

EFECTO DEL SISTEMA RADICAL DE SIETE LÍNEAS DE MAÍZ EN LOS CAMBIOS DE pH DE LA RIZOSFERA Y SU INFLUENCIA EN LA DISPONIBILIDAD DEL FÓSFORO

Shirley M. Fernández¹ y Ricardo Ramírez²

RESUMEN

La deficiencia de fósforo en el suelo puede ocasionar cambios en la composición de la rizósfera como un mecanismo para mejorar el aprovechamiento de este elemento proveniente de fuentes de baja solubilidad. Con la finalidad de evaluar el efecto del sistema radical en los cambios de pH de la rizósfera y su influencia en la disponibilidad del fósforo en siete líneas de maíz desarrolladas en suelo ácido y en suelo encalado, se realizaron cuatro experimentos en condiciones controladas utilizando rizo-cajas; los dos primeros experimentos fueron sembrados simultáneamente en un suelo Plinthic Paleustult, de pH 4,45 bajo en P, uno fertilizado con roca fosfórica de Riecito (RF) en una dosis de 400 mg/kg de P y el otro con superfosfato triple (SFT), en igual dosis. Los otros dos experimentos fueron sembrados en el mismo suelo, pero encalado hasta pH 6,2, aplicándose los mismos fertilizantes. Se evaluaron seis líneas de maíz procedentes del CIMMYT, y una línea nacional seleccionada por el FONAIAP. Adicionalmente, se incluyó una rizo-caja testigo sin planta. A los 45 días se cosecharon las plantas y se determinó el pH, y el P y Ca residual en el suelo de la rizósfera. Adicionalmente, se evaluó el pH de la rizósfera con plantas intactas utilizando agar e indicadores de pH. En condiciones de suelo ácido, los materiales genéticos evaluados y fertilizados con RF modificaron de forma diferente el pH de la rizósfera. Estos cambios se relacionaron con la disponibilidad de P en la zona radical. Por otra parte, en el suelo encalado no se produjeron cambios significativos en el pH que permitieran incrementar la solubilidad del P proveniente de la RF.

Palabras clave adicionales: Sistema radical, rizósfera, roca fosfórica, pH

ABSTRACT

Effect of the radical system of seven corn lines on the pH changes of the rhizosphere and their influence on the phosphorus availability

Phosphorus deficiency in the soil can cause changes in the composition of the rhizosphere, as a mechanism to improve the P availability from sources of low solubility. With the purpose of studying the effect of the radical system in the changes of pH of the rhizosphere and their influence in the availability of the phosphorus, in seven lines of corn, developed in acid soils and in limed soils, four experiments were carried out under controlled conditions, using rhizo-boxes. The first two experiments were sowed simultaneously in a soil Plinthic Paleustult, pH 4.45 low in P; one fertilized with phosphate rock of Riecito (RF) at a rate of 400 mg/kg of P and the other with triple superphosphate, at the same rate. The other two experiments were sowed in the same soil, but limed to pH 6.2, and receiving the same fertilizers. Six lines of corn coming from the CIMMYT selected for acid soils and a native line, selected by the FONAIAP for neutral soils, were evaluated. A control rhizo-box, without plant, was included. Forty five days after planting, pH, P and Ca of the soil were measured. Under conditions of acid soil, the evaluated genetic materials, fertilized with RF, modified the pH of the rhizosphere in different ways and those differences were directly related to the availability of P and Ca in the radical zone. No modification of the rhizosphere pH occurred in the limed soil.

