

## EFICIENCIA DE ABSORCIÓN DE FÓSFORO EN CULTIVARES DE SORGO DE DIFERENTE TOLERANCIA A LA TOXICIDAD DE ALUMINIO

### EFFICIENCY OF PHOSPHORUS ABSORPTION IN YOU WILL CULTIVATE OF SORGHUM OF DIFFERENT TOLERANCE FROM THE ALUMINUM TOXICITY

Marisol López\* Mingrelia España\* y Marcia Toro\*\*

\* Investigadoras. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Apdo. 4579. Maracay, estado Aragua. Venezuela. E-mail: mlopez@inia.gob.ve

\*\* Investigadora. UCV. Facultad de Ciencias. Núcleo Aragua

#### RESUMEN

Cinco cultivares de sorgo, *Sorghum bicolor* L. Moench de diferente tolerancia a la toxicidad de aluminio  $Al^{+3}$  se estudiaron para determinar su eficiencia de absorción de fósforo en invernadero. Los cultivares evaluados fueron: 4 materiales graníferos (DK-59, Criollo-26, Ch III y Ch VII) y uno forrajero: Ismael. El experimento fue realizado en un suelo Typic Paleustults de baja disponibilidad de fósforo. El diseño experimental fue completamente aleatorizado en un arreglo de tratamiento factorial con dos factores. Tratamientos: T1 (testigo) = N+K+0P. T2 = N+K+P-RFR, T3 = N+K+P-SFT. P y K como:  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , respectivamente. Los nutrientes se aplicaron en solución nutritiva en  $mg\ pot^{-1}$ : 58,54 de K ( $KCl-60\% K_2O$ ) 117 de N (Urea-46% N). La dosis de fósforo fue de 97,56  $mg\ de\ P\ pot^{-1}$ . Las fuentes de fósforo fueron: Roca fosfórica de Riecito (RFR) y superfosfato triple (SFT- 42% de  $P_2O_5$  total) de alta solubilidad. En la rizosfera se evaluó la actividad de fosfatasa ácida (AFA), longitud de raíz micorrizada (LRM), pH- suelo, pH- suelo rizosférico. En la planta: producción de materia seca vástago (MSv), fósforo absorbido vástago (P-v), e índice de eficiencia de utilización de P (EPv). En el suelo se evaluó: disponibilidad de fósforo (P-suelo). Los cultivares más eficientes presentaron: > % de longitud radical, aumentos en el pH de la rizosfera. Comportamiento se presentó principalmente en los materiales tolerantes a la toxicidad de aluminio. Correspondiendo con los mayores rendimientos de materia seca. Los cultivares menos eficientes en la absorción y utilización de P, presentaron mayor AFA. Comportamiento característico del DK-59.

**Palabras Clave:** *Sorghum bicolor* L. Moench; eficiencia de fósforo; actividad enzimática; micorriza; sorgo; suelos ácidos.

#### SUMMARY

Five *Sorghum bicolor* L. Moench cultivars with different tolerance to aluminum toxicity were evaluated. The aim was to determine their phosphate absorption efficiency under greenhouse-controlled conditions. The evaluated cultivars were four grain sorghum (Chaguaramas III (Ch III), Chaguaramas VII (Ch VII), Dekalb-59 (DK-59) and Criollo-26), and one forage sorghum (Ismael). The experiment was carried out in a low phosphate availability soil (Typic Paleustults). A completely randomized design with factorial arrangement with two factors was used. Treatments were: T1 (control) = 0P (no phosphate applied); T2= RPR (Riecito phosphate rock), and T3 = TSP (Triple superphosphate). A nutrient solution ( $mg\ pot^{-1}$ ) of 58.54 K ( $KCl-60\% K_2O$ ) and 117 N (Urea-46 %N) was applied to all treatments. Phosphorus dose was 97.56  $mg\ pot^{-1}$ , where phosphate sources were Riecito phosphate rock and highly soluble Triple superphosphate. Determinations were made in the rhizosphere: acidic phosphomonoesterase activity, arbuscular mycorrhiza colonized root length (%CRL), pH soil-water relation 1:2,5 (in soil and rhizosphere), and phosphate efficiency use. Cultivars that better absorbed and used P showed mechanisms such as > % de CRL and rhizospheric pH increments. This was markedly showed in cultivars tolerant to aluminum toxicity which had higher dry matter yield. However cultivars less efficient in P absorption or use, showed an increased acid phosphatase activity, as a mechanism to grown in acid soils: this was particularly typical in D-59 cultivar, sensitive to aluminum toxicity.

**Key Words:** *Sorghum bicolor* L. Moench; phosphate use efficiency; aluminum toxicity tolerance; rhizosphere; rock phosphate; arbuscular mycorrhiza.

RECIBIDO: noviembre 27, 2006

APROBADO: julio 27, 2007

## INTRODUCCIÓN

Los suelos ácidos tropicales poseen baja fertilidad natural, siendo las deficiencias de fósforo y las condiciones climáticas los factores que más limitan su potencialidad agrícola. En Venezuela los suelos ácidos poseen variaciones en sus propiedades que limitan la generación de prácticas que propicien la producción óptima de los cultivos. López *et al.* (1987) señalaron que alrededor del 70% de los suelos del país presentan como primera (28%) o segunda limitante (43%) la baja fertilidad natural y acidez.

En su trabajo López *et al.* (2001) indicaron que la variabilidad de los suelos ácidos ubicados en gran parte de los Llanos Centrales (Guárico, Apure y Cojedes), es principalmente debida a variaciones en la disponibilidad de calcio, magnesio, fósforo, potasio, azufre y micronutrientes, así como en la clase textural y el contenido de aluminio en el complejo de intercambio. Esta situación ha originado líneas de investigación tendientes a desarrollar tecnologías para disminuir las limitaciones y aumentar la productividad de estos suelos. La disponibilidad de fósforo (P) a la planta proveniente del suelo y del fertilizante esta gobernada por los procesos adsorción, precipitación, transporte y mineralización, los cuales son afectados directa o indirectamente por propiedades del cultivo y del suelo.

Para promover la sustentabilidad de estos suelos ácidos se requiere desarrollar alternativas de manejo con principios agroecológicos, siendo necesario mejorar los conocimientos sobre los procesos que controlan las funciones del suelo (Barrios, 2001).

Entre las propiedades de la planta que afectan la disponibilidad de P se encuentran características morfológicas del sistema radicular (densidad, longitud, proliferación de pelos radicales, finura de la raíz) capacidad de micorrización, exudación de compuestos orgánicos, liberación de protones ( $H^+$ ) y oxidrilos ( $OH^-$ ), activación enzimática de las fosfomonoesterasas (fosfatasas ácidas AFA).

Por su parte, Hedley *et al.* (1994), señalan mecanismos externos a nivel de la rizosfera que determinan la eficiencia de absorción de P en los genotipos tolerantes a la acidez, entre estos se encuentran: habi-

lidad de la planta para desarrollar su sistema radical (Barley, 1970; Schenk y Barber, 1979; Hedley *et al.*, 1994); habilidad para modificar el pH del suelo por liberación de agentes quelatantes o ácidos orgánicos, alterando la química y solubilizando el P-inorgánico (McLachlan, 1976; Barber, 1978; Hofflan *et al.*, 1989). Habilidad para usar el P-orgánico, a través de liberación de enzimas fosfatasas, las cuales mineralizan el P y lo hacen disponible a la planta (Junk, 1987; Marschner *et al.*, 1986; habilidad de las raíces para asociarse con hongos micorrízicos (Raj *et al.*, 1981; Bolan *et al.*, 1987; Marschner y Dell, 1994). De estas habilidades, se ha demostrado que los cultivares tolerantes a la toxicidad de aluminio (TTA) desarrollan mayor longitud radical (Hedley *et al.*, 1994; López *et al.*, 1999), mayor capacidad de micorrizar, (Marschner y Dell, 1994) e incrementar el pH de la rizosfera (Hedley *et al.*, 1994).

