos y producción no se observó efecto de los tratamientos. El mayor rendimiento en producción se obtuvo con la fertilización convencional; sin embargo, de acuerdo con los requerimientos nutricionales de la planta, reportados por Vallejo & Estrada (2004) para una producción esperada de $42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, en los tratamientos con

aplicación de carbonato de calcio, cal dolomita, DAP y roca fosfórica, se tiene que se superó la proyección de rendimiento (Figura 8). Estos resultados sugieren que con la práctica de encalamiento y el plan de fertilización basado en el análisis de suelo se obtiene una buena respuesta del cultivo en términos de producción.

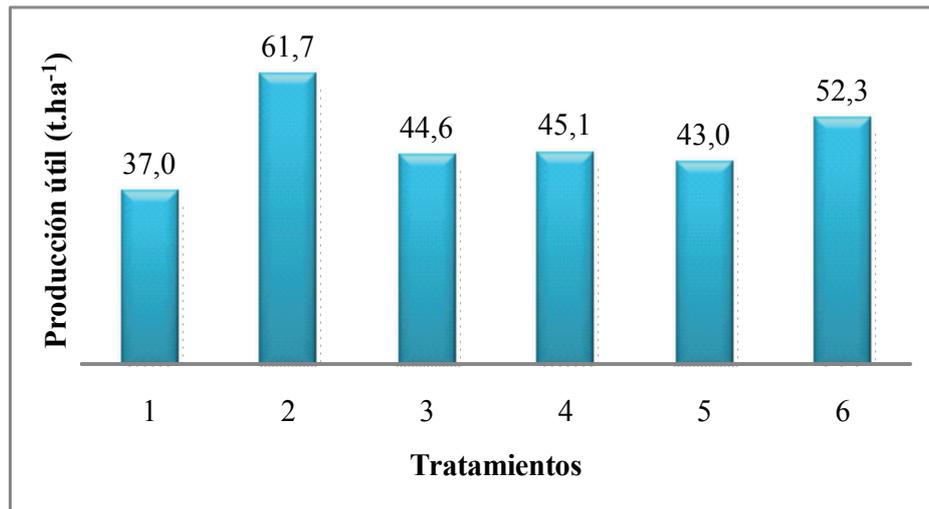


Figura 8. Producción útil del cultivo de tomate chonto en la granja Montelindo de la Universidad de Caldas. Tratamiento 1, sin fertilización (testigo); tratamiento 2, fertilización convencional; tratamiento 3, carbonato de calcio más DAP; tratamiento 4, carbonato de calcio más roca fosfórica; tratamiento 5, cal dolomita más DAP y tratamiento 6, cal dolomita más roca fosfórica.

CONCLUSIONES

La mejor respuesta en el suelo se observó con la aplicación de cal dolomita más DAP, por lo que se logró un mayor cambio en el pH, pasando de muy fuertemente ácido a medianamente ácido, y uno de los más altos niveles de neutralización del Al^{3+} , además

del incremento en los contenidos de P, Ca, Mg y K. En las variables relacionadas con producción no se observó diferencia estadística significativa entre tratamientos; sin embargo, el mayor volumen de producción se obtuvo con la fertilización convencional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Betancur-Patiño, J.H. & Trejos-González, G.A. 2004. Mineralogía y micromorfología de suelos de ladera sitios de referencia: Granjas Tesorito, Montelindo y La Cruz, de la región andina central de Colombia. Tesis para optar el título de Geólogos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

Castro, H. & Gómez, M. 2008. Actualidad y tendencias del uso de enmiendas calcáreas en Colombia. Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. pp. 141-153. Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá.

Cochrane, T.T., Salinas, J.G. & Sánchez, P.A. 1980. An equation for liming acid mineral soils to compensate crops aluminium tolerance. *Revista Tropical Agriculture*, 57(2): 133-140.

Cuartas, A.F. 2010. Centro de información y referencia de suelos agrícolas de Caldas (CIRSAC) y estudio de calidad del suelo para la granja experimental Montelindo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

Díaz-Marín, C. 2006. Efecto del encalamiento sobre el crecimiento de las plantas de café en la etapa del almácigo. Tesis de grado para optar el título de Ingeniera Agrónoma. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

Espinosa, J. 1995. Acidez y encalado de los suelos. Instituto de la potasa y el fósforo. *Informaciones Agronómicas*. (INPOFOS). Quito, Ecuador. 42p.

Espinosa-Zapata, C. 2004. Producción de tomate en invernadero. *Invernaderos: Diseño, manejo y producción*. pp. 19-43. *Memorias del Simposio Nacional de Horticultura*. Torreón, México.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – FNC & Centro de Investigaciones de Café - CENICAFÉ. (2010). *Anuario Meteorológico Cafetero 2008*. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M. & Zapata, M. 2006. El cultivo de tomate bajo invernadero. *Boletín Técnico 21*. Corpoica La Selva. Rionegro, Antioquia, Colombia.

Lindsay, W.L. (1979). *Chemical equilibrium in soils*. Jhon Wiley and Sons, New York.

Malavolta, E. (1992). Efecto de la acidez y el encalado en los suelos cafetaleros. pp. 9-13. En: *Boletín de Promecafé No. 56*. Centro de Energía Nuclear en Agricultura. Universidad de Piracicaba, Brasil.

Molina, E. (1998). *Encalado para la corrección de la acidez del suelo*. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica, San José de Costa Rica.

Ocampo-López, J. (2009). Valoración de tres fuentes de calcio en suelos ácidos de la granja Tesorito y la respuesta en la producción para el cultivo de arveja (*Pisum sativum*). Tesis para optar el título de Ingeniero agrónomo. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.

Oliveira F., H.T., Novais, R.F., Álvarez, V.H., Cantarutti, R.B. & Barros, N.F. 2002. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. pp. 394-486. En: *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Tópicos em Ciência do solo*, 2. Viçosa, Brasil.

Ortiz-Escobar, M.E. 2003. Evaluación de métodos químicos para determinar posibles fuentes de acidez en algunos suelos con propiedades ándicas de la zona cafetera colombiana. Tesis doctoral en Ciencias Agropecuarias. Escuela de Posgrados, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Valle, Colombia.

Ortiz-Escobar, M.E., Zapata Hernández, R.D., Sadeghian Khalajabadi, S. & Franco Álvarez, H.F. 2004. Aluminio intercambiable en suelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad. *Revista Cenicafé*, 55(2):101-110.

Sadeghian-Khalajabadi, S. 2003. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Revista Cenicafé*, 54(3):242-257.

Sadeghian-Khalajabadi, S. 2008. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. Guía práctica. Boletín Técnico 32. Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia. 44p.

Sadeghian-Khalajabadi, S. (2010). Evaluación de la fertilidad del suelo para una adecuada nutrición de los cultivos. Caso café. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo.

Sadeghian-Khalajabadi, S., García López, J.C. & Montoya Restrepo, E.C. (2005). Respuesta del cultivo de café a la fertilización con N, P, K y Mg en dos fincas del departamento del Quindío. *Revista Cenicafé*, 56(4):58-69.

Vallejo C., F.A. & Estrada S., E.I. (2004). Producción de hortalizas de clima cálido. Palmira. Universidad Nacional de Colombia.

Wild, A. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundiprensa.

Zapata-Hernández, R.D. (2004). La química de la acidez del suelo. Medellín. Universidad Nacional de Colombia.