Additional key words: Root system, rhizosphere, phosphoric rock, pH

INTRODUCCIÓN

En Venezuela existe una significativa extensión de suelos agrícolas con problemas de acidez, en los que el fósforo es un nutriente limitante. La roca fosfórica (RF) como fuente de fósforo en los suelos ácidos es una alternativa

válida (Sánchez y Salinas, 1983). Sin embargo, debido a su baja solubilidad, su uso es más apropiado en cultivos perennes. En cultivos anuales como el maíz, solamente se han logrado respuestas en la segunda cosecha (Casanova, 1993; López et al., 1991). A pesar de esto, ciertas pruebas evidencian que algunos cultivares de maíz

Recibido: Octubre 11, 2000

Aceptado: Febrero 7, 2001

¹ Dpto. de Química y Suelos, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela. e-mail: Shirquim@yahoo.es

² FONAIAP-CENIAP. Apdo. 4653, Maracay, Venezuela. e-mail: ricardor@telcel.net.ve

pueden ser más eficientes en la absorción y utilización del fósforo de fuentes poco solubles. En algunos casos, esta mayor eficiencia se debe a cambios en la composición de la rizósfera en condiciones de bajo contenido de fósforo en el suelo (Jungk, 1987; Hanafi y Leslee, 1996; Zoysa et al., 1997).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del sistema radical sobre los cambios del pH de la rizófera y su influencia en la disponibilidad del fósforo provenientes de la roca fosfórica y el superfosfato triple en siete líneas de maíz en condiciones de suelo ácido y suelo encalado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron cuatro experimentos en condiciones controladas, utilizando un suelo ácido con pH 4,5 y un suelo encalado hasta pH 6,2. En cada tipo de suelo se cultivaron plantas de maíz (*Zea mays* L.) y se realizaron dos experimentos simultáneos: uno fertilizado con roca fosfórica de Riecito, estado Falcón, micronizada a 100 mallas (25% P₂O₅, 38% CaO), en dosis equivalentes a 400 mg de P por kg de suelo y el otro con superfosfato triple (45 % P₂O₅) en igual dosis. Adicionalmente, se suministró como solución nutritiva 150 mg/kg de N, 70 mg/kg de K, 0,05 mg/kg de Zn y 0,05 mg/kg de Fe.

Las plantas se desarrollaron en rizo-cajas de vidrio de 16 cm de altura, 14 cm de base y 1 cm de espesor. El suelo utilizado fue un Plinthic Paleustult, fino caolinítico, isohipertérmico, procedente de la localidad de Santa María de Ipire, estado Guárico, el cual mostró una textura arcillosa y los siguientes niveles nutricionales: 2 mg/kg de P, 42 mg/kg de Ca, 229 mg/kg de K y 94 mg/kg de Mg, además de 4,66 cmol/kg de Al, 8,9 cmol/kg de CIC y pH en agua de 4,45.

Para cada rizo-caja se pesaron 250 g de suelo, el cual una vez esparcido sobre un plástico negro fue cuidadosamente mezclado con el correspondiente fertilizante fosfatado y la solución nutritiva. Luego la mezcla se colocó hasta alcanzar un nivel de 1 cm por debajo del borde superior de la caja.

Se utilizaron seis líneas de maíz (*Zea mays* L.) procedentes del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT) seleccionadas en suelos con 60 % de saturación de

aluminio: Líneas 4, 5, 7, 11, 15 y 17, y una línea nacional seleccionada por el FONAIAP-Aragua, en suelos sin problemas de aluminio: Línea 76.

En cada rizo-caja se sembró una semilla de maíz pregerminada de la línea correspondiente. Un grupo de rizo-cajas se utilizó como testigo, las cuales fueron tratadas de forma idéntica que el resto de los tratamientos, pero sin planta, para constituir un total de ocho tratamientos, agrupados en un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones en cada experimento.

Los experimentos se colocaron en un invernadero enfriado por cortinas de agua, con temperaturas mínimas de 23 °C y máximas de 35 °C. Durante el tiempo de experimentación se mantuvo la humedad del suelo entre el 50 y el 80 % de la capacidad de campo, lo cual fue controlado a través del peso frecuente de un número representativo de los envases y la aplicación de agua desmineralizada.

