

## EFFECTO DE LA FUENTE DE FÓSFORO SOBRE LA MORFOLOGÍA RADICAL Y LA ACUMULACIÓN DEL ELEMENTO EN SIETE LÍNEAS DE MAÍZ

Shirley Mayerling Fernández<sup>1</sup> y Ricardo Ramírez<sup>2</sup>

### RESUMEN

La deficiencia de fósforo en el suelo puede ocasionar modificaciones en la morfología radical de ciertas plantas, como un mecanismo para mejorar el aprovechamiento del P proveniente de fuentes de baja solubilidad. Con la finalidad de estudiar el efecto de la fuente de fósforo sobre la morfología radical y la acumulación del elemento en siete líneas de maíz, se realizó un experimento en condiciones controladas, utilizando rizo-cajas, con un suelo Plinthic Paleustult, ácido (pH 4,45), bajo en P. Como fuente de fósforo se utilizó roca fosfórica de Riecito en una dosis de 400 mg de P por kg de suelo y superfosfato triple, en igual dosis. Se evaluaron seis líneas de maíz procedentes del CIMMYT, seleccionadas en suelos con 60% de saturación con aluminio y una línea nacional, seleccionada por el FONAIAP en suelos sin problemas de aluminio. Después de 45 días se midió longitud, volumen, diámetro y superficie radical, además del P acumulado en el tejido vegetal. Los materiales genéticos evaluados presentaron diferencias significativas para absorber P, con ambos fertilizantes y esas diferencias se encontraron directamente relacionadas con las características de crecimiento radical.

**Palabra clave adicionales:** Suelos, raíces, aluminio

### ABSTRACT

#### **Effect of the phosphorus source on the radical morphology and the accumulation of the element in seven lines of corn**

Phosphorus deficiency in soils can cause modifications in the radical morphology of certain plants as a mechanism to improve the use of P from sources of low solubility. With the purpose of studying the effect of phosphorus source on the radical morphology and the accumulation of the element in the tissue of seven lines of corn, an experiment was conducted under controlled conditions, using rhizotrons with an acid soil (pH 4.45) Plinthic Paleustult, low in P. As phosphorus source, phosphoric rock of Riecito was used at a rate of 400 mg/kg of P and triple superphosphate, at the same rate. Six lines of corn selected for acid soils and one local line, selected for neutral soils, were evaluated. Forty five days after planting, volume, diameter and root surface along with P accumulated in plants were measured. The corn lines presented significant differences to absorb P in both fertilizers, and those differences were directly related to the characteristics of radical growth.

**Additional key words:** Soils, roots, aluminum

### INTRODUCCIÓN

La habilidad de las plantas para modificar su sistema radical, a fin de lograr un aumento en la absorción del fósforo del suelo, hace que el estudio de características morfológicas y de arquitectura de las raíces, tales como longitud total, volumen, diámetro y superficie sean importantes en la definición de las características de las especies cuando se desarrollan en condiciones de escaso suministro

de fósforo (Claassen y Barber, 1976, Schenk y Barber, 1979; Silberbush y Barber, 1983).

En condiciones de estrés de fósforo, la formación de pelos radicales, el incremento en la longitud radical y la disminución del diámetro radical, juegan un papel muy importante, ya que ocasionan un aumento en el área superficial de absorción, permitiendo ocupar un mayor volumen de suelo e incrementar la absorción de fósforo (Föhse et al., 1991; Kranmitz et al., 1991; Sachay et al., 1991; Gahoonia y Nielsen, 1996;

---

Recibido: Noviembre 12, 1999

Aceptado: Abril 25, 2000

<sup>1</sup> Dpto. de Química y Suelo, Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela.

<sup>2</sup> Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. FONAIAP-CENIAP. Apdo. 4653. Maracay. Venezuela

Gahoonia et al., 1997; Gahoonia y Nielsen, 1998).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la roca fosfórica y el superfosfato triple sobre los cambios ocurridos en la morfología radical y en la acumulación de fósforo en siete líneas de maíz.