El sorgo, *Sorghum bicolor* L. Moench, en el nororiente de Guárico es producido con doble propósito, producción y comercialización del grano a la agroindustria y utilización de los restos de cosecha y soca para alimentación de ganado bovino durante el período de menor oferta forrajera, en condiciones de secano.

El uso de cultivares de sorgo TTA y eficientes en absorción y utilización de fósforo es una de las tecnologías propuestas para disminuir los costos de producción y aumentar la relación beneficio/costo en sistemas de producción con tecnologías de bajos insumos en zonas donde las condiciones agro ecológicas y socioeconómicas lo justifiquen. La TTA de las plantas es diferente entre especies y dentro de una misma especie. Los genotipos de sorgo varían en su tolerancia a las concentraciones de aluminio. Los cultivares TTA han mostrado habilidades para desarrollarse en condiciones de acidez y muy baja disponibilidad de P. Estas habilidades se manifiestan principalmente cuando el P en el suelo se encuentra a niveles críticos de disponibilidad. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de absorción de P proveniente del suelo y del fertilizante por cultivares de sorgo de diferentes TTA en condiciones de suelo ácidos de muy baja disponibilidad de P.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Ubicación del experimento:** la fase experimental

se desarrolló en un invernadero enfriado con cortinas de agua, ubicado en el INIA-CENIAP Maracay, estado Aragua, la temperatura osciló entre 20 °C y 35 °C. Se utilizó un suelo clasificado como: Typic Paleustults, Fg, caolinitica, isohipertérmica, del estado Guárico, Venezuela.

Las muestras de suelo fueron tomadas a una profundidad de 0-30 cm. Este suelo fue secado, mezclado, homogeneizado y tamizado por una malla de 4 mm, 1 kg se llevó al laboratorio para realizar análisis con fines de fertilización. Posteriormente, se peso porciones de 4 kg de suelo. Antes de colocar las porciones de suelo en cada unidad experimental, los pots fueron cubiertos con bolsas de polietileno, luego se aplicó los tratamientos correspondientes y se sembró los cultivares evaluados.

**Material genético utilizado:** se utilizaron 5 cultivares de sorgo, con diferente tolerancia a la acidez del suelo y a la toxicidad de  $Al^{+3}$  de acuerdo a los trabajos realizados por Solórzano (1981), Guzmán y Puerta (1984) y Rodríguez *et al.* (1986). De estos materiales 4 son graníferos (DK-59, Criollo -26, Ch III y Ch VII) y uno forrajero (Ismael). El DK-59, es un híbrido americano de la compañía DEKALB, seleccionado por Guzmán y Puerta (1984) y Rodríguez *et al.* (1986) como susceptible a la toxicidad de aluminio (TA); El Chaguaramas III (Ch III) y Chaguaramas VII (Ch VII), son híbridos nacionales de padre tropicalizado y madre de clima templado creado por la Compañía Protinal de Venezuela C.A. De estos, el Ch III fue seleccionado como tolerante a la acidez por Solórzano (1981), Guzmán y Puerta (1984) y Rodríguez *et al.* (1986) y Ch VII ha sido evaluado en condiciones de campo por Mena, 2000, 2001, y López *et al.* (2001), manifestado tolerancia a suelos ácidos. El Híbrido Criollo -26 y la variedad Ismael fueron desarrollados por FONAIAP, ahora INIA-Venezuela, liberados recientemente. Estos últimos 2 cultivares no han sido evaluados en condiciones de acidez para determinar su grado de tolerancia o susceptibilidad al aluminio.

### Arreglo experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado en un arreglo de tratamiento factorial con dos factores: cultivar y fuente de fósforo. El factor cultivar con 5 niveles: DK-59, Criollo -26,

Ismael, Ch III y Ch VII. El factor fuente de fósforo con 3 niveles, sin fósforo: OP = testigo, SFT = superfosfato triple y RFR = roca fosfórica de Riecito, originando 15 tratamientos repetidos 4 veces, lo que corresponde a 60 unidades experimentales. Tratamientos: T1 (testigo) = N+K+0P ( no se le aplicó fósforo). T2 = N+K+P-RFR, T3= N+K+P-SFT.

**Siembra:** en cada pote se sembraron 7 semillas del cultivar correspondiente, una semana después de la germinación, se entresacó y se dejaron 4 plántulas por pots, la humedad del pote se mantuvo aproximadamente a 75% de la capacidad de campo, estimada por la curva de retención de humedad a través de muestras de suelo tomadas en campo.

**Fertilización:** después de entresacar las plántulas, se aplicó en solución nutritiva en mg. pote<sup>-1</sup> :58,54 de K, 117 de N P y K como:  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , respectivamente. Las fuentes de potasio y nitrógeno fueron: urea y cloruro de potasio, respectivamente. Todos los tratamientos recibieron igual dosis de potasio y nitrógeno. La dosis de P fue de 97,56 mg de P pote<sup>-1</sup> y las fuentes: RFR, de baja solubilidad, y el superfosfato triple (SFT) de alta solubilidad.

**Cosecha:** la cosecha se realizó a los 45 días después de la germinación (DDG), correspondiendo con la fase de crecimiento vegetativo. Las plantas fueron separadas en vástago y raíz; el vástago se lavó con agua desmineralizada, colocándose en bolsas de papel previamente identificadas con los tratamientos evaluados, para secarse a 70 °C durante 48 h en una estufa de ventilación forzada, luego fue pesado para calcular el rendimiento de materia seca, posteriormente fue molido en un molino Wiley con malla de 1 mm, las muestras fueron conservadas hasta ser analizadas para determinar P en el tejido.

Las raíces fueron cuidadosamente separadas del volumen total de suelo, y colocadas sobre una lámina de papel bond, retirándose el suelo adherido a las raíces a una humedad del suelo de 6%, asumiendo que este suelo formaba la rizosfera, según definición de Hiltner, citado por Darrah, (1993).

Después de separar el suelo-rizosférico, las raíces fueron colocadas en un tamiz de 0,425 mm y lavadas con agua natural, luego se conservaron en frascos de vidrio utilizando una solución de alcohol al 45%, para determinar parámetros morfológicos (longitud,

volumen, superficie y diámetro).

**Actividad de fosfotasa ácida:** la AFA se determinó en el suelo-rizosférico, según Tabatabai y Bremner en 1969 adaptado en 1982 por Tabatabai, utilizando la concentración del sustrato, según Trasar-Cepeda y Gíl-Sotres (1988).

**Reacción del suelo:** La reacción del suelo obtenida a través del pH fue determinado con un potenciómetro, utilizando una relación suelo-agua 1: 2,5. Tanto en la rizosfera como en el suelo no rizosférico.

**Porcentaje de raíz micorrizada:** De cada unidad experimental se tomo cantidades similares de raíz para determinar porcentaje de raíz micorrizada utilizando el método de tinción de raíces con azul de Tripán según Phillips y Hayman, (1970) para la observación de las estructuras típicas de micorizas arbusculares (MA). La colonización de raíces se cuantificó en el microscopio a una magnificación de 10X, expresada como porcentaje de raíz micorrizada (%LRM) de acuerdo a Giovanetti y Mosse (1980).

**Fósforo residual:** El P en el suelo se determinó después de separar las raíces, utilizando el método de Olsen *et al.* (1954).

Las muestras de plantas fueron digeridas con una mezcla Nítrico-perclórica (Huang y Schulte, 1985). En el extracto se determinó el contenido de P en el tejido por el método de molibdato de amonio (Wolf, 1982).

**Absorción de fósforo:** Con los valores obtenidos de P en el tejido del vástago, se calculó el P-acumulado en el vástago (Pv), utilizando la siguiente relación:  $Pv (mg/pote) = (\% \text{ de P en vástagos} / 100) \times (\text{gramos de materia seca del vástago/pote}) \times 1000$ .

