

## Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) en la etapa temprana a las formas de aplicación de fósforo

Julio C. Parra<sup>1</sup>, Ricardo Ramírez<sup>\*2</sup>, Deyanira Lobo<sup>2</sup>, Neudis Subero<sup>3</sup> y Omaira Sequera<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE), San Felipe, estado Yaracuy, Venezuela

<sup>2</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, estado Aragua, Venezuela

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, estado Carabobo, Venezuela

<sup>4</sup>Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, estado Lara, Venezuela

### RESUMEN

La deficiencia de fósforo (P) en el suelo provoca un decrecimiento en la formación de la materia seca de la planta. Una limitación en la disponibilidad de P, en el suelo, en la etapa temprana de desarrollo de la planta puede dar lugar a restricciones que limitan la producción de materia seca. Es conocido, en otras latitudes, que la colocación de P junto o cerca de la semilla de maíz estimula su crecimiento y su posterior rendimiento. En nuestro medio tropical no se tiene experiencia al respecto. Para conocer el comportamiento de la colocación del P respecto a la semilla de maíz, se condujo un experimento, en condiciones controladas, usando cuatro formas de colocación del fertilizante y dos variedades. Los tratamientos de aplicación del fertilizante fueron: mezclado con el suelo (PM), en banda (PB), dos tercios mezclado y un tercio junto a la semilla (PM+S) y dos tercios en banda y un tercio con la semilla (PB+S) y un testigo sin fertilizante. La aplicación de P en cualquiera de las formas resultó en un incremento significativo de la materia seca, área foliar y P en el follaje, pero no se encontraron diferencias entre las formas de aplicación de P. Se encontró un efecto muy alto del área foliar sobre la formación de biomasa y del fósforo en la planta sobre el área foliar.

**Palabras clave:** Área foliar, fósforo en la planta, materia seca.

### Corn response (*Zea mays* L.) at early growth to forms of P application

### ABSTRACT

Phosphorus deficiency in the soil decreases plant dry matter. Limitation of available P in the early stage of development of the plant can give place to restrictions that limit the production of dry matter. It is known that P placement with the seed of maize can stimulates its growth. There is no experience in this subject in our tropical conditions. This study was conducted to evaluate the efficiency of P placement regarding to corn seed at early growth, P uptake, and leaf area. Two factors, seed placement and two corn varieties were combined in a complete factorial experiment with four replications in a greenhouse. The treatments were P mixed with the soil (PM), P in band (PB), two thirds of P mixed with the soil and one third placed with the seed (PM+S), two thirds of P in the band and one third with the seed (PB+M), and no P. Placement of P with the seed had no effect on dry matter production, leaf area or P uptake as compared with PM or PB. However, dry matter, P uptake, and leaf area was improved by P fertilizer application to the soil. The data lead to the conclusion that P application with the corn seed is not better that P mixing with the soil or band application.

**Keywords:** Leaf area, P uptake, dry matter.

---

\*Autor de correspondencia: Ricardo Ramírez

E-mail: abisam28@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

La producción de cereales en Venezuela ocupa aproximadamente 1 100 000 ha, de las cuales alrededor del 63 % corresponden al maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor*) (Fedeagro, 2007). La mayor parte de los productores de estos dos cereales usan sistemas de labranza tradicionales basados en el uso de distintos tipos de rastra, con número de pases variable. Este sistema de labranza convencional ha dado lugar a la degradación física de muchos suelos (Ohep *et al.*, 1998; 2002). Una alternativa válida para el manejo de los suelos es la adopción de sistemas de labranza conservacionistas, menos agresivos, como la labranza mínima o la siembra directa. Sin embargo, los cultivos manejados con sistemas conservacionistas también están sujetos a diferentes problemas de estrés temprano, que pueden limitar la capacidad de la planta para absorber los nutrientes del suelo (Lamond y Gordon, 2001).

