

## Fósforo residual en suelos incubados y su efecto sobre la materia seca y fósforo en la planta de maíz de 35 días

Ricardo Ramírez<sup>1\*</sup>, Omaira Sequera<sup>2</sup>, Neudis Subero<sup>3</sup>, Julio Parra<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Postgrado Ciencias del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101. Aragua. Venezuela.

<sup>2</sup>Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Lara. Venezuela.

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

<sup>4</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101. Aragua. Venezuela.

### RESUMEN

La actual práctica de aplicación de fertilizantes en los sistemas tradicionales de manejo de los suelos en Venezuela, para la siembra de maíz, tiene lugar días después de la germinación de la semilla, lo que da lugar a una deficiente nutrición temprana del cultivo. Una posible solución a este problema es aplicar el fertilizante al finalizar la cosecha, para mantenerlo incubado en el suelo durante el período de sequía. Para conocer el efecto de la incubación por 140 días, en condiciones de contenido de humedad disponible en los suelos entre 30 y 80%, se diseñó un experimento agregando al suelo 200 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo (P1) más un testigo (0P) y al final del período de incubación se sembró maíz y se cosechó a los 35 días. Los métodos de análisis de fósforo Olsen y Bray mostraron ser dependientes del fósforo inorgánico determinado por resina (PiR) y del lábil (PiL), los coeficientes de determinación respectivos fueron de 0,79 y 0,73. La materia seca producida mostró estar asociada a las fracciones de fósforo PiR y PiL y el coeficiente de determinación de la ecuación múltiple fue R<sup>2</sup>=0,70 lo que evidencia que es posible aplicar fósforo al suelo previo a la siembra, en la cosecha anterior, y tener fósforo disponible al momento de la germinación de la semilla.

**Palabras clave:** Fraccionamiento de fósforo, Olsen, Bray 1, Mehlich 3.

### Residual phosphorus in incubated soils and its effect on dry matter and phosphorus in the 35 days corn plant

### ABSTRACT

The current practice of applying fertilizers in traditional soil management systems in Venezuela, for planting corn, takes place days after seed germination, which results in poor early crop nutrition. A possible solution is to apply the fertilizer at the end of the previous harvest, to keep it incubated in the soil during the dry period. To know the effect of soil incubation for 140 days, under available moisture content between 30 and 80%, an experiment was designed adding 200 mg kg<sup>-1</sup> of phosphorus (P1) to the soil plus a control (0P). At the end of the incubation period corn was sown and harvested at 35 days. Maize dry matter was close related to the

---

\*Autor de correspondencia: Ricardo Ramírez

E-mail: abisam28@gmail.com

inorganic phosphorus fraction extracted by resin (PiR) and NaHCO<sub>3</sub> P labil (PiL). Determination coefficient of the lineal multiple regression resulted with  $R^2=0.70$  which means that about variations of DM will depend on PiR and PiL in 70% of the cases. These results evidences that it is possible to apply phosphorus to the soil prior to planting, in the previous harvest time, and have phosphorus available at the time of seed germination. Olsen and Bray soil phosphorus analysis methods were dependent of PiR and PiL, regression equations resulted with  $R^2=0.79$  for Olsen and  $R^2=0.73$  for Bray.

**Key words:** Phosphorus fractions, Olsen, Bray 1, Mehlich 3

## INTRODUCCIÓN

La producción de maíz en Venezuela es de secano y se inicia con el establecimiento de las lluvias. Una proporción grande de productores usan el sistema tradicional de preparación del suelo en seco para la siembra, basado en el uso de diferentes tipos de rastras, con número de pases variable. Ohep *et al.* (1998, 2002) han señalado que éste sistema de labranza convencional es el responsable de la degradación física de los suelos.

Para iniciar la siembra del maíz, en Venezuela, es necesario esperar que el suelo alcance cierto grado de humedad, con las primeras lluvias de la temporada, que permita una buena germinación de la semilla. El período de siembra es corto debido a que las lluvias se incrementan con el tiempo, haciendo que los suelos alcancen una alta humedad, lo que no permite el trabajo de los equipos de siembra. Para acelerar este proceso la mayoría de los productores no aplican el fertilizante al momento de la siembra, con la semilla, sino posteriormente a los 15 o más días después de la germinación, teniendo como consecuencia un rendimiento en grano por debajo del potencial del cultivo (Vera, 2010).

La limitación de la disponibilidad de fósforo en el suelo, en los estadios tempranos del crecimiento del maíz, puede conducir a restricciones en el desarrollo de la planta que no se compensan con el incremento posterior del nutriente a niveles adecuados (Grant *et al.*, 2001), por consiguiente, para obtener una buena respuesta del maíz a la fertilización, en especial al fósforo, es necesario que éste nutriente esté disponible en el suelo al momento de la germinación, lo que no sucede con frecuencia en el país.