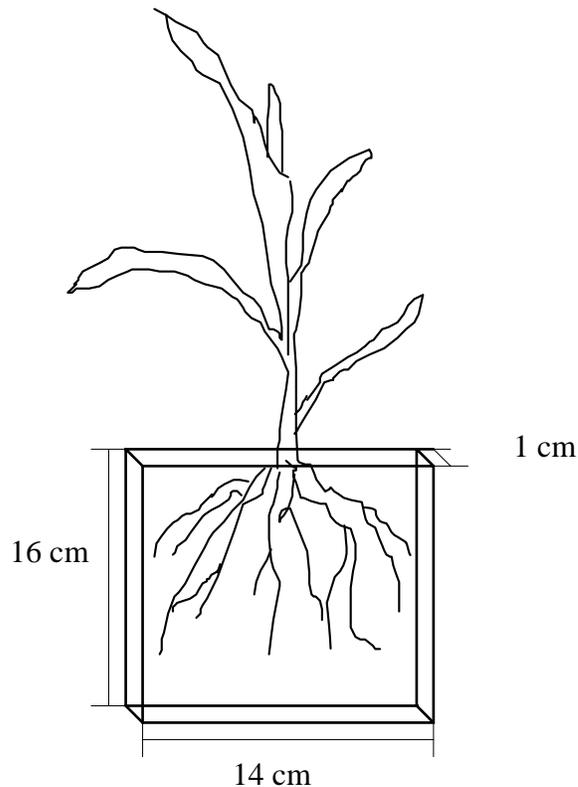
## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se diseñó un experimento en condiciones controladas, utilizando como fertilizante fosfatado roca fosfórica de Riecito, estado Falcón, micronizada a 100 mallas (25 %  $P_2O_5$ , 38 % CaO), en dosis equivalente a 400 mg de P por kg de suelo y superfosfato triple (45 %  $P_2O_5$ ), en igual dosis. Adicionalmente, se suministro 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 ancho (Figura 1). El suelo utilizado fue un Plinthic Paleustult, fino caolínítico, isohipertérmico, de la localidad de Santa María de Ipire, estado Guárico, el cual mostró una textura arcillosa y niveles nutricionales de 2 mg / kg de P, 42 mg / kg de Ca, 229 mg / kg de K y 94 mg/kg de Mg, así como 4,66 cmol /kg de Al, 8,9 cmol/ kg de CIC, pH en agua de 4,45 y capacidad de campo de 31,72%.

Para cada rizo-caja se pesaron 250 g de suelo, el cual una vez esparcido sobre un plástico negro y cuidadosamente mezclado con el correspondiente fertilizante fosfatado y la solución nutritiva, se colocó en la rizo-caja, hasta alcanzar un nivel de un cm por debajo del borde superior. En cada rizo-caja se sembró una semilla de maíz pregerminada. Durante el tiempo del experimento 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 los envases y la aplicación de agua desmineralizada.



**Figura 1.** Rizo-cajas utilizadas para el crecimiento de las plantas de maíz.

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). Los tratamientos se agruparon en un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. El experimento se colocó en un invernadero con temperatura controlada mediante cortinas de agua.

El material vegetal se cosechó a los 45 días después de la siembra, cortando las plantas a un centímetro del suelo. Los vástagos, lavados con agua desmineralizada, fueron secados a 70<sup>o</sup> C durante 48 horas en una estufa de ventilación forzada, pesados y molidos. El tejido fue digerido en una mezcla de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno. El fósforo fue determinado por colorimetría utilizando la metodología de Murphy y Riley, (1962). Para el estudio de las raíces, cada rizo-caja se abrió por una cara lateral, para separar las raíces del suelo. Las raíces fueron lavadas con ayuda de un juego de tamices con aberturas de 2, 1 y 0,5 mm, para evitar pérdidas de material, y conservadas en alcohol al 70% hasta el momento de determinar longitud por el método de Tennant (1975) y volumen por el método de Böhm (1979). El diámetro y la superficie radical se calcularon asumiendo raíces cilíndricas a partir de las mediciones del volumen y la longitud radical. Para el análisis de los datos se utilizó el método de la varianza y la separación de medias con la prueba de Tuckey. Finalmente, se determinó el grado de asociación entre las variables evaluadas, calculando el coeficiente de correlación entre la longitud o superficie radical y la acumulación de fósforo en los vástagos.

## RESULTADOS

Todas las líneas evaluadas acumularon más P al ser fertilizadas con superfosfato triple (SFT) que con roca fosfórica (RF) (Cuadro 1). Cuando se aplicó RF, la Línea 76 acumuló más P en el vástago; en cambio al fertilizar con SFT, la Línea 7 fue la que mostró mayor absorción del elemento. En ambos casos, la Línea 11 mostró los niveles más bajos de P en el vástago.