El material vegetal se cosechó a los 45 días después de la siembra, cortando las plantas a 1 cm del suelo. En el suelo secado al aire se determinó el pH en agua a una relación suelo-agua de 1:2,5 y el P y Ca residual utilizando la metodología de Olsen et al. (1954) y del acetato de amonio de Thomas (1982), respectivamente.

Para observar los cambios de pH a lo largo de las raíces intactas, se seleccionó la Línea 76 por presentar la mayor diferenciación en el pH con respecto al testigo. Esta línea se hizo crecer durante 8 días en condiciones similares que en el experimento anterior; transcurrido este tiempo se procedió a determinar el pH de la rizósfera utilizando agar con indicadores de pH, específicamente el verde de bromocresol para el suelo ácido (3,8-5,4) y el rojo de metilo (4,4-6,2) para el suelo encalado, siguiendo la metodología de Hausling et al. (1985).

Para el procesamiento estadístico de los datos se siguió el método del análisis de la varianza y la separación de medias se realizó utilizando el procedimiento de Tuckey.

RESULTADOS

En el suelo ácido los valores de pH encontrados, bajo la influencia de la RF, fueron consistentemente más altos que los correspondientes al SFT (Cuadro 1). No se detectó diferencias en el suelo sin planta para las dos

fuentes de P. Con la aplicación de RF el valor de pH más alto fue de 4,87 en la Línea 76 y los más bajos de 4,63 en la Línea 11 y de 4,49 en el testigo. En los tratamientos con SFT no se encontraron diferencias significativas en el pH de la rizósfera; sin embargo, todas las líneas tendieron a disminuirlo, en términos absolutos, en comparación con el tratamiento testigo. Este comportamiento fue contrario al presentado con la RF.

En este mismo suelo se observó una fuerte acidificación en la rizósfera a los primeros 8 días de desarrollo de la Línea 76, fertilizada con RF, especialmente alrededor de los ápices de las raíces, la cual se manifestó con un color amarillo brillante al utilizar el indicador (Figura 1), lo cual sugirió valores de pH entre 3,4 y 3,8 al comparar con la placa de referencia. Cuando se aplicó SFT, la Línea 76 mostró una coloración verde amarillenta, propia de valores de pH menos ácidos, de aproximadamente de 3,8 a 4,2.

Cuadro 1. Valores de pH en agua (1:2,5), P y Ca residuales (mg/kg) en la rizósfera de siete líneas de maíz, fertilizadas con roca fosfórica (RF) o superfosfato triple (SFT) en un suelo ácido y en el suelo original.

Líneas	pH		Fósforo		Calcio	
	RF	SFT	RF	SFT	RF	SFT
4	4,75 ab	4,39 a	34 a	81 a	453 a	349 ab
5	4,76 ab	4,44 a	34 a	78 ab	433 ab	355 ab
7	4,66 ab	4,40 a	32 a	75 bc	432 ab	339 ab
11	4,63 b	4,42 a	33 a	75 bc	410 bc	343 ab
15	4,76 ab	4,44 a	32 a	67 cd	421 bc	346 ab
17	4,76 ab	4,42 a	33 a	76 bc	430 ab	358 a
76	4,87 a	4,41 a	27 a	64 d	361 c	270 b
Testigo	4,49 c	4,48 a	34 a	90 a	420 bc	349 ab
Suelo original	4,45		2		42	

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra y valores subrayados en la misma fila no son estadísticamente diferentes según la prueba de medias de Tukey, $P \leq 0,05$.

Con la aplicación de RF, en el suelo encalado, el pH varió desde 6,19 en las Líneas 5 y 7 hasta 6,30 en la Línea 76 y cuando se fertilizó con SFT, el pH varió desde 6,22 en la Línea 11 hasta 6,29 en la Línea 17 (Cuadro 2); sin embargo, en ninguno de los casos las diferencias observadas en el pH de la rizósfera fueron significativas desde el punto de vista estadístico.