Una posible solución, al problema planteado, sería aplicar el fósforo antes de la siembra, al momento de la cosecha anterior, cuando el suelo está húmedo, para mantener el fertilizante incubado en el suelo durante la época de sequía, cuando los suelos tienen poca o ninguna humedad, en esta forma al momento de la germinación la planta de maíz tendría P disponible en el suelo

El fósforo en los suelos ácidos tropicales es, con frecuencia, el nutriente más limitante (Buehler *et al.*, 2002), en el país, posiblemente, es el segundo después del nitrógeno. El manejo sostenible de los sistemas de producción tropicales requiere del conocimiento de los cambios del fósforo en el sistema suelo-planta y, en especial, del destino del P fertilizante a corto y largo plazo (Friesen *et al.*, 1997). El P en el suelo se encuentra bajo diferentes formas, las cuales tienen diferente grado de solubilidad y distribución lo que determinaría su disponibilidad para la planta (Adeli *et al.*, 2005).

Los fertilizantes fosfatados tienen una alta influencia sobre la distribución de las fracciones de fósforo en el suelo. Zamuner y Culot (1999) mostraron que altas dosis de P aplicado al suelo dieron lugar a un aumento de la fracción más lábil, un año después de la fertilización. Hartono *et al.* (2000) evaluaron los cambios del P en suelos ácidos y después de 90 días de incubación las mayores fracciones correspondieron a las formas extraídas con resina, bicarbonato de sodio e hidróxido de sodio.

El objetivo de éste trabajo fue conocer las formas disponibles de fósforo en el suelo después de un período de incubación de 140 días, en suelo húmedo, y su efecto sobre la absorción de fósforo y la producción de materia seca del maíz de 35 días de edad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron nueve suelos en cuatro estados en el país, uno en Portuguesa: Paldillo (Pl), dos en Yaracuy: Ramón (Ra) y Uribeque (Ur), dos en Barinas: (B1) y (B2), y cuatro en Guárico: Guacamaya (Gu), Silbon (Si), Violetas (Vi) y Valle la Pascua (VP). En cada sitio se tomaron muestras compuestas de suelo formadas por 10 a 12 sub muestras, a una profundidad aproximada de 0 a 20 cm. Las muestras se secaron al aire y se desmenuzaron para tamizarlas con un cedazo de 2 mm. La textura se determinó por Bouyoucos; el pH en una relación suelo agua 1:2,5; el fósforo se analizó

por tres métodos: Olsen (Olsen *et al.*, 1954), Bray I (Bray y Kurtz, 1945) y Mehlich 3 (Mehlich, 1984); calcio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico por el método descrito por Rhoades (1982) y la materia orgánica por Walkley y Black (1934).

Se implementaron dos tratamientos, un testigo sin aplicación de P (0P) y un segundo con la aplicación de 200 mg P por kilogramo de suelo (1P) en forma de superfosfato triple (46%  $P_2O_5$ ). El fósforo se aplicó a una masa de suelo de 50 kg, cuidando de homogeneizar la mezcla. De cada porción de suelo 0P y 1P, se pesaron 5 kilogramos en potes plásticos para su incubación por 140 días. Los potes se colocaron en un invernadero, enfriado con cortina de agua, variando la temperatura entre 23 y 35°C. El riego se realizó con agua desmineralizada para mantener la humedad de los suelos entre 30 y 80% de la capacidad de campo.

Una vez finalizada la incubación, el suelo proveniente de cada tratamiento (0P y 1P) se secó al aire y se colocaron 3,5 kg de cada suelo en potes de plástico. Se realizó una fertilización básica con 200 mg.kg<sup>-1</sup> de nitrógeno y 75 mg.kg<sup>-1</sup> de potasio. En cada pote se sembraron cuatro semillas de maíz SQ2 del INIA y a los siete días se realizó el entresaque para dejar dos plantas por pote. Cada tratamiento fue repetido 3 veces.

Las plantas se cosecharon 35 días después de la siembra, cortando cada una a 1 cm sobre la superficie del suelo, se lavaron con agua destilada y luego se secaron a 70 °C por 48 horas y se pesaron para determinar la materia seca. El tejido vegetal fue molido usando un tamiz de 1 mm y luego digerido con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno (Thomas *et al.*, 1967). En el extracto obtenido se determinó P por el método foto colorimétrico de molibdato de amonio (Murphy y Riley, 1962).

En la cosecha se tomaron dos muestras de suelo en cada pote, utilizando un cilindro de 2,5 cm de diámetro, desde la superficie del suelo hasta la base del mismo. Una de las muestras de suelo se usó para determinar las fracciones de P<sub>i</sub> resina (P<sub>i</sub>R) y P<sub>i</sub> lábil (P<sub>i</sub>L) siguiendo el método de fraccionamiento de Tiessen y Moir (1993) y fósforo disponible por los métodos Bray I, Olsen y Mehlich 3.