**Índice de eficiencia de utilización de fósforo (P):** La estimación del índice de utilización de P por los cultivares evaluados se calculó a través de la relación de eficiencia de P en el vástago (EPv), propuesta por Fageria *et al.* (1988). Esta relación se refiere al cociente entre los miligramos de materia seca acumulada en el vástago por pote y los miligramos de P en el vástago por pote.

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y la Prueba de Medias LSD,  $\mu = 1\%$ , utilizando el programa estadístico SANEST.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados de P-absorbido y acumulado en el vástago ( $mg\ pote^{-1}$ ); el P disponible en el suelo después de la cosecha (P-suelo,  $mg\ kg^{-1}$ ), pH en el suelo (pH-suelo) y en la rizosfera (pH-rizo), AFA (AFA,  $\mu molpNF/g.h$ ), y porcentaje de longitud de raíz micorrizada (%LRM).

En el Cuadro se observa las causas de variación de los resultados obtenidos. El rendimiento de materia seca vástago (MSv) mostró una respuesta altamente significativa en el factor cultivar, tratamiento y la interacción cultivar por tratamiento, mientras que para la AFA sólo hubo diferencias altamente significativas dentro del factor cultivar. El %LRM, mostró diferencias altamente significativas dentro del factor cultivar, siendo las diferencias entre tratamientos significativas al 5%, así como en la interacción cultivar por tratamiento. En las variables P-suelo y fósforo en vástago (P-v) hubo diferencias altamente significativas en cultivar, tratamiento y la interacción cultivar-tratamiento. Con relación al pH del suelo, sólo hubo diferencias significativas dentro de tratamientos, pero en pH rizosfera, se encontró diferencias entre cultivares, tratamientos y la interacción cultivar-tratamiento. También se muestran las diferencias altamente significativas encontradas para todas las causas de variación con el EPv.

### Materia seca vástago (MSv/pote)

La MSv/pote en todos los cultivares evaluados tuvo respuesta altamente significativa ( $\mu=1\%$ ), a la fertilización fosfatada con las fuentes de alta (SFT) y baja solubilidad (RFR) en el suelo ácido deficiente de P (Figura 1). La MSv fue significativamente mayor en los cultivares Ch III e Ismael, seguido del cultivar Ch VII, DK-59 y por último el Criollo -26. Al observar el comportamiento de estos materiales con relación a la fertilización utilizada (Figura 1), se visualiza que el DK-59 e Ismael se comportaron igual con relación a la fuente fosfatada, es decir produjeron MS de acuerdo a la fuente de P utilizada, siendo el rendimiento así:  $T3 (P-SFT) > T2 (P-RFR) > T1(OP)$ . Mientras que los materiales Criollo -26 y Ch VII, presentaron la siguiente secuencia en cuanto al mayor

rendimiento de MSv: T3>T2=T1 y el Ch III se comportó distinto a todos los materiales, ya que produjo mayor acumulación con la fuente P inorgánico proveniente del suelo (T1) y no presentó diferencias significativas entre la fuente de RFR y OP.

**CUADRO.** Resumen del análisis de varianza realizado a los resultados de las variables materia seca vástago (MSv), actividad de fosfatasa ácida (AFA), longitud de raíz micorrizada (LRM), fósforo en suelo (P- suelo) y absorbido vástago (P-v), pH- suelo, pH-rizosfera, e índice de eficiencia de utilización de P (EPv).

Variables	Causas de Variación			CV (%)
	Cult	Trat	Cult*Tra	
MSv (mg pote <sup>-1</sup> )	**	**	**	4 862
AFA (μmolPNF/g h <sup>-1</sup> )	**	N.S.	N.S.	28 036
LRM (%)	**	*	*	6 819
P-suelo (mg kg <sup>-1</sup> )	**	**	**	14 133
P-v (mg pote <sup>-1</sup> )	**	**	**	10 995
pH-suelo (relación suelo-agua 1:2,5)	N.S.	**	N.S.	2 742
pH-rizosfera (relación suelo-agua 1:2,5)	*	**	**	3 004
EPv	**	**	**	13 040

\*\* Altamente significativo < 0,01; \* Significativo < 0,05;

N.S. = No Significativo; CV= coeficiente de variación

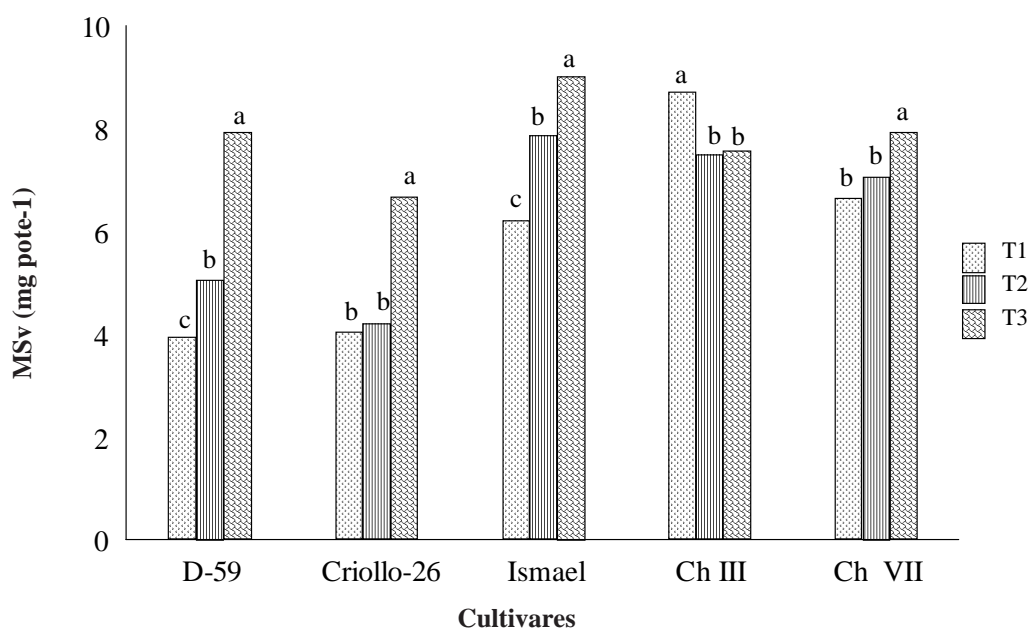
En el tratamiento sin 0 P, los valores de MSv oscilaron entre 3,94 y 8,72 g/p. El Ch III (TA) se comportó diferente a los otros cultivares, alcanzando significativamente mayor MSv que los otros materiales. El DK-59 (susceptible a la TA) fue el que tuvo el menor rendimiento (3,94 g/p) de los 5 materiales. Los cultivares Ch VII e Ismael acumularon igual cantidad de MSv y entre DK-59 y Criollo -26 no hubo diferencias estadística en esta variable.