En este suelo, a diferencia del suelo ácido, la zona alrededor de las raíces no mostró cambios de color en comparación al resto del suelo en ninguno de los tratamientos de RF y

A los 45 días de edad de las plantas, el P residual en el suelo de los tratamientos fertilizados con RF fue mucho mayor que el encontrado en el suelo original (Cuadro 1). Así mismo, en los fertilizados con SFT, el P residual fue significativamente más alto que el encontrado con la RF. Cuando se fertilizó con RF los niveles de P fueron semejantes para las diferentes líneas de maíz. En los tratamientos fertilizados con SFT el valor más bajo fue de 64 mg/kg de P en la Línea 76 y los más altos de 81 y 90 mg/kg de P en la Línea 4 y el testigo, respectivamente.

El Ca a diferencia del P fue consistentemente mayor cuando se fertilizó con RF que con SFT (Cuadro 1). Para el primer caso, el contenido de Ca residual más alto fue de 453 mg/kg en la Línea 4 y el más bajo de 361 mg/kg en la Línea 76. En el caso de la aplicación de SFT, el valor más alto correspondió a la Línea 17 con 358 mg/kg de Ca y el más bajo a la Línea 76 con 270 mg/kg de Ca.

SFT, observándose un color anaranjado amarillento muy uniforme en toda el área, sugiriendo valores de pH de aproximadamente 6,1 al comparar con la placa de referencia (Figura 2).

El fósforo residual, en los tratamientos con SFT, fue significativamente más alto que el encontrado con la RF (Cuadro 2). Cuando se fertilizó con RF los niveles de P fueron semejantes para las diferentes líneas y el testigo sin planta.

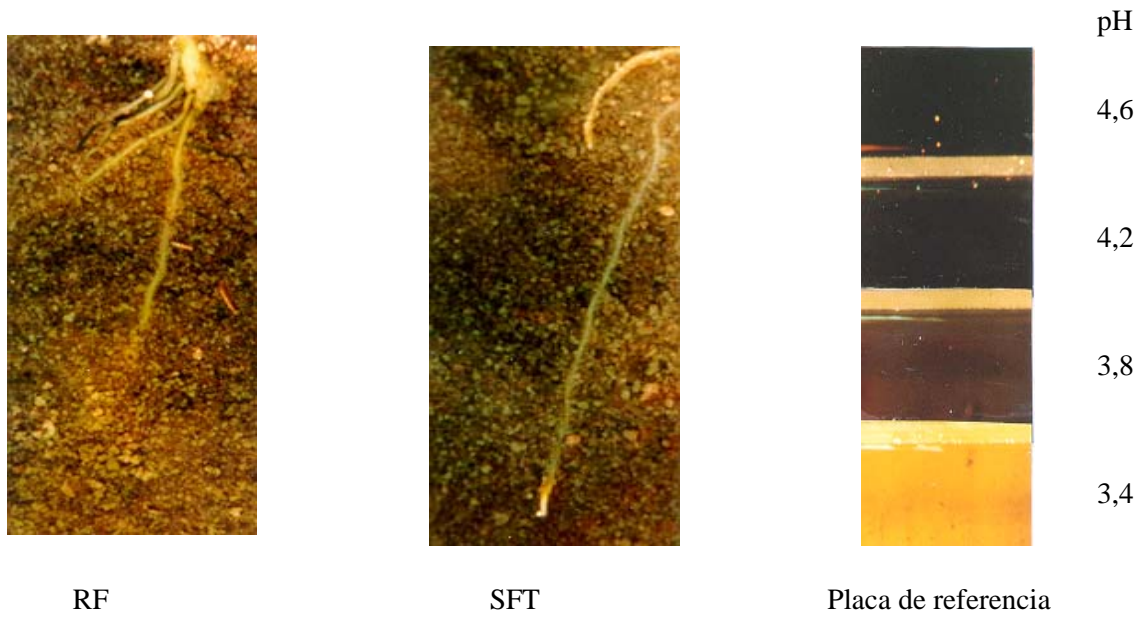


Figura 1. Visualización de los cambios de pH en la rizósfera de la Línea 76, fertilizada con RF o SFT en suelo ácido.