En los sistemas de labranza conservacionista es conocido que el P y K tienden a acumularse, en forma estratificada en la porción superficial del suelo, debido a que los fertilizantes aplicados en forma localizada no se mezclan con el suelo (Mallarino y Borges, 2006; Rehm *et al.*, 1995). El déficit de agua temporal, pero frecuente, en el suelo superficial, donde se encuentra la mayor proliferación de raíces del maíz, puede dar lugar a una nutrición inicial de P y K deficiente (Grant *et al.*, 2001). La limitación de P disponible, en los estadios tempranos de crecimiento del maíz, puede conducir a restricciones en el crecimiento de la planta que no se compensan con el incremento posterior del mismo, en niveles adecuados (Grant *et al.*, 2001). Este problema de baja disponibilidad de P y agua en la etapa temprana de desarrollo del maíz con frecuencia se torna crítico para la obtención de altos rendimientos.

La colocación de P en banda cerca o junto con la semilla, al momento de la siembra, ha sido señalada por algunos autores como beneficiosa para el buen desarrollo del maíz (Eckert y Johnson, 1985; Rehm, 1986). La aplicación de P en contacto con la semilla contribuye a mejorar su absorción por la planta. Miller *et al.* (1971) demostraron que el maíz era capaz de tomar el P en contacto con la semilla más rápidamente que cuando se aplicó en banda a un lado y por debajo de ella. Otros autores han demostrado que la aplicación del P junto a la semilla puede dar lugar a incrementos en el rendimiento de maíz, incluso en suelos con altos contenido de P disponible (Mengel *et al.*, 1988; Lauzon y Miller, 1997; Howard y Tyler, 1987; Rehm y Lamb, 2009)

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de dos variedades de maíz a la aplicación del fertilizante fosfatado junto a la semilla en dos suelos deficientes en P disponible.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la investigación se usaron dos suelos, un Typic Paleustalfs franco arenoso, pH 4,75 con 21% de saturación de aluminio, 142 mg Ca/kg, 8 mg P/kg, 1,69% de materia orgánica y 1,91 cmol/kg de CIC, muestreado en la finca "Laguna de Iguana" municipio Pao, estado Cojedes, que en adelante se denominará suelo Pao. El segundo suelo fue un Typic Haplustalfs franco arenoso, pH 5,10 con 7% de saturación de aluminio, 261 mg Ca/kg, 11 mg P/kg, 1,27% de materia orgánica y 2,22 cmol/kg de CIC, muestreado en el sector Camoruco, Fundación La Salle, municipio Libertador, estado Cojedes, que se denominará suelo Camoruco.

En cada parcela se tomaron muestras de suelo compuestas entre 0 y 20 cm de profundidad, las cuales se secaron al aire y se tamizaron con una malla de 3 mm. Cada suelo fue homogenizado y se tomó una muestra representativa para su análisis químico. La textura se determinó por el método del hidrómetro (Gee y Or, 2002), el pH en agua relación 1:2,5, el fósforo disponible por el método de Olsen (Olsen y Sommers, 1982), bases cambiables extraídas con acetato de amonio (Thomas, 1982) y determinadas por absorción atómica, la materia orgánica por Walkley y Black modificado (Heanes, 1984) y el aluminio extraído con cloruro de potasio (Barnhisel y Bertsch, 1982)

Los tratamientos de colocación de P respecto a la semilla fueron: 1) Testigo sin P (0P), 2) P mezclado con todo el volumen de suelo (PM), 3) P aplicado en banda, 5 cm por debajo y a un lado de la semilla (PB), 4) 2/3 del P mezclado con el suelo y 1/3 en contacto con la semilla (PM+S), 5) 2/3 del P en banda y 1/3 en contacto con la semilla (PB+S).

La dosis de P aplicada fue 150 mg/kg de suelo, usando como fuente superfosfato triple comercial. Todos los envases se fertilizaron, en mg/kg de suelo, con 200 de N (urea), 100 de K ( $K_2SO_4$ ), 8 de Mg ( $Mg_2SO_4$ ), 4 de Zn ( $Zn SO_4$ ) y 1,5 de Cu ( $CuSO_4$ ). Todos estos nutrientes fueron mezclados con el suelo de cada envase antes de la aplicación del P.