Al utilizar la RFR como fuente de P, los valores de MS oscilaron entre: 4,21 y 7,87 g/p. La variedad Ismael acumuló significativamente (μ=1%) mayor

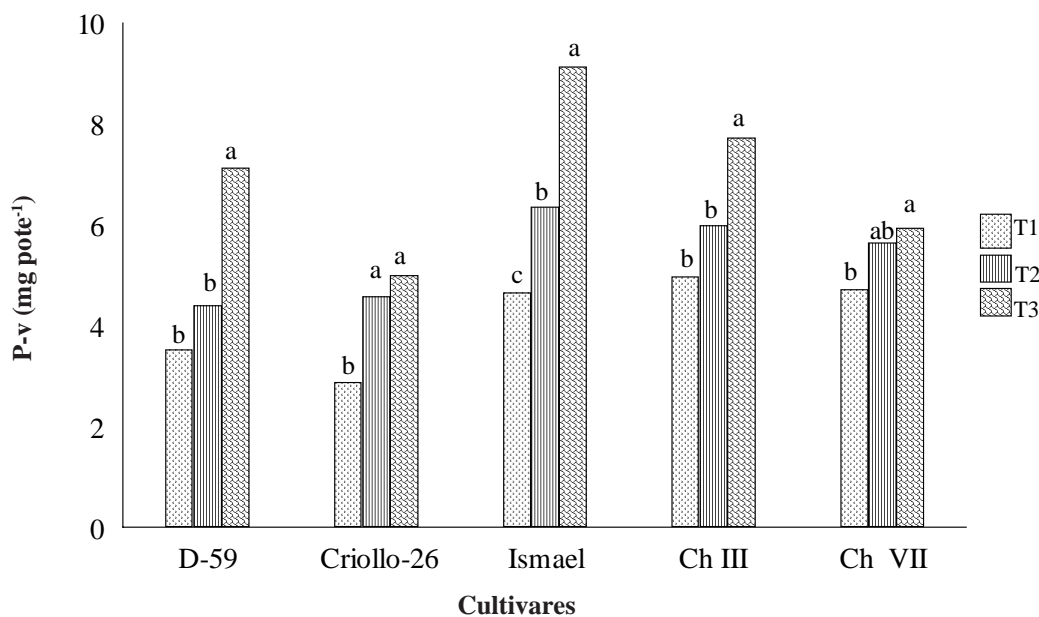
MSv seguido de Ch III, Ch VII, DK-59 y por último el Criollo -26. El incremento en MSv en Ismael fue de: 0,38; 0,81; 2,81 y 3;67 g/p con respecto a Ch III, Ch VII, DK-59 y Criollo -26, respectivamente. Con la fuente de P altamente soluble (SFT), el comportamiento fue el siguiente: La acumulación de MSv fue significativamente superior en la variedad Ismael, los híbridos DK-59, Ch III y Ch VII rindieron estadísticamente igual cantidad de MSv, mientras que el Criollo -26 fue el que tuvo el menor rendimiento (6,68 g/p). Como puede observarse, el material que respondió mejor a la fertilización fosfatada tanto de la fuente menos soluble (RFR) como de la más soluble (SFT) fue la variedad Ismael.

Mientras que el Ch III no mostró respuesta a la fertilización fosfatada, lo cual es coincidente con los resultados obtenidos por Solórzano (1981), quien evaluó a nivel de invernadero y campo el comportamiento de varios híbridos nacionales de sorgo granífero en suelos ácidos y encontró que el Ch III fue el que mostró mayor adaptabilidad y menor respuesta a la fertilización y a la aplicación de cal agrícola. López *et al.* (1999) y Ramírez y López (2000) al evaluar tres materiales de sorgo ganífero (DK-59, Ch III y P-8225) de diferente TTA, en un suelo ácido, en condiciones controladas de invernadero, encontraron mayor rendimiento en Ch III, lo cual fue asociado con el mayor desarrollo radical alcanzado a los 20 DDG en los tratamientos de menor disponibilidad de P (OP y RFR).

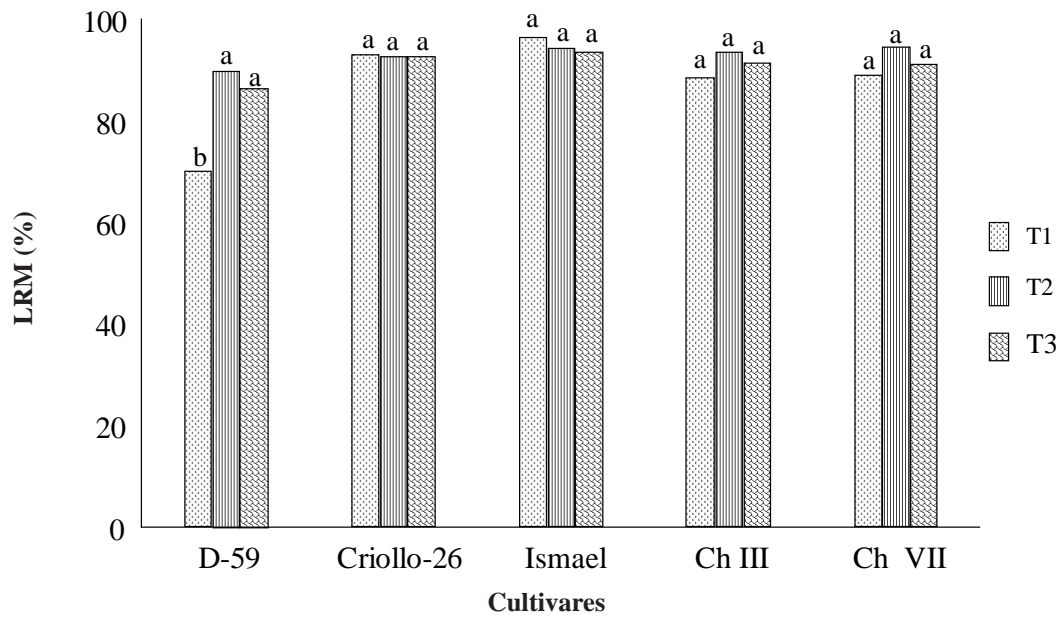
Estas diferencias encontradas entre los cultivares Ismael, Ch III y Ch VII en el rendimiento de MSv pudieran ser atribuidos, por una parte, a los contenidos de P absorbido y acumulado en el vástago por estos materiales (Figura 2), los cuales fueron significativamente mayores al encontrado con los otros 2 materiales (DK-59 y Criollo -26), así como también al alto %LRM en Ismael, Ch III y Ch VII (Figura 3), lo cual puede ser corroborado con los resultados del EPv Figura 4. La mayor acumulación de MSv en la variedad Ismael con respecto a los otros genotipos, puede ser debido a que Ismael es un cultivar forrajero, cuyo principal órgano de cosecha es el vástago, es decir la producción de follaje para alimentación animal, mientras que los otros materiales son graníferos. Otra razón, que pudiera explicar la mayor MSv acumulada es debido a que por ser variedad, es un material de mayor adaptabilidad y potencialidad para



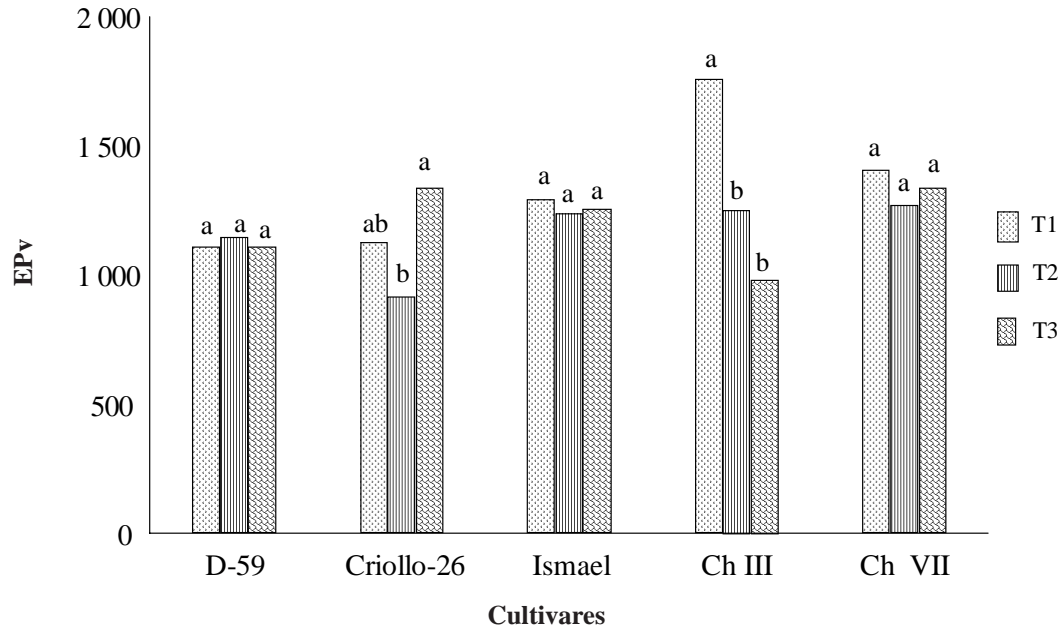
**FIGURA 1.** Efecto de las fuentes de fósforo en la producción de materia seca vástago MSv ( $\text{g p}^{-1}$ ) en 5 cultivares de sorgo. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).