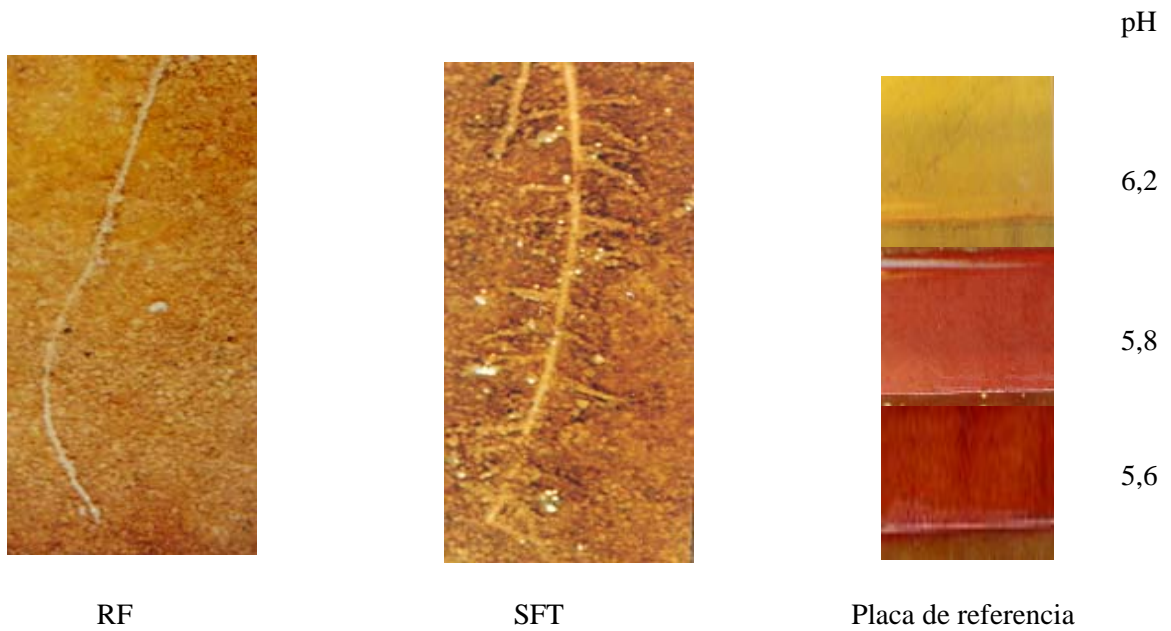


Figura 2. Visualización de los cambios de pH en la rizósfera de la Línea 76, fertilizada con RF o SFT en suelo encalado.

En el caso de la aplicación de SFT el valor más bajo fue de 75,22 mg/kg de P en la Línea 76 y el más alto de 94,59 mg/kg de P en el tratamiento testigo. Por otra parte, el

Ca en la rizósfera de las siete líneas evaluadas y el tratamiento testigo, fue estadísticamente igual cuando se aplicó RF o SFT (Cuadro 2).

Cuadro 2. pH en agua (1:2,5), P y Ca residuales (mg/kg) en la rizósfera de siete líneas de maíz, fertilizadas con roca fosfórica (RF) o superfosfato triple (SFT) en un suelo encalado y en el suelo original.