La longitud radical (LR) no mostró diferencias estadísticamente significativas entre las fuentes de P, excepto en la Línea 76, en la cual la LR fue de 30,81 m/pl con RF y de 19,16 m/pl con SFT (Cuadro 2). La Línea 11 mostró siempre la menor LR, tanto bajo la aplicación de la RF como con el SFT.

**Cuadro 1.** Fósforo acumulado (mg /pl) en 7 líneas de maíz fertilizadas con roca fosfórica (RF) o superfosfato triple (SFT).

Líneas	P vástago	
	RF	SFT
4	2,58 ab	2,88 ab
5	2,39 ab	3,29 ab
7	1,84 bc	4,34 a
11	1,68 c	2,05 c
15	1,95 bc	2,63 bc
17	2,76 ab	3,30 ab
76	3,29 a	3,77 ab

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,  $P \leq 0,05$ .

El volumen radical (VR) no mostró diferencias estadísticas entre las fuentes de P, excepto en la Línea 7, en la cual el VR fue de 5,90 cm<sup>3</sup> con RF y de 7,93 cm<sup>3</sup> con SFT (Cuadro 2). La Línea 76 mostró siempre un VR significativamente superior al resto de las líneas con RF. Igualmente, mostró el mayor valor con SFT compartiendo significancia estadística con las Líneas 17 y 7, respectivamente.

El diámetro radical (DR) resultó estadísticamente superior en los tratamientos fertilizados con SFT en las Líneas 4, 5, 7 y 76 que en los fertilizados con RF. El DR, en los tratamientos fertilizados con RF, varió desde 0,57 mm en las Líneas 7 y 15 hasta 0,71 mm en la Línea 76 y en los tratamientos con SFT desde 0,61 mm en las Líneas 7 y 17 hasta 0,85 mm en la Línea 76 (Cuadro 2).

Cuando se calculó la superficie radical (SR) no se encontró diferencias entre las fuentes de P excepto en la Línea 76, en la cual la SR fue de 683,61 cm<sup>2</sup>/pl con RF y 507,95 cm<sup>2</sup>/pl con SFT (Cuadro 2). La Línea 11 mostró siempre un sistema radical con menos superficie, tanto bajo la aplicación de la RF como del SFT.

**Cuadro 2.** Longitud (m), volumen (cm<sup>3</sup>), diámetro (mm) y superficie radical (cm<sup>2</sup>) por planta de 7 Líneas de maíz fertilizadas con roca fosfórica (RF) o superfosfato triple (SFT).

Líneas	Longitud Radical		Volumen Radical		Diámetro Radical		Superficie Radical	
	RF	SFT	RF	SFT	RF	SFT	RF	SFT
4	25,79 a	21,01 ab	7,23 b	7,03 b	0,60 b	0,65 bc	483,75 b	428,98 ab
5	25,75 a	21,34 ab	7,20 b	7,13 b	0,60 b	0,65 bc	482,64 b	437,28 ab
7	23,38 a	27,52 a	5,90 b	7,93 ab	0,57 b	0,61 c	416,29 bc	523,57 a
11	15,35 b	15,38 b	5,07 b	5,80 b	0,64 ab	0,69 b	311,70 c	334,80 b
15	28,66 a	23,83 ab	7,23 b	7,23 b	0,57 b	0,62 bc	510,35 b	464,91 ab
17	29,84 a	28,00 a	7,77 b	8,03 ab	0,58 b	0,61 c	539,46 ab	531,12 a
76	30,81 a	19,16 ab	12,10 a	10,80 a	0,71 a	0,85 a	683,61 a	507,95 ab

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,  $P < 0,05$ .

Los coeficientes de correlación entre LR y P acumulado fueron de 0,77 para la RF y de 0,63 para el SFT y entre SR y P acumulado fueron de 0,89 para la RF y de 0,86 para el SFT (Figura 2). En las condiciones de este experimento, la SR resultó mejor estimador de la capacidad de absorción de P que la LR.

## DISCUSIÓN

En los tratamientos con RF y SFT se observó una relación directa entre la absorción de fósforo y el desarrollo radical en las líneas evaluadas (Figura 2). Por esta razón, la mayor acumulación de P obtenida por las Líneas 4, 5, 17 y 76 tratadas con RF (Cuadro 1), posiblemente se debe a la significativa mayor longitud y superficie radical producida en estos tratamientos, ya que, el mayor desarrollo radical les permitió explorar un mayor volumen de suelo y por lo tanto absorber más fósforo, según acotan Kranmitz et al. (1991).