**FIGURA 2.** Efecto de las fuentes de fósforo sobre el fósforo del vástago ( $\text{mg pote}^{-1}$ ) en 5 cultivares de sorgo. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).



**FIGURA 3.** Efecto de las fuentes de fósforo sobre la longitud de raíz micorrizada (%) en 5 cultivares de sorgo. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).



**FIGURA 4.** Efecto de las fuentes de fósforo sobre el índice de eficiencia de utilización de fósforo en 5 cultivares de sorgo. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

las condiciones de suelo evaluadas (Figura 1).

### Actividad de fosfatasa ácida (AFA)

Los valores de AFA oscilaron entre 0,33 y 0,67  $\mu\text{molPNF/g.h}$  (Figura 5), encontrándose dentro los señalados por Dodd *et al.* (1987), quienes muestran rangos de AFA a nivel de la rizosfera entre 0,05 y 0,60  $\mu\text{mol de PNP gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$  en cebolla y entre 0,03 y 1,19  $\mu\text{mol de PNP gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$  en trigo, también concuerdan con los resultados encontrados por López *et al.* (1999), quienes evaluaron la AFA en la rizosfera de 3 cultivares de sorgo de diferente TTA (DK-59, Ch III y P-8225), encontrando rangos entre 0,30 y 0,48  $\mu\text{mol de PNP gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$ .

Los materiales que lograron mayor AFA fueron: Ch VII (TTA), DK-59 (susceptible a la TA) y Criollo-6 y la menor AFA correspondió a la rizosfera de Ismael. En el caso del cultivar DK-59 y Criollo-26, pudiera tener relación con la menor disponibilidad de P-suelo al momento de la cosecha (Figura 6), ya que se ha encontrado que esta enzima se activa en condiciones de baja disponibilidad de P (Dracup *et al.*, 1984). Sin embargo, con respecto al ChVII, el comportamiento fue diferente, este cultivar presentó los mayores contenido de P-residual (4,25; 6,25 y 15mg  $\text{kg}^{-1}$  para 0P, RFR y SFT, respectivamente), pero que en general son valores de disponibilidad bajo, lo cual posiblemente no es suficiente para inhibir la AFA.

Los mayores valores de AFA presentados en el cultivar Ch VII y DK-59 con los tratamientos de P (RFR y SFT), se corresponden con los encontrados por López *et al.* (1999), quienes señalan los mayores valores de AFA en la rizosfera de Ch III y con el DK-59 en los tratamientos de RFR (0,42 y 0,40  $\mu\text{mol de PNP gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) y SFT (0,42 y 0,46  $\mu\text{mol de PNP gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) y el menor valor con 0P (0,30 y 0,32  $\mu\text{mol de PNP gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) para los cultivares Ch III y DK-59, respectivamente. Estos resultados confirman la hipótesis que pequeñas dosis de P disponible estimulan estos mecanismos de eficiencia de absorción de P en suelos de muy baja fertilidad.

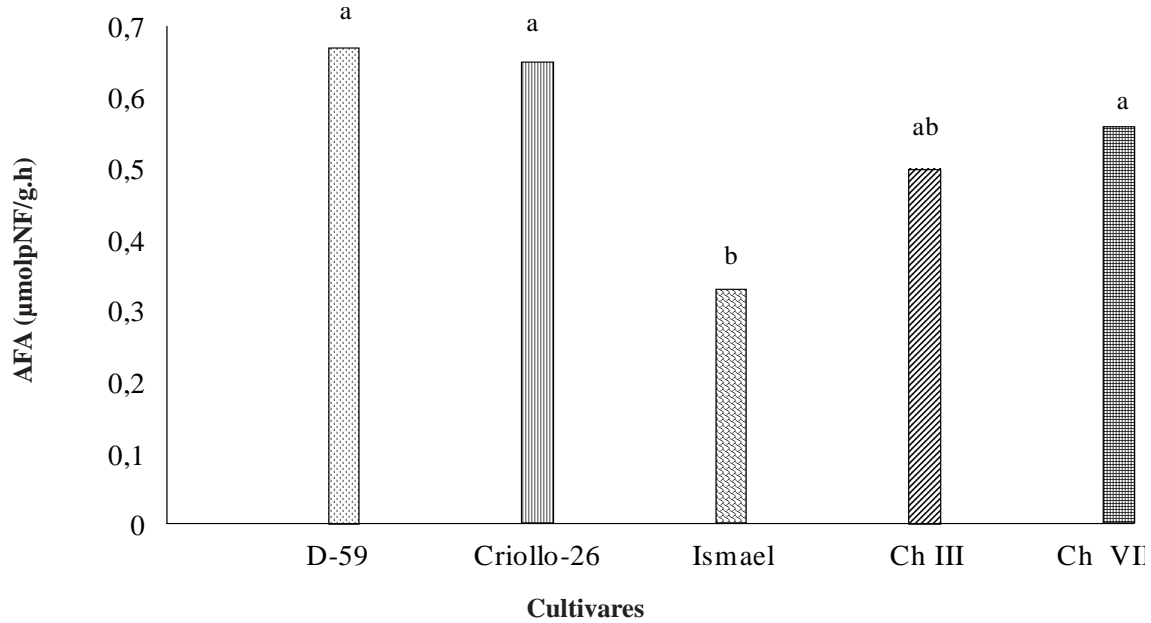
Por otra parte, cuando se evalúan materiales genéticos de una misma especie y diferente TTA y en condiciones de estrés de P, la mayor AFA gene-

ralmente corresponde a los cultivares susceptibles al aluminio, esto se corrobora con el comportamiento del DK-59 (susceptible), pero no se cumple con Ch VII (tolerante), comportamiento que puede estar relacionado con el alto % de LRM, ya investigadores como Koide (1991) y Jayachandran *et al.* (1992) sostienen que las hifas del hongo MA podrían tener acceso a fuentes de P que no son accesibles para la planta, además de su efecto en la extracción de P, también otros procesos pudieran estar presentes, tales como los que influyen sobre la disponibilidad del P-orgánico, el cual es hidrolizado por la acción de la AFA permitiendo la utilización de formas de P no disponible para la planta (P-orgánico), al hidrolizar el P-orgánico a P-inorgánico (Clarholm 1993; Miyasaka y Habte, 2001), lo cual concuerda con los resultados señalados por Dodd *et al.* (1987), quienes encontraron aumentos en la AFA en la rizosfera en los materiales micorrizados, señalando para cebolla 0,48 y de 0,23 a 0,83  $\mu\text{mol de PNP gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$  en cebolla y trigo, respectivamente.