Líneas	pH		Fósforo		Calcio	
	RF	SFT	RF	SFT	RF	SFT
4	<u>6,24</u> a	<u>6,23</u> a	1,02 a	82,58 ab	<u>1673</u> a	<u>1717</u> a
5	<u>6,19</u> a	<u>6,24</u> a	1,58 a	86,87 ab	<u>1663</u> a	<u>1704</u> a
7	<u>6,19</u> a	<u>6,23</u> a	1,56 a	81,08 ab	<u>1633</u> a	<u>1707</u> a
11	<u>6,20</u> a	<u>6,22</u> a	1,09 a	83,90 ab	<u>1621</u> a	<u>1702</u> a
15	<u>6,26</u> a	<u>6,28</u> a	1,63 a	88,47 ab	<u>1636</u> a	<u>1710</u> a
17	<u>6,24</u> a	<u>6,29</u> a	1,74 a	85,42 ab	<u>1712</u> a	<u>1657</u> a
76	<u>6,30</u> a	<u>6,25</u> a	1,06 a	75,22 b	<u>1672</u> a	<u>1698</u> a
Testigo	<u>6,22</u> a	<u>6,25</u> a	2,07 a	94,59 a	<u>1614</u> a	<u>1681</u> a
Suelo original	4,45		2		42	

Valores en la misma columna seguidos de la misma letra y valores subrayados en la misma fila no son estadísticamente diferentes según la prueba de medias de Tukey, $P \leq 0,05$.

DISCUSIÓN

En condiciones de suelo ácido se detectó una fuerte acidificación alrededor de las raíces en los primeros ocho días de desarrollo de la planta (Figura 1), lo cual estuvo posteriormente acompañado de una mayor disponibilidad de P y Ca (Cuadro 1). Esta acidificación de la rizósfera ocurrió especialmente en los tratamientos con RF, con lo cual, posiblemente, se incrementó la disolución de la roca en esta zona. Algunos autores han encontrado, bajo condiciones de deficiencia de fósforo, una mayor acidificación de la rizósfera por el incremento en la exudación de citratos. Este es un mecanismo fisiológico empleado por las plantas para incrementar el aprovechamiento del P proveniente de fuentes escasamente solubles (Marschner et al., 1987; Hoffland, 1992; Jones y Darrah, 1994; Tagliavini et al., 1995).

A los 45 días, en todas las líneas fertilizadas con RF, se encontró un incremento del pH desde 0,14 hasta 0,38 unidades con respecto al testigo sin planta. Esta aparente contradicción se podría explicar por el efecto de los protones liberados por las raíces que ocasionan la disolución de la RF, incrementando los niveles de P y Ca en el suelo con la subsiguiente elevación del pH (Hammond et al., 1986; Allen et al., 1995; Youssef y Chino, 1987; Hanafi y Leslee, 1996; Zoysa et al., 1997).

Lo antes mencionado hace suponer que en aquellas líneas donde ocurrió la mayor elevación del pH fue donde hubo la mayor disolución de la RF, estimulado por el efecto de las raíces. En este sentido, se pudo observar que en los tratamientos con RF la Línea 76, seleccionada en suelo sin problemas de aluminio, presentó el pH más elevado de todas las líneas evaluadas, contrariamente a las Líneas 7 y 11, seleccionadas en suelo ácido, que presentaron el menor pH (Cuadro 1). Estos resultados muestran un mejor comportamiento de la Línea 76 en condiciones de suelo ácido, aún cuando no haya sido seleccionada en tales condiciones.

El pH del tratamiento testigo (suelo sin planta) pero fertilizado con RF o con SFT, no sufrió cambios por el efecto del fertilizante. Sin embargo, en presencia de la planta el pH se incrementó cuando se aplicó RF (Cuadro 1). Este comportamiento demostraría el efecto de las raíces sobre los cambios del pH del suelo que pueden influenciar el aprovechamiento del P.

En condiciones de suelo encalado (con aplicación de CaCO_3), el pH a los 45 días no mostró cambios en ninguna de las líneas evaluadas con respecto al tratamiento testigo ni con los fertilizantes aplicados (Cuadro 2). Esto demuestra que en estas condiciones el mecanismo fisiológico de acidificación de la rizósfera no

llegaría a manifestarse. Así mismo, la visualización del pH en la rizósfera al inicio del desarrollo de la Línea 76 permitió verificar que en estas condiciones no se produjo acidificación de la misma en ninguno de los tratamientos de fertilización (Figura 2).