Se sembraron dos cultivares de maíz: 'Sikuani' (Sk), proveniente del CIMYT, México, tolerante a la toxicidad de aluminio, y DMR mejorado por el INIA, CENIAP.

Se pesaron 12 kg de suelo seco al aire, tamizado con malla de 3 mm y se colocaron en envases plásticos de 35 cm de diámetro y 30 cm de alto.

La banda de fertilizante se colocó siguiendo la diagonal del envase y las semillas, a 5 cm a un lado y a 5 cm por debajo de la banda real o imaginaria en los tratamientos PM y PM+S. Se sembraron seis semillas en

cada envase, tres a cada lado de la banda, las plantas se entresacaron a los siete días de germinadas, dejando dos en cada envase.

Los experimentos se condujeron en un invernadero enfriado con cortina de agua, donde las temperaturas variaron entre 18 y 34°C. A cada envase se agregó agua deionizada hasta alcanzar el 80% de la capacidad de campo antes de la siembra; en el curso del experimento la humedad del suelo se mantuvo entre 30 y 80% mediante la aplicación de agua cuando fue necesaria.

El diseño experimental usado fue un factorial de 2x5 completamente aleatorizado con cuatro repeticiones, correspondiendo las dos variedades y los cinco tratamientos de colocación de P a cada factor. Cada suelo constituyó un experimento independiente, pero conducido al mismo tiempo en el mismo lugar.

Las plantas se cosecharon a los 30 días después de la germinación, cortando el follaje a 1 cm por encima de la superficie del suelo. El material vegetal se lavó con agua deionizada, se secó por 24 h a 70°C en una estufa de ventilación forzada, se pesó para determinar la materia seca (MS) y se molió usando un tamiz de 1,5 mm y el material obtenido se guardó en frascos plásticos hasta el momento de su análisis químico.

Al momento de la cosecha se midió el largo y ancho de las hojas liguladas para calcular el área foliar, de acuerdo con Mckee (1964).

El material vegetal fue digerido con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno al 30% (Thomas *et al.*, 1967) en un bloque de digestión de aluminio. En el extracto se determinó P por colorimetría (Murphy y Riley, 1962).

Para el análisis de la varianza y de regresión de los datos se usó el paquete InfoStat (2000). 1.1.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Efecto de la forma de aplicación del P y variedad sobre la producción de materia seca

El análisis de la varianza de los datos en el suelo Pao reveló efecto significativo para los promedios de materia seca (MS), área foliar (AF) y concentración de P en el tejido vegetal (%P), debido a las formas de aplicación de P al suelo, así como para el efecto de variedad sobre el AF y %P. No se encontró efecto significativo para la interacción entre la variedad y las formas de aplicación de P. En el suelo Camoruco las variables MS, AF y % P mostraron significación debido al efecto de la aplicación del P, así como para la interacción variedad por formas de aplicación, para el %P.

La aplicación de P al suelo, en cualquiera de las formas usadas, dio lugar a una alta respuesta de la MS en ambos suelos, indicando la alta deficiencia de P disponible en los mismos.

La producción promedio de MS en el suelo Camoruco no mostró diferencias entre las formas de aplicación de P, en cambio en el suelo Pao, PB resultó menos eficiente que PM para la producción de MS, pero similar a los tratamientos donde se aplicó parte del P con la semilla (Cuadro 1). La aplicación de P con la semilla, en los dos suelos, no estimuló la producción de MS, respecto a los tratamientos de PM y PB. Estos resultados no coinciden con lo encontrado por otros autores, como Bates (1971), quien señaló que el desarrollo temprano del maíz era con frecuencia estimulado con la colocación del fertilizante fosfatado con la semilla. Posteriormente, Richards *et al.* (1985) encontraron incrementos en la MS de las plántulas de maíz, de cuatro a seis hojas, cuando el P fue aplicado con la semilla. Rehm y Lamb (2009) señalan que existe un efecto positivo de la colocación del fertilizante líquido cerca de la semilla sobre el crecimiento temprano del maíz, aún en suelos con niveles altos de P disponible. Cabe destacar que estos autores trabajaron en suelos con temperaturas más bajas que en el trópico, condición que pudo afectar la capacidad de las plantas para tener acceso al P, no solo por una más lenta difusión del P en el suelo, sino también por una menor solubilidad del fertilizante fosfatado, por la baja temperatura, y por el lento crecimiento de las raíces (Grant *et al.*, 2001). En el presente experimento la temperatura del suelo fue posiblemente mayor a 25°C, además de la buena provisión de agua, dos factores que pudieron contribuir a que no se encontrara respuesta a la colocación del fertilizante respecto a la semilla.