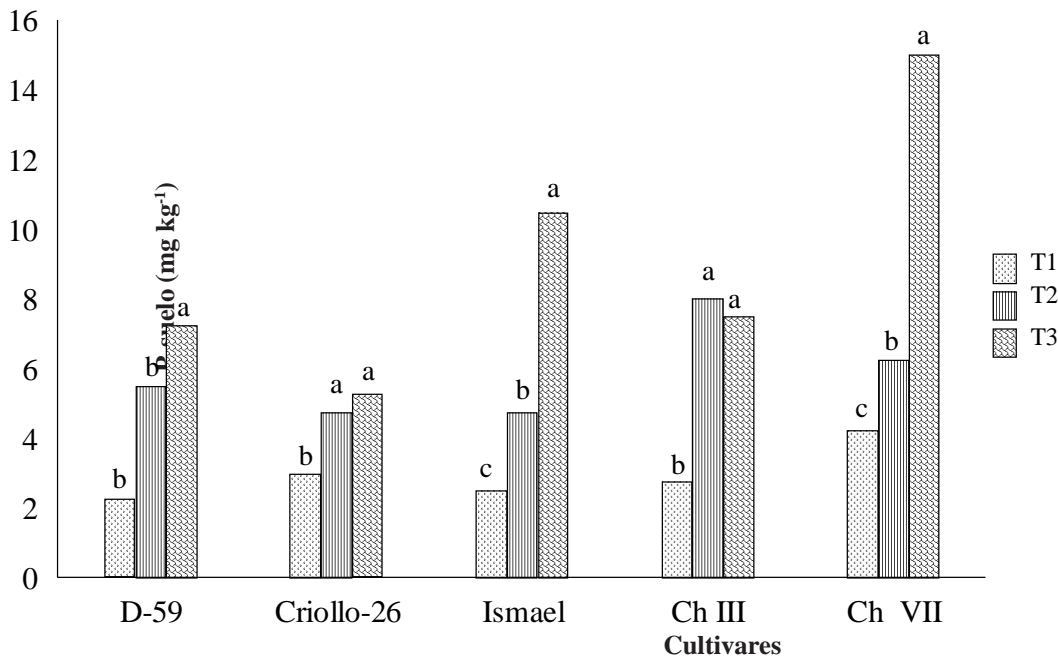
### Longitud de raíz micorrizada en %(LRM)

Los valores de % de LRM oscilaron entre 82,20 y 94,88, los cuales pudieran ser considerados altos, ya que en otras evaluaciones en suelos de muy baja fertilidad como los de un suelo ultisol ácido, sometido a prácticas de manejo conservacionista por 3 años, Toro *et al.* (2002), han encontrado los valores más altos de %LRM alrededor de 53% en la rizosfera del cultivar Ch VII bajo las prácticas de manejo evaluadas.

Este comportamiento pudo estar influenciado por la dosis baja de P, mecanismo que fue expresado mayormente por los cultivares Criollo-26, Ismael, Ch III y Ch VII, principalmente con la fuente de P (T1-0P), lo que pudiera estar relacionado con mecanismos de la planta para extraer P del suelo en condiciones de muy baja disponibilidad. Ya que cuando se aplicó P de cualquier fuente altamente soluble (T3-SFT) o baja solubilidad (T2-RFR) no se encontró diferencias significativas entre cultivares. Jones *et al.* (1998) señalan que la eficiencia con la cual las plantas micorrizadas absorben P es de 1,3 a 7 veces mayor que las plantas no micorrizadas, por tanto, la mayor eficiencia de absorción y utilización de P en los



**FIGURA 5.** Actividad de fosfatasa ácida (AFA) de  $\mu\text{molpNF/g.h}$  en 5 cultivares de sorgo con diferentes tolerancia a la toxicidad de aluminio, y fuentes de fósforo de diferente solubilidad. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).



**FIGURA 6.** Efecto de las fuentes de fósforo en el P-suelo disponible ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en 5 cultivares de sorgo. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

materiales evaluados, pueden ser atribuidos a este mecanismo.

En la Figura 3 se observa que con el tratamiento T1 (0P) el cultivar DK-59 (susceptible al aluminio) tuvo significativamente menor % de LRM, posiblemente, este cultivar no logró aumentar la disponibilidad de P a partir de formas retenidas en el suelo, pudiendo afectar el % de LRM, debido a que ha sido demostrado en suelos de muy baja disponibilidad de P, pequeñas adiciones de P disponible estimula la micorrización de las raíces. Mientras que los cultivares Criollo-26, Ismael, Ch III y Ch VII lograron altos % de LRM en todos los tratamientos, incluyendo T1-0P, indicando posibles mecanismos de estos materiales para utilizar el P-suelo, tal como ha sido señalado por Miyasaka y Habte (2001).

### **Fósforo en suelo mg kg<sup>-1</sup> (P-suelo)**

Los valores de P-suelo oscilaron entre 2,50 y 14,25 mg kg<sup>-1</sup>, correspondiendo significativamente el mayor valor al cultivar Ch VII, seguido de Ch III, Ismael, y DK-59 y por último al Criollo-26. Los resultados parecen indicar que los cultivares Ch III y Ch VII (ambos TTA) desarrollan mecanismos para aprovechar el P-retenido en el suelo, correspondiendo con los resultados de P-vástago (Figura 2) y el índice de eficiencia de P en el tejido EPv (Figura 4).

La disponibilidad de P en el suelo fue diferente dependiendo del cultivar y la fuente de P-inorgánico (T2, T3), así como de las formas de P-presentes en el suelo, P-inorgánico o P-orgánico. En DK-59, la disponibilidad de P en el suelo fue significativamente mayor con la fuente altamente soluble (T3-SFT), pero con la fuente menos soluble (T2-RFR) y T1-0P) no hubo diferencias estadísticas en el contenido de P-suelo. Mientras que con el Criollo-26 el P-disponible fue igual con la fuente de baja y alta solubilidad, pero con el tratamiento testigo (T1-0P) el contenido de P fue significativamente menor. El Ch III se comportó igual que el Criollo-26, sin embargo, los contenidos de P-suelo proveniente de P-RFR y P-SFT fueron mayores con el Ch III. Mientras que Ch VII e Ismael mostraron igual comportamiento en relación a la disponibilidad de P, siguiendo esta tendencia: P-suelo >T3>T2>T1, Figura 6 (López, 1997).

### **Fósforo en vástago mg pote<sup>-1</sup> (p-v)**

La absorción de P entre los cultivares fue diferente y dependiente de la fuente. Los valores oscilaron entre 4,16 y 6,71 mg de P pote<sup>-1</sup>. Se encontró diferencias entre los cultivares en la absorción de P, Ismael, Ch III y Ch VII absorbieron significativamente mayor contenido de P, seguido de DK-59 y Criollo-26.

La eficiencia de absorción de P de los cultivares estuvo influenciado por la fuente de P (Figura 2). Por ejemplo, el DK-59, mostró alta respuesta a la fuente de P-soluble (T3), mientras que Criollo-26 mostró igual absorción de P con la fuente altamente soluble (SFT) y con la menos soluble (RFR) y significativamente menor con el T1. Ismael, absorbió el P de acuerdo a la fuente: mayor absorción con T3>T2>T1. Ch III, absorbió mayor cantidad de P de la fuente soluble (SFT), pero absorbió igual cantidad de P de la fuente menos soluble (RFR) y del testigo (T1). Mientras que Ch VII logró significativamente absorber más P del T3, seguido por T2 y T1. El cultivar Ch III, pareciera desarrollar mecanismos, para hacer disponible el P desde formas poco accesible a la planta, tanto de las formas de P-Ca (RFR) como las retenidas en el suelo (P-Al, P-Fe).

### **Reacción del suelo:(pH-suelo)**

El pH en el suelo, al momento de la cosecha osciló entre 4,54 y 4,74, no se encontró diferencias significativas entre cultivares ni entre tratamientos en los cambios de la reacción del suelo.

### **Reacción de la rizosfera: (pH-rizosfera)**

Se encontraron cambios en los valores de pH en la rizosfera de los cultivares evaluados. Los pH oscilaron entre: 4,33 y 5,36. Hubo diferencias significativas entre cultivares con respecto a esta variable (Figura 7). El cultivar DK-59, disminuyó el pH en la rizosfera en todos los tratamientos, pero, los demás materiales incrementaron el pH.