La otra muestra se utilizó para medir la longitud radical, para ello las raíces se separaron del suelo lavando con agua corriente usando tamices de 3, 2 y 1 mm, con la ayuda de una pinza se recogieron las raíces. La longitud radical se determinó siguiendo el método de la cuadrícula señalado por Tennant (1975).

El diseño experimental fue un factorial de 2 tratamientos de P por 9 suelos, completamente aleatorizado con tres repeticiones. Los datos obtenidos se analizaron con la ayuda del paquete estadístico InfoStat (2002), para la comparación de medias se usó el criterio de Tukey para  $P \leq 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ocho de los nueve suelos, usados en el experimento, el pH varió entre 4,5 y 5,6 evidenciando el carácter de acidez de los mismos, solo en el suelo B2 el pH fue 6,7 (Cuadro 1).

En seis suelos el contenido de P fue alto y varió entre 26 y 52 mg kg<sup>-1</sup>, los suelos B1, Vi y VP fueron bajos en P (14, 11 y 8 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). La materia orgánica fue baja, entre 0,94 y 2,58%, el calcio varió entre valores bajos, medios y altos debido posiblemente al manejo del encalado de los suelos y la CIC baja entre 4,1 y 14,1 meq/100 g. Solo el suelo VP mostró textura arcillosa y B1 arcillo arenoso, los otros suelos estuvieron en la categoría de francos. El tiempo de cultivo de los suelos con maíz fue variable, entre 10 y 18 años en los nueve suelos, no fue posible conocer las dosis de fertilizante aplicados en los diferentes años de cultivo.

La materia seca (MS) del maíz mostró incrementos significativos en todos los suelos, debidos al efecto residual del fósforo aplicado en comparación con los encontrados con 0P (Cuadro 2). Los incrementos en MS variaron con los suelos, desde 16,1% en Gu hasta 71,7% en Vi, la magnitud de la respuesta estuvo relacionada con el contenido inicial de P de los suelos. La correlación calculada, entre el porcentaje de incremento de MS y P inicial en los suelos, resultó ser significativa para  $P \leq 0,05\%$  y de carácter negativo ( $r = -0,64$ ), lo que indica que a menor contenido de P inicial, en los suelos, mayor la respuesta del maíz al P aplicado.

La capacidad de producción de MS por el maíz en los suelos sin fertilizar fue variable (Cuadro 2). Los mayores rendimientos correspondieron a Ra y Ur y los más bajos a B1, VP y Vi. Cuando se aplicó fósforo a los suelos, Ra mostró la mayor respuesta seguido por un segundo grupo de suelos formado por B2, B1, Ur y Pl; los suelos Vi y VP mostraron la menor capacidad de respuesta a la fertilización con fósforo. No se encontró ninguna relación entre la MS del maíz y las características de los suelos que aparecen en el Cuadro 1.

La concentración de P (%P) en la planta siguió el mismo patrón de respuesta que la MS

**Cuadro 1.** Análisis químico y físico de los nueve suelos, previos a la aplicación de fósforo.

Suelo	Parámetros químicos y físico					Textura	Años cultivo
	pH	P*	Ca*	MO % **	CIC***		
Ramón	5,0	33	380	1,70	4,3	F	18
Barinas 1	4,9	14	180	1,99	8,2	Aa	10
Barinas 2	6,7	33	>2000	1,85	9,1	FAa	11
Uribeque	5,4	52	372	1,36	5,2	Fa	12
Paldillo	5,1	31	660	2,58	12,3	F	15
Guacamaya	5,6	26	250	1,18	5,8	Fa	10
Siilbon	4,6	35	42	1,03	4,1	aF	10
Violetas	4,5	11	56	0,94	4,1	aF	14
Valle Pascua	5,2	8	149	1,71	14,1	A	18

\* mg kg<sup>-1</sup>

\*\*Materia orgánica

\*\*\*Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 g)

**Cuadro 2.** Materia seca de dos plantas de maíz de 35 días de edad (MS g 2pl<sup>-1</sup>), porcentaje de fósforo en la planta (%P), longitud radical (LR) en metros, en nueve suelos con aplicación de 200 mg P kg<sup>-1</sup> (1P) y sin aplicación de P (0P) e incubados por 140 días.