### Efecto de la forma de aplicación del P y variedad sobre la concentración del elemento en el tejido vegetal

La concentración de P en el tejido vegetal (Cuadro 2) mostró valores muy bajos, 0,05 y 0,07% en el tratamiento sin fertilizar, como resultado de la pobreza de los suelos en P disponible. En los tratamientos donde se fertilizó con P, los porcentajes de P en la planta variaron entre 0,12 y 0,18%, valores que son considerados bajos por Jones *et al.* (1991). La dosis de P usada como fertilizante fue alta, 150 mg/kg de suelo y, sin embargo, los niveles de P en la planta fueron bajos.

La concentración promedio de P en el tejido de la variedad Sk en el suelo Pao fue ligeramente mayor a la de DMR, posiblemente por su carácter de tolerante a las condiciones de acidez del suelo. El porcentaje promedio de P en la planta (Cuadro 2) correspondiente al tratamiento PM en el suelo Pao fue significativamente mayor al de

**Cuadro 1.** Materia seca (g/pote) de las variedades Sikuaní (Sk) y DMR bajo diferentes formas de aplicación de fósforo en los suelos Pao y Camoruco.

Formas de aplicación de P†	Suelo Pao			Suelo Camoruco		
	Variedades			Variedades		
	DMR	Sk	Media	DMR	Sk	Media
OP	1,34	1,35	1,34c‡	1,00	1,10	1,10b
PM	3,46	3,76	3,61a	2,95	4,11	3,5a
PB	2,81	2,59	2,70b	3,41	3,16	3,3a
PM+S	3,51	2,73	3,12ab	3,33	3,58	3,5a
PB+S	3,06	2,69	2,88ab	3,68	3,88	3,8a
	cv=20,76%			cv=15,27%		

† OP = Sin fósforo, PM = Fósforo mezclado con el suelo, PB = Fósforo en banda, PM+S = PM mas P semilla, PB+S = PB más P semilla.

‡ Medias en la misma columna con letras diferentes indican diferencias significativas ( $P > 0,05$ ).

los otros tratamientos fertilizados con P. En cambio, en el suelo Camoruco no se encontraron diferencias entre los promedios de %P de PM y PB, pero en el caso de DMR estos fueron más altos que los correspondientes a los promedios de los tratamientos donde se aplicó una parte del P junto a la semilla (PM+S y PB+S). Con la variedad Sk no se encontraron diferencias en la concentración de P en la planta atribuibles a las formas de aplicación del P al suelo.

Los datos anteriores sugieren que, posiblemente, el desarrollo radical temprano no fue suficiente para tomar el P localizado con la semilla, ya que es conocido que el desarrollo radical es crítico para la absorción temprana del P por el maíz (Barber, 1984) debido a que es necesario que la longitud radical o la superficie radical se extiendan en el suelo para que tenga lugar una eficiente absorción del P (Anghinoni y Barber, 1980)