Los cambios en pH rizosfera, tanto disminución como incrementos, han sido observados en especies de plantas eficientes en la absorción de P, estos cambios son asociados a la presencia de diferentes tipos de P-retenido en el suelo. Por ejemplo, la solubilidad de P-Ca aumenta a medida que disminuye el pH. En DK-59, la reducción del pH rizosfera en

presencia del tratamiento con RFR, parece ser debido a este mecanismo, ya que este comportamiento ha sido señalado por otras especies eficientes en absorción de P (Miyasaka y Habte, 2001). Mientras que aumentos en el pH de la rizosfera por cultivares eficientes en absorción de P ha sido relacionado con la presencia de P-Al y P-Fe en el suelo y la adaptación de los cultivares a suelos ácidos (Miyasaka y Habte, 2001), esto parece ser el caso de los cultivares (Ismael, Criollo-26, Ch III y Ch VII) que incrementaron el pH en la rizosfera en el tratamiento T1. Sin embargo, los cultivares que lograron absorber más P del suelo (T1) fueron : Ismael, Ch III y Ch VII, (Figura 7).

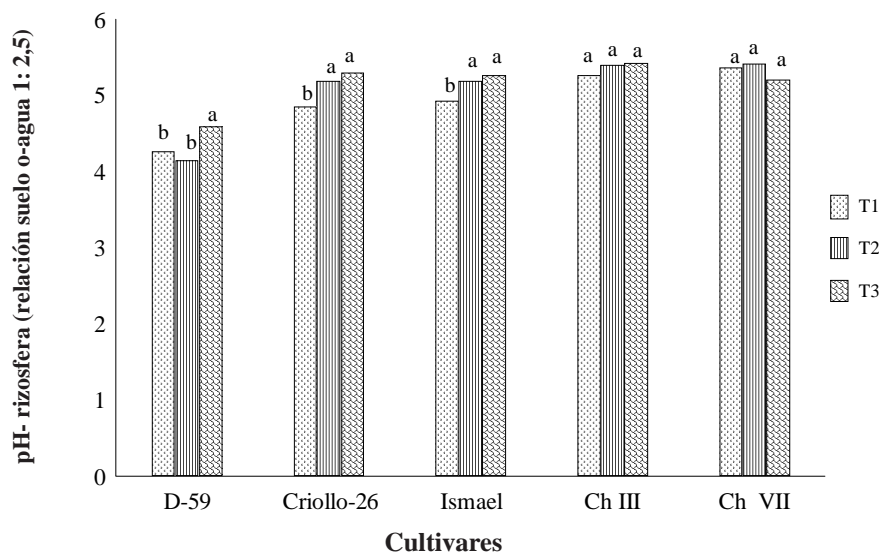
### Índice de eficiencia de utilización de P (E<sub>pv</sub>)

En el índice de eficiencia de utilización de P (E<sub>pv</sub>), se encontró diferencias significativas entre los cultivares. Los valores en esta variable oscilaron entre 1122 y 1338. Los materiales que resultaron más eficientes de acuerdo al índice utilizado, fueron en orden jerárquico: Ch VII= Ch III > Ismael > Criollo-26 = DK-59. La eficiencia mostrada por Ch VII, Ch III e Ismael fue evidenciada independientemente de la fuente de P (SFT, RFR) o P-suelo. Mientras que Criollo-26, fue más eficiente con la fuente altamente soluble y menos eficiente con la fuente menos soluble (RFR). DK-59, presentó una eficiencia de P igual en

los tres tratamientos. Este comportamiento, también fue observado con Ch VII e Ismael (Figura 4).

Si se compara la producción de MS por unidad de P absorbido, se tiene que con 0P, el DK-59 (susceptible), absorbió 0,896 µg de P por miligramo de MS producida, mientras que Ch III (tolerante), absorbió 0,7 µg por cada mg de MS producida.

Los resultados obtenidos, corresponden con las aseveraciones de Horst (2002), quien menciona que las plantas pueden influir directa o indirectamente sobre los procesos que gobiernan la adquisición de P del suelo y de los fertilizantes, a través de modificaciones en propiedades del suelo, por diferentes mecanismos expresados por los cultivos, por tanto, aumentan la disponibilidad y absorción de P. Sin embargo, este investigador indica que la selección de cultivares de alta eficiencia de absorción de P, puede mejorar el P-disponible a la planta, lo cual puede ser viable sólo en combinación con aplicaciones de mantenimiento de P en suelos con baja capacidad de adsorción de P. Pero la eficiencia de P basada en eficiencia de utilización podría reducir la cantidad de P exportado en los órganos o productos cosechados (grano-vástago), conduciendo a baja calidad nutricional de esos productos y de los residuos de cosecha, por tal razón señala, que si la eficiencia de P es debida a la movilización de P desde fracciones de P del suelo menos disponible, enton-



**FIGURA 7.** Efecto de las fuentes de fósforo sobre el pH en la rizosfera en 5 cultivares de sorgo. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre si (Tukey,  $P \leq 0,05$ ).

ces, el P del suelo fácilmente disponible podría ser reducida.

Por lo tanto, retorno de residuos de cultivo podría reducir el P exportado desde el suelo, pero la cantidad de P que retorna en residuos de cosecha es generalmente baja, debido a traslocación muy eficiente de P desde órganos vegetativos de la planta a los reproductivos, especialmente en presencia limitada de P.

En síntesis, se encontró diferencias significativas entre los cultivares evaluados en los mecanismos de expresados para crecer en el suelo ácido evaluado y con las fuentes de P utilizadas. Un resumen de este comportamiento se muestra a continuación.

En la producción de MS, los materiales siguieron en orden jerárquico este comportamiento: Ch III = Ismael > Ch VII > DK-59 > Criollo-26.

En la actividad de la fosfomonoesterasa ácida (AFA): el orden fue: DK-59 = Criollo -26 > Ch VII > Ch III > Ismael.

Con respecto al % de LRM, todos los materiales presentaron igual micorrización, encontrándose diferencias sólo con el tratamiento sin P (T1), donde DK-59 mostró menor % de LRM.

El contenido de P-suelo fue diferente entre cultivares y dependió de la fuente. El orden jerárquico fue: Ch VII > Ch III > Ismael > DK-59 > Criollo -26.

La absorción de P fue diferente entre los cultivares y dependiente de la fuente. El orden fue en importancia: Ch VII = Ch III = Ismael > DK-59 > Criollo-26.

El pH en la rizosfera fue distinto al del suelo, los materiales que incrementaron el pH fueron: Ch III, Ch VII, Ismael, y Criollo -26. Mientras que el DK-59, disminuyó el pH en todos los tratamientos.

En el índice de eficiencia de utilización de P (EPv), se encontró diferencias entre cultivares y entre los tratamientos. Siendo en orden de importancia: Ch VII = Ch III > Ismael > Criollo-26 = DK-59.

## CONCLUSIONES

- Los cultivares evaluados manifestaron diferencias significativas en los mecanismos expresados para crecer en suelos ácidos. Comportándose distinto dependiendo de la fuente de P y la interacción fuente por tratamiento.
- Los materiales más eficientes en la absorción y utilización de P, expresaron mecanismos tales como: >% de LRM, principalmente en el tratamiento de menos disponibilidad, y aumentos en el pH de la rizosfera. Este comportamiento se presentó principalmente en los materiales TTA. Correspondiendo con los mayores rendimientos de MS.
- Mientras que los cultivares menos eficientes en la absorción y utilización de P, expresaron como mecanismo para crecer en el suelo ácido, mayor AFA. Este comportamiento fue característico en el DK-59, material susceptible a la TA.
- El cultivar Criollo-26, el cual aún no ha sido seleccionado por su TTA, tiende a comportarse como el DK-59 (susceptible), principalmente en la AFA, contenido de P-suelo, absorción de P y en el índice de eficiencia de utilización de P, pero se comportó como los materiales tolerantes en relación a su capacidad para micorrizar y en los cambios de pH rizosférico (aumentos). Estos resultados indican la necesidad de evaluar el comportamiento del Criollo-26 en soluciones nutritivas, para determinar el grado de TTA Al.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barber, S. A. 1978. Growth and nutrient uptake of soybean roots under field conditions. *Agronomy Journal*. 70:457-461.
- Barley, K. P. 1970. The configuration of the root system relation to nutrient uptake. *Adv. Agronomy*. 22:159-201.
- Barrios, E. 2001. Calidad de recursos orgánicos, descomposición, disponibilidad de nutrientes y respuesta de los cultivos. In: Resúmen XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Varadero-Cuba.
- Bolan, N. S., A. D. Robson and N. J. Barrow. 1987. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae on