Suelos	Tratamiento	MS g 2 pl <sup>-1</sup>	% Inc *	% P	LR**
Ra	0P	19,9 b		0,33 b	27,6 a
	1P	32,5 a	38,8	0,52 a	23,6 b
B1	0P	9,1 b		0,38 b	23,3 a
	1P	24,2 a	42,4	0,52 a	18,5 b
B2	0P	14,2 b		0,27 b	27,5 a
	1P	26,3 a	45,1	0,37 a	21,8 b
Ur	0P	16,7 b		0,40 b	21,7 a
	1P	23,8 a	29,7	0,51 a	18,6 a
Pl	0P	11,1 b		0,36 b	22,7 b
	1P	22,0 a	49,7	0,41 a	29,1 a
Gu	0P	14,9 b		0,27 b	21,6 b
	1P	17,8 a	16,1	0,43 a	29,5 a
Si	0P	10,7 b		0,35 b	26,0 a
	1P	16,7 a	35,8	0,45 a	21,5 a
Vi	0P	4,1 b		0,22 b	20,8 a
	1P	14,6 a	71,7	0,34 a	19,4 a
VP	0P	7,4 b		0,33 b	19,7 a
	1P	11,6 a	35,9	0,42 a	17,4 a

\*Incremento de materia seca

\*\*Longitud radical en metros.

Valores seguidos por diferentes letras dentro de un mismo suelo son significativamente diferentes para P&lt;0,05 según Tukey.

(Cuadro 2), los valores de % P cuando no se aplicó fertilizante variaron entre 0,22 y 0,40%, se considera como nivel de suficiencia entre 0,3 y 0,5% (Jones *et al.*, 1991).

Cuando se aplicó fertilizante fosfatado a los suelos el %P en el tejido vegetal varió en el rango de suficiencia entre 0,4 y 0,5%, estos datos revelan que el proceso de incubación del fertilizante fosfatado en los suelos permitió obtener suficiente P residual disponible, para la nutrición inicial adecuada del maíz en su etapa temprana.

Los datos de MS y %P en la planta se ajustaron a un modelo de regresión lineal (Figura 1) que resultó con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,57$ , es decir que el comportamiento de la producción de biomasa del maíz se podría explicar en el 57% de los casos por la capacidad de la planta para utilizar el fósforo disponible en el suelo.

La longitud radical varió significativamente con los suelos y con la aplicación de fósforo al suelo (Cuadro 2). En los suelos Ra, B1 y B2 la LR fue mayor cuando no se aplicó P al suelo que cuando se aplicó. Este comportamiento de las raíces coincide con lo encontrado por Foehse y Jungk (1983) y por Mackay y Barber (1984), quienes señalaron que el incremento del fósforo en la solución nutritiva dio lugar a un menor crecimiento de la longitud y densidad de las raíces.

Contrariamente en los suelos Pl y Gu la LR fue mayor cuando se aplicó fósforo al suelo, este mismo comportamiento de la LR respecto al P disponible en el suelo fue encontrado por Ramírez y López (2000) con sorgo y por Sequera y Ramírez (2013) con frijol en suelos ácidos.

En los suelos Ur, Si, Vi y VP no se encontraron diferencias significativas en la LR debidas a la aplicación de P a los suelos (Cuadro 2).

El fósforo en  $\text{mg kg}^{-1}$  medido por Olsen, Bray 1 y Mehlich 3, al momento de la cosecha del maíz, mostró incrementos consistentes con la aplicación de P al suelo (Cuadro 3). Los valores de P disponible en el tratamiento 1P variaron entre 40,9 y 101,0 para Olsen; 42,8 y 264,3 para Bray; 70,0 y 322,9 para Mehlich. La capacidad de extracción de P siguió el siguiente orden: Mehlich>Bray>Olsen. Las fracciones PiR y PiL mostraron una menor capacidad de extracción de P que los métodos empíricos; PiR en el tratamiento 1P varió entre 4,8 y 74,2; en cambio PiL fue mayor entre 39,5 y 94,7.

El anterior comportamiento demuestra que una

alta proporción del P agregado a los suelos, como fertilizante al inicio, no fue inmovilizado en el período de incubación y crecimiento del maíz por 35 días, quedando disponible para la planta.

La MS del maíz de 35 días, mostró una alta asociación con los métodos de Olsen y Bray cuyos coeficientes de correlación  $r=0,78$  para el primero y  $r=0,73$  para el segundo fueron significativos ( $P \leq 0,01$ ). El método de Mehlich 3 mostró una correlación más baja  $r=0,48$  no significativa