### Efecto de la concentración de P sobre la producción de materia seca

La relación de la MS y la concentración de P en el tejido vegetal repondieron de manera lineal en los dos suelos, considerando las dos variedades (Figura 1), lo

que indica que podría esperarse un mayor incremento en la formación de MS con un mejor aprovechamiento del P disponible en el suelo. Los coeficientes de determinación calculados fueron altos 0,74 en el experimento con el suelo Pao y 0,85 para el suelo Camoruco. Esto indica que la producción de MS puede ser explicada en un 74% en el suelo Pao y en 85% en el suelo Camoruco por efecto de la acumulación de P en el tejido vegetal, indicando la alta importancia de proveer P a la planta de maíz en la etapa temprana de su desarrollo. Marschner (2002) señala que el maíz es altamente sensible a la deficiencia de P en las etapas tempranas de crecimiento, debido a que este nutriente juega un papel importante en la morfogénesis y expansión foliar, procesos que tienen lugar en el desarrollo temprano del maíz

### Efecto de la forma de aplicación del P y variedad sobre el área foliar

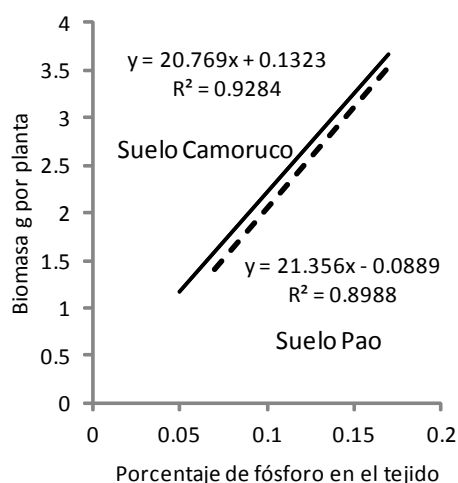
El incremento del área foliar y de la fotosíntesis neta por área foliar tienen una alta influencia sobre el comportamiento de los cultivos en términos de respuesta (Marschner, 2002), por consiguiente, es importante conocer el estímulo que puede tener la provisión de P a la planta sobre la formación del área foliar y de la MS.

**Cuadro 2.** Porcentaje de fósforo en las variedades Sikuaní (Sk) y DMR de maíz de 30 días de edad bajo diferentes formas de aplicación de P en los suelos Pao y Camoruco.

Formas de aplicación de P†	Suelo Pao			Suelo Camoruco		
	Variedad			Variedad		
	DMR	Sk	Media	DMR	Sk	Media
OP	0,07	0,07	0,07c‡	0,05c	0,05b	
PM	0,15	0,18	0,17a	0,18a	0,17a	
PB	0,13	0,14	0,14b	0,18a	0,16a	
PM+S	0,12	0,15	0,13b	0,15b	0,16a	
PB+S	0,14	0,15	0,15b	0,15b	0,17a	
Media	0,12b	0,14a				
	CV=9,08			CV=8,39		

† OP = Sin fósforo, PM = Fósforo mezclado con el suelo, PB = Fósforo en banda, PM+S = PM mas P semilla, PB+S = PB más P semilla.

‡ Medias en la misma columna o fila con letras diferentes indican diferencias significativas ( $P > 0,05$ ).



**Figura 1.** Efecto de la concentración de fósforo en el tejido de maíz sobre la producción de materia seca en los suelos Pao y Camoruco.

El promedio de AF correspondiente a las dos variedades de maíz en ambos suelos mostró incrementos significativos por efecto de las formas de aplicación de los fertilizantes (Cuadro 3). En el suelo Pao, las formas de aplicación de PM y PB+S estimularon la formación de mayor AF que las aplicaciones PB y PM+S. En el suelo Camoruco no se encontraron diferencias entre los tratamientos de colocación de fertilizante.

El AF promedio de la variedad Sk en el suelo Pao fue mayor que la de DRM, lo que se podría explicar por la mejor adaptación de este material genético a la condición de acidez y de contenido de aluminio de este suelo. En el suelo Camoruco no se encontraron diferencias entre las variedades.

El incremento promedio de AF en el suelo Pao respecto al testigo 0P fue de 55,4%, por el contrario, en el

suelo Camoruco fue menor al 26,8%. Este comportamiento del AF en los dos suelos se debe, posiblemente, a que el suelo Pao es más ácido y más pobre en P disponible, por consiguiente la respuesta del AF a la aplicación de P fue mayor que en el suelo Camoruco.