Marschner y Romheld (1983) señalaron que los cambios de pH de la rizósfera inducidos por las raíces depende, entre otras cosas, de la capacidad "buffer" del suelo. Los autores observaron que en suelos mezclados con diferentes cantidades de CaCO_3 a medida que aumenta la cantidad de cal en la mezcla, la acidificación de la rizósfera de cultivares de maíz es mucho menor.

CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias entre las siete líneas de maíz en la modificación del pH de la rizósfera, mecanismo que puede incrementar el aprovechamiento del fósforo proveniente de la roca fosfórica.

En presencia de una fuente de fósforo poco soluble (roca fosfórica), se detectó una acidificación del suelo al inicio del desarrollo de las plantas seguido por un incremento en la disponibilidad del fósforo y un aumento del pH. Esto último, como consecuencia de la disolución del calcio de la roca fosfórica.

El mecanismo anterior fue afectado por la fuente de fósforo utilizada y las condiciones de acidez o encalado del suelo.

LITERATURA CITADA

- Allen, E., D. Ming, L. Hossner y D. Henninger. 1995. Modeling transport kinetics in clionoptilolite-phosphate rock systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 59:248-255.
- Casanova, E. 1993. Las rocas fosfóricas y su uso agroindustrial en Venezuela. Apuntes Técnicos de Palmaven. Caracas. 124 p.
- Hammond, L. S., C. Chiem y A. Mkwunye. 1986. Agronomic value of an acidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Advances in Agronomy* 40:89-139.
- Hanafi, M. y C. H. Leslee. 1996. Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of upland rice soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 1459-1477.
- Hausling M., E. Leisen. H. Marschner y V. Rómheld. 1985. An improved method for non-destructive measurement of the pH at the root-soil interface (rhizosphere). *J. Plant. Physiol.* 117:371-375.
- Hoffland. E. 1992. Quantitative evaluation of the role of organic acid exudation in the mobilization of rock phosphate by rape. *Plant and Soil* 140:279-289.
- Jones, D. y P. Darrah. 1994. Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere. *Plant and Soil* 166:247-257.
- Jungk, A. 1987. Soil-root interactions in the rhizosphere affecting plant availability of phosphorus. *J. Plant Nutrition* 10:1197-1204.
- 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)* 17:341-348.
- Marschner, H. y V. Romheld. 1983. *In vivo* measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: Effect of plant species and nitrogen source. *Z. Pflanzenphysiol. Bd.* 111:441-456.
- Marschner, H., V. Romheld y I. Cakmak. 1987. Root-induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *J. Plant Nutrition* 10:1175-1184.
- Olsen, S., C. Cole, F. Watanabe y L. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by traction with sodium-bicarbonate. *US. Dept. Agr. Circ.* 939.
- Sánchez, P. y G. Salinas. 1983. Suelos ácidos y estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. *SCCS. Bogotá, Colombia.* 93 p.

14. Tagliavini, M., A. Masia y M. Quartieri. 1995. Bulk soil pH and rhizosphere pH of peach trees in calcareous and alkaline soil as affected by the from of nitrogen fertilizers. *Plant and Soil* 176: 263-271.
15. Thomas, G. 1982. Exchangeable cations. *In: Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 160-161.
16. Youssef, R. y M. Chino. 1987. Studies on the behavior of nutrients in the rhizosphere I: Establishment of a new rhizobox system to study nutrient status in the rhizosphere. *J. Plant Nutrition* 10:1185-1195.
17. Zoysa, A., P. Loganathan y M. Hedley. 1997. A technique for studying rhizosphere processes in tree crops: Soil phosphorus depletion around camellia roots. *Plant and Soil* 190:253-265.