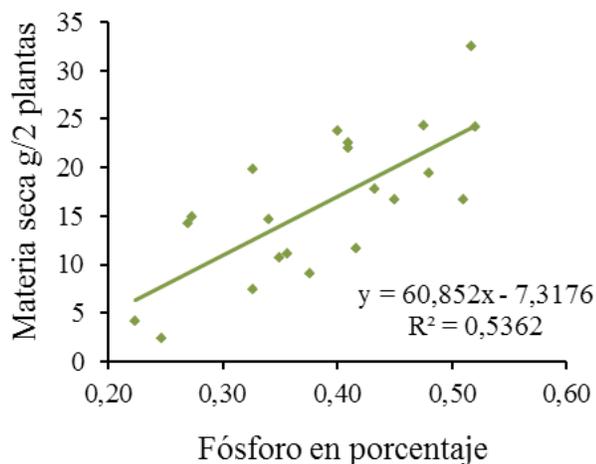
La MS también mostró una dependencia variable del P disponible en el suelo determinado por Olsen, Bray y Mehlich 3 (Figuras 2, 3,4). El ajuste de los datos de los tres casos correspondió a una ecuación logarítmica, el coeficiente de determinación más alto de 0,70 correspondió al método Olsen seguido por 0,67 de Bray y 0,55 de Mehlich 3, este comportamiento demuestra que los métodos de Olsen y Bray son mejores predictores del P disponible en los suelos estudiados que el método Mehlich 3.

El fósforo residual en los suelos con aplicación de P fue mayor que el encontrado cuando no se aplicó fósforo (Cuadro 3). El incremento de P residual, en términos de porcentaje (%In) varió con los suelos y entre los métodos de extracción. En la fracción PiR la variación fue entre 10,2% y 91,1%, en PiL de 6,7% a 78,1%, en Olsen de 40,4% a 79,6%, en Bray de 43,0% a 88,1% y en Mehlich de 23,8% a 78,5%.

En el suelo Ur se encontraron los valores más bajos de %In (Cuadro 3), excepto para Mehlich (Cuadro 3), este comportamiento coincide con el nivel más alto de P disponible de los suelos originales (Cuadro 1). Paralelamente se encontró que los valores de %In más altos, entre 78,0% y 91,0%, correspondieron a los niveles más bajos de P disponible en los suelos originales.

Los coeficientes de correlación calculados para relacionar el %In con los métodos de extracción de P disponible de los suelos resultaron ser negativos para Olsen ( $r = -0,89$   $P < 0,04$ ), Bray ( $r = -0,83$   $P < 0,08$ ) y para PiL ( $r = -0,80$   $P < 0,10$ ) esto quiere decir que en la medida que la disponibilidad de fósforo en los suelos es más baja es mayor el fósforo residual de las aplicaciones de P a los suelos. Este comportamiento parece indicar que el método Olsen es el más eficiente para diagnosticar el P disponible en los suelos.

Las fracciones PiL y PiR son consideradas disponibles en el suelo para la planta (Bowman *et al.*, 1978). La fracción PiR es una forma intercambiable libre, debido a que la resina no modifica químicamente



**Figura 1.** Materia seca del maíz y % P en el tejido

la solución del suelo y, por otra parte, la extracción del Pi con bicarbonato (PiL) da lugar a cambios químicos que, de alguna manera, se asemejan a la acción de las raíces (Hedley *et al.*, 1982, Tiessen y Moir, 1993)

La disponibilidad del PiL en el suelo (Cuadro 3) para la planta quedó demostrada por el alto grado de asociación de la MS del maíz con esta fracción, siendo el coeficiente de correlación calculado de 0,74 ( $P \leq 0.01$ ). Los datos de MS y PiL se ajustaron a una función logarítmica (Figura 5) cuyo coeficiente de determinación  $R^2 = 0,52$  explicaría que en un 52% de los casos la formación de MS del maíz se debería al uso de la fracción de PiL.

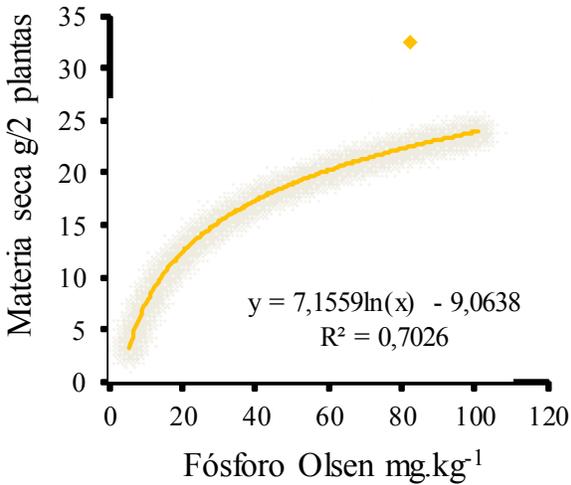
El grado de contribución de PiR a la MS fue menor que el de PiL, el coeficiente de correlación calculado no fue significativo y el  $R^2$  de la función lineal fue de solo 0,26.