### Efecto del área foliar del maíz sobre la producción de materia seca

La deficiencia de P disponible en el suelo dio lugar a un severo decrecimiento de la producción de biomasa, atribuible a una deficiente formación de AF, cuya consecuencia es una disminución en la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada. La relación o dependencia de la biomasa del AF del maíz quedó demostrada con ambas variedades en los dos suelos (Figura 2).

La ecuación de mejor ajuste que relaciona los datos de biomasa y AF fue de forma cuadrática, con 0,84 de coeficiente de determinación en el suelo Camoruco y 0,61 en el suelo Pao, lo que indica una alta dependencia de la formación de biomasa sobre la expansión foliar. Resultados similares han sido reportados por Gavito y Miller (1989), Barry y Miller (1989) y Colomb *et al.* (2000).

### Efecto de la concentración de fósforo en el tejido sobre el área foliar del maíz

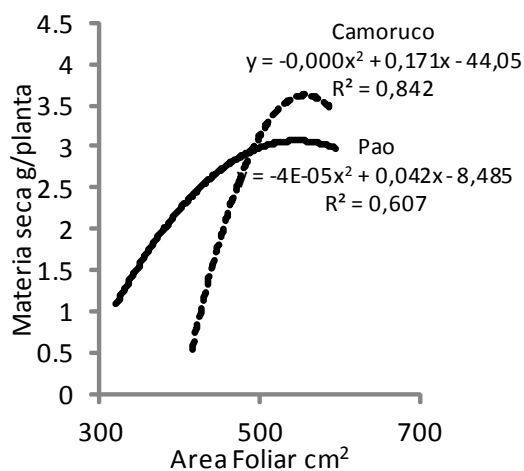
La nutrición de la planta con P tiene una alta relación con la expansión del área foliar; en condiciones de deficiencia dicha expansión es baja y aumenta con el incremento del P absorbido (Figura 3). Las plantas que crecen en suelos con niveles bajos de P disponible desarrollan valores de índice foliar más reducidos (Colomb *et al.*, 2000; Lynch *et al.*, 1991; McCollum, 1978; Rodríguez *et al.*, 1988). Los datos obtenidos en estos experimentos coinciden con estos autores, y permitieron

**Cuadro 3.** Efecto de las formas de aplicación de fósforo sobre el área foliar ( $\text{cm}^2/\text{planta}$ ) de las variedades de maíz Sikuaní (Sk) y DRM en los suelos Pao y Camoruco.

Formas de aplicación de P†	Suelo Pao			Suelo Camoruco		
	Variedad		Media	Variedad		Media
	DMR	Sk		DMR	Sk	
0P	320,0	393,2	356,6c‡	414,7	454,4	434,6b
PM	542,2	560,4	551,3a	493,8	555,2	542,5a
PB	523,7	547,4	535,5b	541,7	587,6	564,6a
PM+S	545,7	540,4	543,1b	585,5	587,2	584,9a
PB+S	578,8	594,8	588,3a	543,8	517,3	530,6a
Media	502,1b	527,8a				
	CV=5,41			CV=10,32		

† 0P = Sin fósforo, PM = Fósforo mezclado con el suelo, PB = Fósforo en banda, PM+S = PM mas P semilla, PB+S = PB más P semilla.

‡ Medias en la misma columna o fila con letras diferentes indican diferencias significativas ( $P > 0,05$ ).



**Figura 2.** Efecto del área foliar del maíz sobre la producción de materia seca en los suelos Pao y Camoruco.

establecer las ecuaciones de regresión ajustadas a la forma cuadrática que demuestran la dependencia del AF de la concentración del P en el tejido foliar (Figura 3). Los coeficientes de determinación de 0,85 en el suelo Camoruco y 0,76 en el suelo Pao indican que la expansión foliar del maíz en la etapa temprana del desarrollo podría ser atribuida en un 76 a 85% de los casos a la capacidad de los cultivares de acumular P en el tejido vegetal.