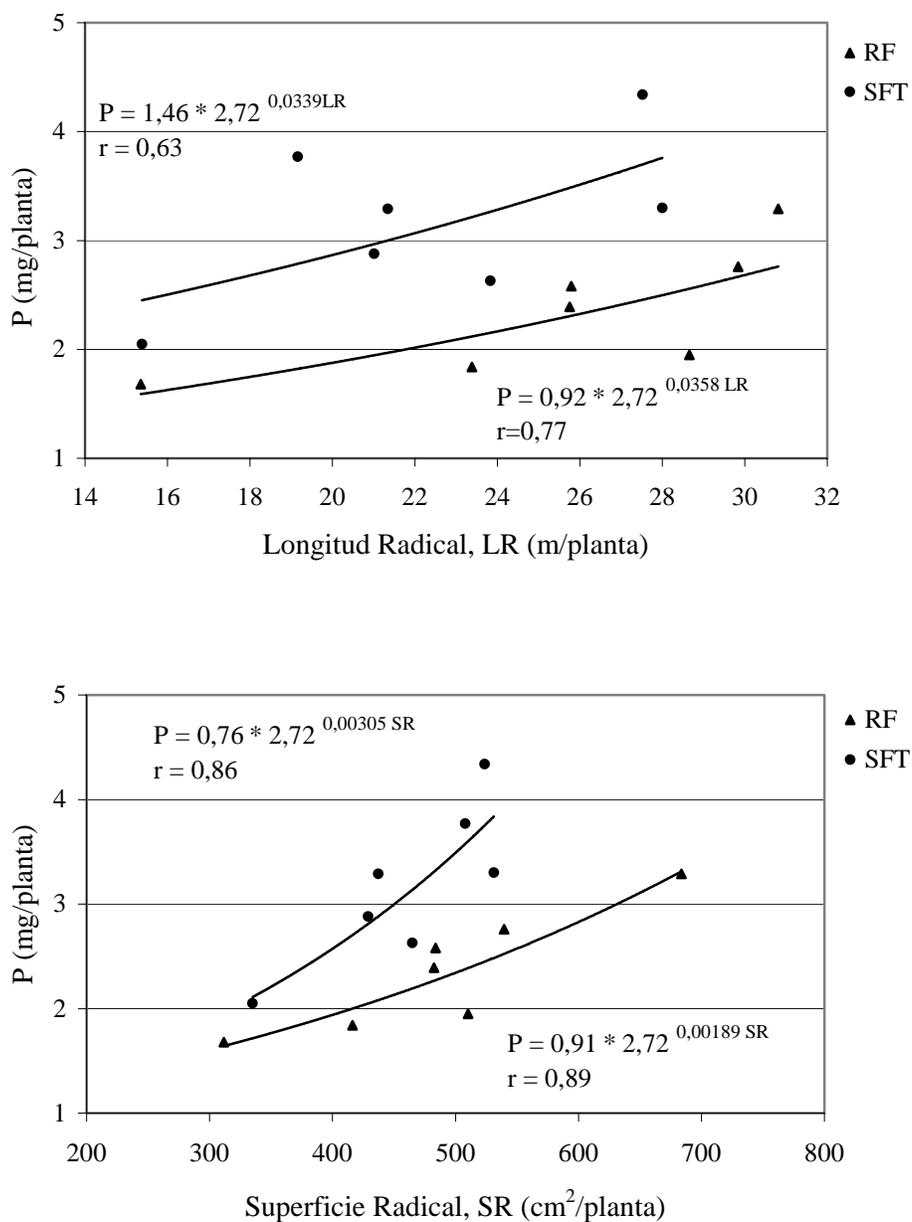
Este mecanismo se manifestó más intensamente en condiciones de baja disponibilidad de fósforo. La fertilización con RF originó en la Línea 76 un diámetro radical menor al obtenido con la aplicación de SFT. De igual manera, logró un incremento importante en la longitud y superficie radical (Cuadro 2). Schenk y Barber (1979) Silberbush y Barber (1983) y Kranmitz et al. (1991) encontraron que bajo condiciones de estrés por P las raíces aumentan su longitud y disminuyen el diámetro, mientras el volumen radical permanece constante. Con esto se aumenta el área superficial de absorción, lo que les permite ocupar un mayor volumen de suelo y por lo tanto, absorber más fósforo.