Los datos obtenidos en el trabajo, demuestran

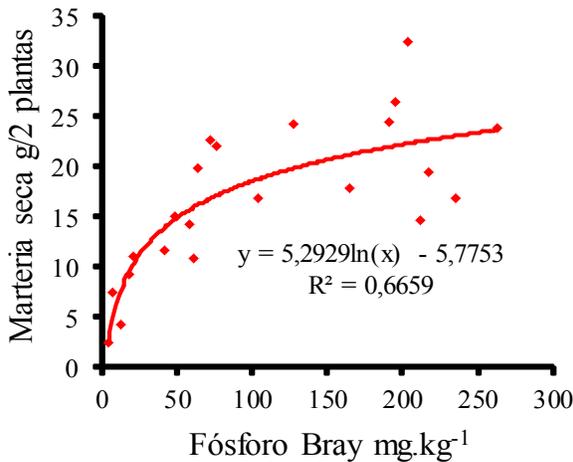
**Cuadro 3.** Fósforo residual en  $\text{mg kg}^{-1}$  en los suelos al momento de la cosecha del maíz de 35 días con aplicación de P (1P) y sin aplicación de P (0P) y porcentaje e incremento de P (%In).

Suelos	Tratamiento	OLSEN	%In	Bray	%In	Mehlich	%In	PiR*	%In	PiL*	%In
B1	0P	12,7		18,7		26,1		1,7		15,9	
	1P	68,0	68,4	128,3	74,6	158,0	71,7	21,3	85,6	75,2	65,1
Ra	0P	28,1		64,6		81,8		12,7		47,4	
	1P	82,8	49,3	204,7	52,0	140,0	26,3	55,5	62,9	91,4	31,7
Ur	0P	42,8		105,4		141,2		25,4		60,4	
	1P	101,0	40,4	264,3	43,0	322,9	39,2	31,1	10,2	69,0	6,7
Pl	0P	20,0		22,1		32,4		2,5		25,1	
	1P	66,7	53,8	77,5	55,6	116,8	56,6	17,7	75,2	81,6	53,0
Gu	0P	27,4		50,1		55,1		11,9		31,6	
	1P	80,1	49,1	165,5	53,6	230,2	61,4	58,8	66,3	75,0	40,8
Vi	0P	7,8		13,4		17,7		3,5		9,0	
	1P	68,4	79,6	212,2	88,1	146,8	78,5	74,2	91,1	72,8	78,1
Si	0P	27,8		62,5		64,8		6,8		38,1	
	1P	97,1	55,4	236,6	58,2	256,0	59,6	45,5	74,1	94,7	42,7
VP	0P	6,5		8,2		11,3		1,5		7,0	
	1P	40,9	72,7	42,8	68,0	70,0	72,2	4,8	52,9	39,5	69,9
B2	0P	26,8		59,8		81,4		1,8		7,0	
	1P	72,2	45,8	195,3	53,1	132,3	23,8	21,4	84,2	54,9	77,4

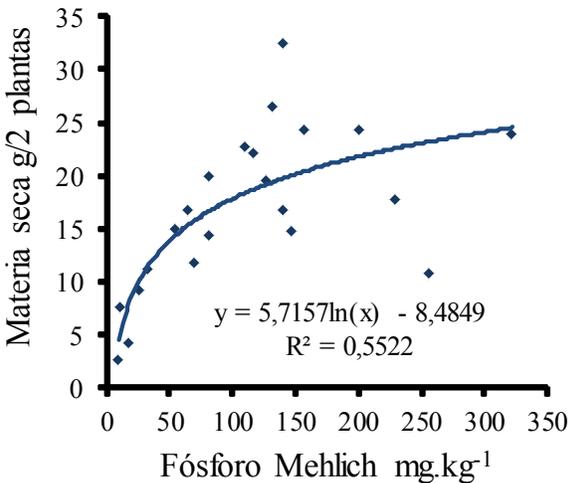
\*PiR y PiL por Tiessen y Moir (1993)