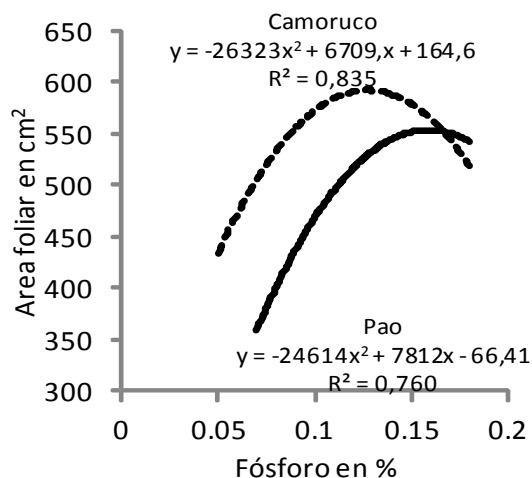
## CONCLUSIONES

La aplicación de P localizado con la semilla no fue más eficiente para la producción de biomasa que el mezclado con el suelo o aplicado en banda a un lado y por debajo de la semilla.

Los datos obtenidos permitieron mostrar que la formación de biomasa es dependiente de la expansión foliar, lo que permite una mejor captación de energía radiante y, al mismo tiempo, fue posible demostrar que el AF es dependiente de la concentración de P en la planta, en la etapa temprana de su desarrollo.

## RECONOCIMIENTO

La presente investigación fue desarrollada con la subvención otorgada por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV), a través del Proyecto titulado "Nutrición temprana de fósforo y calcio del maíz y su efecto sobre el desarrollo de la planta hasta el estadio V6"



**Figura 3.** Efecto de la concentración de fósforo en el tejido sobre el área foliar del maíz en los suelos Pao y Camoruco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRFICAS

- Anghinoni, I.; S.A. Barber. 1980. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by P supply. *Agron. J.* 72: 685-688.
- Barber, S.A. 1984. *Soil Nutrient Bioavailability. A Mechanistic Approach.* John Wiley and Sons. New York. EUA. 398 p.
- Barnhisel, R.; P.M. Bertsch. 1982. Aluminium. *In* Page, A.L.; R.H. Miller; D.B. Keeney. (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties.* American Soc. Agronomy. Madison, EUA. pp. 275-300.
- Barry, D.A.J.; M.H. Miller. 1989. Phosphorus nutritional requirements of maize seedling for maximum yield. *Agron. J.* 81: 95-99.
- Bates, R.E. 1971. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed. II. Summary of 22 trials. *Agron. J.* 63: 369-371.
- Colomb, B.; J.R. Kiniry; P. Debaeke. 2000. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics of field grown maize. *Agron. J.* 92: 428-435.
- Eckert, D.J.; J.W. Johnson. 1985. Phosphorus fertilization in no-tillage corn production. *Agron. J.* 77: 789-792.
- Gavito, M.E.; M.H. Miller. 1998. Early phosphorus nutrition, mycorrhizae development, dry matter production and yield of maize. *Plant Soil*, 199: 177-186.