- the availability of iron phosphate to plants. *Plant and Soil*. 134:189-207.
- Clarholm, M. 1993. Microbial biomass P, labile P, and acid phosphatase activity in the humus layer of a spruce forest, after repeated additions of fertilizers. *Biol. Fertil. Soils*, 16:287-292.
- Darrah, P. R. 1993. The rhizosphere and plant nutrition: a quantitative approach. *Plant and Soil*. 155-156:1-20.
- Dodd, J. C., C. C. Burton, G. Burns and P. J. Jeffries. 1987. Phosphatase activity associated with the roots and the rhizosphere of plants infected with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytology*. 107:163-172.
- Dracup, M. N., E. G. Barret-Lennard, H. Greenway and A. D. Robson. 1984. Effect of phosphorus deficiency on phosphatase activity of cell walls from roots of subterranean clover. *Journal of Experimental Botany*. 35(155):466-480.
- Fageria, N. K., R. J. Wright and V. C. Baligar. 1998. Rice cultivar evaluation for P use efficiency. *Plant and Soil*. 111:105-109.
- Giovanetti, M. and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytol*. 84:489-500.
- Guzmán, B. E. y M. A. Puerta. 1984. Caracterización biométrica de los cultivares de sorgo granífero en el Nor Oriente de Guárico. Valle de la Pascua FONAIAP. Llanos Centrales. E. E. Nor Oriente de Guárico. (20p. Serie B, # 1-07).
- Hedley, M. J., G. J. D. Kirk and M. B. Santos. 1994. Phosphorus utilized by upland rice cultivar. *Plant and Soil*. 158:53-62.
- Hoffland, E., G. R. Findenegg and J. A. Nelemans. 1989. Solubilization of rock phosphate by rape. II local root exudation of organic acids as a response to P-starvation. *Plant and Soil*. 113:161-165.
- Horst, W. J. 2002. Identification and characterization of aluminium-resistant, phosphorus-efficient plant genotypes adapted to tropical acid soils. Mimeo-grafiado. **In:** Second Research Co-ordination Meeting of the Co-ordinated Research Project, The development of management for sustainable crop production systems on tropical acid soil through the use of nuclear and related techniques. Brasilia, Brazil. 11-15 march, 2002. 16 p.
- Huang, C., Y. L. and E. E. Shulte. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communications in Soil. Science and Plant Analysis*. 16:943-958.
- Jayachandran, K., A. P. Shwab and B. A. Hetrick. 1992. Mineralization of organic phosphorus by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem*. 24(9):897-903.
- Jones, M. D., D. M. Durall and P. B. Tinker. 1998. A comparison of arbuscular and ectomycorrhizal *Eucalyptus coccifera*: growth response, phosphorus uptake efficiency, and external hyphal production. *New Phytol*. 140:125-134.
- Jungk, A. 1987. Soil-root interactions in the rhizosphere affecting plant availability of phosphorus. *Journal of Plant Nutrition*. 10(9-16):197-204.
- Koide, R. T. 1991. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytol*. 117:365-386.
- López de R., I., M. Silva de, J. Comerma. 1987. Suelos Ácidos - Avance en la construcción del sistema experto para hacer recomendaciones en estos suelos. **In:** simposio manejo de suelos ácidos en los tropicos. IX Congreso Venezolano y X CLCS. Maracaibo, estado Zulia- Venezuela, del 14 al 21 de junio de 1987. 9 p.
- López, M. 1997. Eficiencia de absorción de fósforo por tres cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) de diferente tolerancia a la toxicidad de aluminio. Tesis de postgrado. Aragua, Ven. en Ciencia del Suelo. Universidad Central de Venezuela. Facultad de agronomía. 123 p.
- López, M.; R. Ramírez y J. Paolini. 1999. Actividad de la fosfatasa ácida en la rizosfera de tres cultivares de sorgo fertilizados con superfosfato triple y roca fosfórica. *Agronomía Tropical* (49)2:119-134.
- López, M., N. Alfonso, S. Caniche, S. Guerrero y L. Briceño. 2001. Caracterización de Suelos ácidos del nororiente de Guárico y centro norte de Cojedes. **In:** IV Jornadas Técnicas del CENIAP realizadas en el marco de los 50 años del Centro.

- Maracay del 12 al 14 de septiembre de 2001. En memorias. Formato electrónico CD.
- Maschner, H., V. Romheld and M. Kissel. 1986. Different strategies in higher plant in mobilisation and uptake of iron. *Journal Plant Nutrition*. 9: 695-713.
- Marschner, H. and B. Dell. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*. 159: 89-102.
- Mc Lachlan, K. D. 1976. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. *Aust. Journal Agric. Res.* 27:323-341.
- Mena, H., R. Jiménez y E. Georges. 2000. Ensayos Regionales de sorgo granífero. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 26 p.
- Mena, H., R. Jiménez y E. Georges. 2001. Ensayos Regionales de sorgo granífero. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 26 p.
- Miyasaka, S. C. and M. Habte. 2001. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. *Commn. Soil Sci. Plant Anal.*, 32(7-8):1 101-1 147.
- Olsen, R. S., C.V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA. Cir* 939.
- Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Brit. Mycol Soc.* 55:158-161.
- Raj, J., D. J. Bagyaraj and A. Manjunath. 1981. Influence of soil inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhiza and a phosphate dissolving bacterium on plant growth and 32P-uptake. *Soil Biology Biochemical*. 13:150-158.
- Ramírez, R. and M. López. 2000. Agronomy effectiveness of phosphate rock and superphosphate for aluminum tolerant and non-tolerant sorghum cultivars. *Communication in Soil Science and Analysis*. 31(9 y 10):1 169-1 178.
- Rodríguez, H. H., R. Ramírez y J. E. Williams. 1986. Respuesta de cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) a la toxicidad del aluminio en soluciones nutritivas. *Agronomía Trop.* 36(4-6):89-96.
- Shenck, M. and S. Barber. 1979. Root characteristic of corn genotypes as related to phosphorus uptake. *Agronomy Journal*. 71:921-924.
- Solórzano, P. R. 1981. Comportamiento de híbridos nacionales de sorgo granífero en suelos ácidos. *Revista de la Facultad de Agronomía*. Maracay. XXII. 1-2:47-61.
- Tabatabai, M. A. 1982. Soil enzymes. In *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (a. L. Page, de ). American Socie of Agronomy, Madison. p. 903-947.
- Tabatabai, M. and J. M. Bremner. 1969. Use of p-nitrophenol phosphatase activity. *Soil Biology & Biochemistry*. p. 301-307.
- Toro, M., M. López y D. López. 2002. Primer informe de avance del proyecto: "Efecto de las prácticas agrícolas sobre el funcionamiento de las micorrizas arbusculares y su incidencia en el desarrollo sostenible de agroecosistemas" S1-2000000649. Caracas, 30 p.
- Trasar-Cepeda, Ma. C. and F. Gil-Sotres. 1988. Kinetics of acid phosphatase activity in various soils of Galicia (Nw Spain). *Soil Biology & Biochemistry* 20(3):273-280.
- Wolf, B. 1982. A comprehensive system of leaf analyses and its use for diagnosing crop nutrient status. *Commun. In Soil Science and Plant Analysis* 13(12):1 035-1 059.