**Figuras 2.** Materia seca del maíz de 35 días con P por Olsen



**Figuras 3.** Materia seca del maíz de 35 días con P por Bray

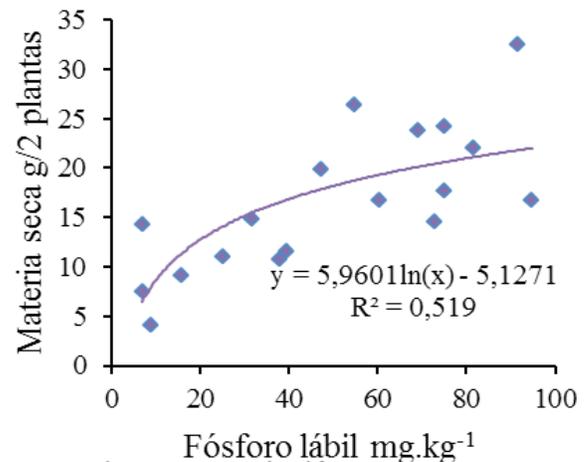


**Figuras 4.** Materia seca del maíz de 35 días con P por Mehlich

que existe una alta asociación y dependencia de la MS producida por el maíz del Pi lábil (Figura 5), paralelamente ésta fracción está significativamente correlacionada ( $P \leq 0.01$ ) con el P del suelo extraído por Olsen  $r = 0,91$  y con Bray  $r = 0,84$ , lo que sugiere que ambos métodos extraen, en gran parte, el PiL del suelo. La alta correlación de P-Olsen con PiL se explica porque ambos métodos usan  $\text{NaHCO}_3$  en la solución extractora. Ramírez *et al.* (2015) señalaron que el fósforo extraído por Olsen era el mejor estimador del P disponible en los suelos bajo cultivo de arroz y que, además, estaba altamente relacionado con el PiL. Tieseen y Moir (1993) concluyeron que el método de P-Olsen puede ser usado en forma eficiente en suelos ácidos y neutros. Los trabajos de calibración de análisis de suelos en el país, con varios cultivos y en suelos de diferentes valores de pH, demostraron que P-Olsen y P-Bray permitían predecir mejor la respuesta de la planta a la aplicación del fertilizante fosforado (Ramírez *et al.*, 1987, 1988; Ramírez, 1989).

### CONCLUSIONES

El fósforo residual producto de la aplicación al suelo del fertilizante fosfatado 140 antes de siembra del maíz, en nueve suelos de características diferentes, mostró que un alto porcentaje del fósforo aplicado se transformó a formas disponibles para la planta al momento de la germinación y posterior desarrollo temprano del maíz. La información obtenida permite deducir que, en la práctica, sería posible y positivo



**Figuras 5.** Relación materia seca del maíz de 15 días con PiL

Cuadro 3. Fósforo residual en mg kg<sup>-1</sup> en los suelos al momento de la cosecha del maíz de 35 días con aplicación de P (1P) y sin aplicación de P (0P) y porcentaje e incremento de P (%In)

SUELOS	Tratamiento	OLSEN	%In	Bray	%In	Mehlich	%In	PiR*	%In	PiL*	%In
B1	0P	12,7		18,7		26,1		1,7		15,9	
	1P	68,0	68,4	128,3	74,6	158,0	71,7	21,3	85,6	75,2	65,1
Ra	0P	28,1		64,6		81,8		12,7		47,4	
	1P	82,8	49,3	204,7	52,0	140,0	26,3	55,5	62,9	91,4	31,7
Ur	0P	42,8		105,4		141,2		25,4		60,4	
	1P	101,0	40,4	264,3	43,0	322,9	39,2	31,1	10,2	69,0	6,7
Pl	0P	20,0		22,1		32,4		2,5		25,1	
	1P	66,7	53,8	77,5	55,6	116,8	56,6	17,7	75,2	81,6	53,0
Gu	0P	27,4		50,1		55,1		11,9		31,6	
	1P	80,1	49,1	165,5	53,6	230,2	61,4	58,8	66,3	75,0	40,8
Vi	0P	7,8		13,4		17,7		3,5		9,0	
	1P	68,4	79,6	212,2	88,1	146,8	78,5	74,2	91,1	72,8	78,1
Si	0P	27,8		62,5		64,8		6,8		38,1	
	1P	97,1	55,4	236,6	58,2	256,0	59,6	45,5	74,1	94,7	42,7
VP	0P	6,5		8,2		11,3		1,5		7,0	
	1P	40,9	72,7	42,8	68,0	70,0	72,2	4,8	52,9	39,5	69,9
B2	0P	26,8		59,8		81,4		1,8		7,0	
	1P	72,2	45,8	195,3	53,1	132,3	23,8	21,4	84,2	54,9	77,4

\*PiR y PiL por Tiessen y Moir (1993)

aplicar el fertilizante inmediatamente después de la cosecha a fin de que se mantenga almacenado en el suelo durante la época de sequía y esté disponible, al humedecerse el suelo, al inicio de la próxima siembra. Esto debe probarse con experimentos de campo en diferentes suelos.