- Gee, G.W.; D. Or. 2002. Particle-size analysis. In Dane J.H.; G.C. Topp (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 4. Soil Science Soc. America. Book Series No. 5.* Madison, EUA. pp. 255–293.
- Grant, C.A.; D.N. Flaten; D.J. Tamasiewicz; S.C. Sheppard. 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. *Can. J. Plant Sci.* 81: 211-224.
- Fedeagro. 2007. Producción agrícola. Disponible en <http://www.fedeagro.org>. [Consultado: 04-05-2011].
- Heanes, D. 1984. Determination of total organic- C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Comm. Soil Sci. Plant. Anal.* 15: 1191-1213.
- Howard, D.D.; D.D. Tyler. 1987. Comparison of surface applied phosphorus and potassium rates and in-furrow fertilizer combinations for non-till corn. *J. Fert. Issues.* 4: 48-52.
- InfoStat. 2000. InfoStat software estadístico. Ver. 1.1. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Argentina.
- Jones, J.B. Jr.; B. Wolf; H.A. Mills. 1991. *Plant Analysis Handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide.* Micro-Macro Publishing Inc. Athens, EUA. 213 p.
- Lamond, R.E.; W.B. Gordon. 2001. Developing more effective starter fertilizers for conservation tillage production systems. *Fluid Forum Proc.* 18: 132- 137.
- Lauzon, J.D.; M.H. Miller. 1997. Comparative response for corn and soybean to seed placed fertilizer over range of soil test phosphorus. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.* 28: 205-215.
- Lynch, J.; A. Lauchli; E. Epstein. 1991. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Sci.* 31: 380-387.
- Mallarino, A.P.; R. Borges. 2006. Phosphorus and potassium distribution in soils following long term deep band fertilization in different tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 702-707.
- Marschner, H. 2002. *Mineral nutrition of higher plants*, 2<sup>da</sup> ed. Academic Press. San Diego, EUA. 889 p.
- Mckee, O.W. 1964. A coefficient for computing leaf area in hybrid corn. *Agron. J.* 56: 240-241.
- McCollum, R.R. 1978. Analysis of potato growth under different P regimes. II. Time by P-status interactions for growth and leaf efficiency. *Agron. J.* 70: 58-67.
- Mengel, D.B.; S.E. Hawkins; P. Walker. 1988. Phosphorus and potassium placement for no-till and spring plowed corn. *J. Fert. Issues* 5: 31-36.
- Miller, M.H.; T.E. Bates; D. Sing; A.J. Baweja. 1971. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed. I. Greenhouse Studies. *Agron. J.* 63: 365-368.
- Murphy, J.; J.P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27: 31-36.
- Ohep, C.; F. Marcano; F. Pudzar; C. Colmenares. 2002. Efectos de la labranza conservacionista en los atributos físicos del suelo que influyen sobre el rendimiento del maíz. *Bioagro* 14: 37-45.
- Ohep, C.; F. Marcano; O. Sivira. 1998. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata*. Walp) en Yaracuy Medio. *Bioagro* 101:68-75.
- Olsen, S.R.; L. Sommers. 1982. Phosphorus. In Page, A.L.; R.H. Miller; D.R. Keeney. (Eds.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Agronomy Monograph No. 9, 2<sup>da</sup> ed. American Soc. Agronomy, Soil Science Soc. America, Madison, EUA. pp 403-430.
- Rehm, C.U.; G.W. Randal; A.J. Scobie; J.A. Vetsch. 1995. Impact of fertilizer placement and tillage system on phosphorus distribution to soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1661-1665.
- Rehm, G.W.; J.A. Lamb. 2009. Corn response to fluid fertilizers placed near the seed at planting. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 1427-1434.
- Rehm, G.W. 1986. Effect of phosphorus placement on early growth, yield and phosphorus absorption by irrigated corn. *J. Fert. Issues* 3: 12-17.
- Richards, J.E.; T.E. Bates; S.C. Sheppard. 1985. The effect of broadcast P applications and small amounts of fertilizer placed with the seed in continuously cropped corn (*Zea mays*.L.). *Fert. Res.* 6: 269-277.
- Riedell, W.E., D.L. Beck, T.E. Schumacker. 2000. Corn response to fertilizer placement treatments in an irrigated no-till system. *Agron. J.* 92: 316-320.
- Rodríguez, D.; M.M. Zubillaga; E.L. Ploschuk; W.G. Keltjens; J. Goudriaan; R.S. Lavado. 1988. Leaf area expansion and assimilate production in sunflower (*Helianthus annuum*. L.) growing under low phosphorus conditions. *Plant Soil* 202: 133-147.
- Thomas, R.L.; R.W. Sheard; J.R. Mayer. 1967. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agron. J.* 59: 240-243.
- Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. In Page, A.L.; R.H. Miller; D.R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Agronomy Monograph No. 9. 2<sup>da</sup> ed. American Soc. Agronomy, Soil Science Soc. America, Madison, pp. 159-165.