En los tratamientos con RF y SFT se pudo observar que la línea 76, seleccionada en suelos sin problemas de Al, presentó el mayor desarrollo radical de todas las líneas evaluadas, contrariamente a la línea 11, seleccionada en suelos con 60 % de saturación de Al, que presentó el menor desarrollo radical (Figura 2). Estos resultados muestran un mejor comportamiento de la Línea 76 en comparación con la Línea 11, en condiciones de suelo ácido con 52,4 % de saturación de Al, aún cuando esa línea no haya sido seleccionada en dichas condiciones. Según Delhaize et al. (1993), Ganessian et al. (1993), Ryan et al. (1994), Sasaki et al. (1995) y Tan y Keltjens (1995) y algunas plantas presentan un mejor desarrollo radical en condiciones de suelos ácidos con problemas de toxicidad con Al que otras plantas de la misma especie.

Los resultados obtenidos, sugieren las diferencias que pueden existir entre cultivares de una misma especie en el mecanismo estratégico empleado para absorber fósforo en respuesta a un bajo nivel del elemento en el suelo.

## CONCLUSIONES

Las líneas de maíz evaluadas difieren en su capacidad para aprovechar el fósforo proveniente de la roca fosfórica de Riecito y del superfosfato triple. Estas diferencias corresponden a cambios morfológicos de las raíces. El uso de roca fosfórica de Riecito indujo al desarrollo de raíces más finas y aumento de la longitud y superficie radical, que le permiten a la planta explorar un volumen de suelo mayor y por lo tanto absorber más fósforo.



**Figura 2.** Efecto de la longitud y la superficie radical sobre la acumulación de fósforo en los vástagos de siete líneas de maíz fertilizadas con roca fosfórica (RF) o superfosfato triple (SFT)

## LITERATURA CITADA

1. Böhm, W. 1979. Methods of studying root system. Springer - Verlag. Berlin.
2. Claassen, N. y S. Barber. 1976. Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. *Agronomy Journal* 68:961-964.
3. Delhaize, E., P. R. Ryan y P. J. Randall. 1993. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). II. Aluminum - stimulated excretion of malic acid from root apices. *Plant Physiology* 103:695-702.
4. Föhse D., N. Claassen y A. Jungk. 1991. Phosphorus efficiency of plants. II. Significance of root radius, root hairs and cation - anion balance for phosphorus influx in seven plant species. *Plant and Soil* 132: 261-272.
5. Gahoonia, T., D. Care y N. Nielsen. 1997. Root hairs and phosphorus acquisition of wheat and barley cultivars. *Plant and Soil* 191: 181-188.
6. Gahoonia, T. y N. Nielsen. 1996. Variation in acquisition of soil phosphorus among wheat and barley genotypes. *Plant and Soil* 178: 223-230.
7. Gahoonia, T. y N. Nielsen. 1998. Direct evidence on participation of root hairs in phosphorus ( $^{32}\text{P}$ ) uptake from soil. *Plant and Soil* 198. 147-152.
8. Ganessan, K., C. Sankaranarayanan Y T. Balakumar. 1993. Physiological basis of differential aluminum tolerance in rice genotypes. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 24:2179-2191.
9. Kranmitz, P., L. Aarssen y D. Lefebvre. 1991. Correction for non-linear relationship between root size and short term P uptake in genotype comparisons. *Plant and Soil* 133: 157- 167.
10. Murphy, J y J. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chem Acta* 27: 31-36.
11. Ryan, R., T. Kinraide y L. Kochian. 1994.  $\text{Al}^{+3}$  -  $\text{Ca}^{+2}$  interactions in aluminum rhizotoxicity. I. Inhibition of root growth is not caused by reduction of calcium uptake. *Planta* 192:98-103.
12. Sachay, J., R. Wallace y M. Johns. 1991. Phosphate stress response in hydroponically grown maize. *Plan and Soil* 132: 85-90.
13. Sasaki, M., M. Kasai, Y. Yamamoto y H. Matsumoto. 1995. Involvement of plasma membrane potential in the tolerance mechanis of plant roots to aluminum toxicity. *Plant and Soil* 171:119-124.
14. Schenk, M. y S. Barber. 1979. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agronomy Journal* 71: 921-924.
15. Silberbush, M. y S. Barber. 1983. Sensitivity analysis of parameters used in simulating K uptake with a mechanistic mathematical model. *Agronomy Journal* 75(6): 851-854.
16. Tan, K. y W. Keltjens. 1995. Interaction between aluminium and phosphorus in sorghum plants. II. Studies with the aluminium tolerant sorghum genotype. *Plant and Soil* 124: 25-32.
17. Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *Journal Ecology* 63:995-1001.