### AGRADECIMIENTO

Al Proyecto Alma Mater de la OPSU y al CDCHT de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, por el financiamiento otorgado.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeli, A.; K. R. Sistani; M. F. Bal'a; D. E. Rowe. 2005. Phosphorus Dynamics in Brolier litter-amended soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1099-1115
- Bowman, R. A.; S. R. Olesen; F. S. Watanabe. 1978. Green house evaluation of residual phosphate for four phosphorus methods in neutral and calcareous soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 451-454.
- Bray, R. H.; L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Buehler, S.; A. Oberson; I. M. Rao; D. K. Friesen; E. Frossard. 2002. Sequential phosphorus extraction of a <sup>33</sup>P-Labeled Oxisol under contrasting agricultural systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 868-877.
- Fohse, D.; A. Jungk. 1983. Influence of phosphate and nitrate supply to root hair formation of rape, spinach and tomato plants. *Plant Soil* 74: 354-368.
- Friesen, D. K.; I. M. Rao; R. J. Thomas; A. Oberson; J. I. Sanz. 1997. Phosphorus acquisition and cycling in crop pasture systems in low fertility tropical soils. *Plant. Soil* 196: 289-294
- Grant, C. A.; D. N. Flaten; D. J. Tamasiewicz; S. C. Shappard. 2001. The important of early season phosphorus nutrition. *Can. J. Plant Sc.* 81: 211-224.

- Hartono, A., P. L. G. Viek, A. Moawad, A. Rachim. 2000. Changes in phosphorus fractions on acidic soil induce by phosphorus fertilizer, organic matter and lime. *J. Soil Sci. and Environ.* 3(2): 1-7.
- Hedley, M.; J. Stewart; B. Chauhan. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976.
- InfoStat. 2002. Infostat Estudiantil, versión 2,0. Grupo InfoStat/FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Ed. Brujas. 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.
- Mackay, A. D.; S. A. Barber. 1984. Comparison of root and root hair growth in solution culture and soil culture. *J. Plant Nutr.* 7: 1745-1757.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 14: 1409-1416.
- Murphy, J.; J. P. Riley. 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* 27: 31-36.
- Ohep, C.; F. Marcano; O. Sivira. 1998. Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento del frijol (*Vigna unguiculata* L. Walp) en el Yaracuy Medio. *Bioagro* 10: 67-75.
- Ohep, C.; F. Marcano; S. Pudzzar; C. Colmenáres. 2002. Efectos de la labranza conservacionista en los atributos físicos del suelo que influyen sobre el rendimiento del maíz. *Bioagro* 14: 37-45.
- Olsen, R. L.; C. V. Cole; F. S. Watanabe; L. A. Dean. 1954. Examination of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Cir. 939, Washington, USA.
- Ramírez, R. 1989. Relación entre el fósforo disponible y la respuesta de la yuca a la fertilización fosfatada. *Agron. Trop.* 39: 115-130.
- Ramírez, R.; T. Rodríguez; A. Millán; C. Hernández; E. Guzmán; J. Tenias; A. Chirinos. 1987. Relación del fósforo disponible en el suelo con el requerimiento y respuesta del sorgo a la fertilización con éste elemento. *Agron. Trop.* 37: 85-98.
- Ramírez, R.; M. Beg; O. Colmenares; E. Meléndez; P. Marbal; F. Blanco; E. Guzmán; C. Hernández; A. Chirinos. 1988. Relación entre la respuesta del maíz a la aplicación de fósforo y el P asimilable del suelo. *Agron. Trop.* 38: 5-20.
- Ramírez, R.; M. López. (2000). Agronomic effectiveness of phosphate rock and superphosphate for aluminum-tolerant and non-tolerant sorghum cultivars. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 31: 1169-1178.
- Ramírez, R.; N. Subero; O. Sequera; J. C. Parra. 2015. Fracciones de fósforo inorgánico en el suelo y su relación con el fósforo extraído por Olsen, Bray I y Mehlich III. *Rev. Fac. Agron (UCV)* 41: 88-93.
- Rhoades, J. 1982. Cation Exchange Capacity. IN: A. L. Page (ed) *Methods of Soil Analysis, Part 2. Agronomy Monograph N° 9, ASA and SSSA.* pp. 178-190. Madison, Wi. USA.
- Sequera, O.; R. Ramírez. 2013. Roca fosfórica acidulada con ácido sulfúrico y tiosulfato de amonio como fuente de fósforo para frijol en dos tipos de suelo. *Bioagro* 25: 39-46.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersects method for estimating root length. *J. Appl. Ecol.* 62: 995-1001.
- Tiessen, H.; J. Moir. 1993. Characterization of available P by sequential extraction pp.75-86. In: M.R. Carter (ed) *Soil Sampling and Methods of Analysis.* Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers.
- Thomas, R. L.; R. W. Sheard; J. P. Mayer. 1967. A comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agron. J.* 59: 240-243.
- Vera, E. M. 2010. Factores que limitan el rendimiento de maíz en parcelas comerciales ubicadas en la Colonia Agrícola Turén del estado Portuguesa, Venezuela. Tesis doctoral. Post grado en Ciencias del Suelo, Universidad Central de Venezuela, Maracay. 173 p.

- Walkley, A.; I. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-37.
- Zamuner, E. C.; J. P. Culot. 1999. Efecto de la fertilización en la capacidad de sorción de fósforo. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 14(1-2): 107-116.