FRACCIONES DE FÓSFORO DISPONIBLES PARA MAÍZ EN SUELOS ÁCIDOS

Omaira Sequera¹, Ricardo Ramírez², Neudis Subero³ y Julio Parra²

¹Decanato de Agronomía, UCLA. Barquisimeto, osequera@ucla.edu.ve. ²Facultad de Agronomía, UCV. Maracay, abisam28@gmail.com. ³Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, nsubero@uc.edu.ve.

RESUMEN

Se evaluó la disponibilidad de las diferentes fracciones de fósforo (P) en suelos ácidos y su uso por el maíz. Se muestrearon diez suelos ácidos provenientes de los estados Portuguesa, Yaracuy, Guárico, Barinas y Cojedes, se determinaron las fracciones orgánicas e inorgánicas de P y se correlacionaron con la respuesta del maíz en experimento de invernadero. Cada muestra de suelo se secó al aire y se le aplicó el procedimiento de fraccionamiento de fósforo de Tiessen y Moir (1993). Se sembró maíz y se cosechó a los 35 días. El análisis de correlación mostró que las fracciones, P resina, Pi NaHCO₃, Pi NaOH y Pi HCl diluido están relacionadas con la absorción de P y producción de biomasa por el maíz en suelos ácidos, sugiriendo la disponibilidad de estas fracciones en un corto periodo de tiempo.

Palabras Clave: Fraccionamiento, P absorbido, P inorgánico, P orgánico.

INTRODUCCIÓN

El fósforo asimilable por las plantas depende de numerosas reacciones que regulan el equilibrio de una pequeña fracción lábil disponible (Asfary et al., 2004). Debido a que las formas de fósforo en el suelo tienen diferente solubilidad, la distribución de estas fracciones puede indicar la disponibilidad de P para la planta (Adeli et al., 2005). Los compuestos de P que se forman dependen de las propiedades del suelo. En suelos ácidos, el fósforo forma compuestos insolubles con Fe y Al y en condiciones alcalinas con el Ca. El uso de métodos de fraccionamiento de P permiten determinar y cuantificar los diferentes reservorios de P y conocer la disponibilidad inmediata, a mediano y a largo plazo para las plantas (Hernández y Bautis, 2005). El procedimiento descrito por Tiessen y Moir (1993), define las fracciones de P de la siguiente manera, P-resina (P lábil soluble en agua), P-NaHCO₃ (P lábil adsorbido a la superficie cristalina), P-NaOH (P medianamente lábil, asociado a óxidos de Fe y Al) y P-HCl 1 M (P medianamente lábil, ligado al Ca) y P-HCl concentrado (no lábil recalcitrante) y P-H₂SO₄ (no lábil, residual). El objetivo de este trabajo fue determinar la disponibilidad de las fracciones de P para el maíz, en suelos ácidos en experimento de corta duración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron diez suelos ácidos provenientes de los estados Portuguesa, Yaracuy, Guárico, Barinas y Cojedes, la mayoría con más diez años de fertilización fosfórica y siembra de maíz. Para cada suelo se tomó una muestra compuesta por 10 submuestras a una profundidad de 0 a 20 cm, se secaron al aire y se tamizaron a través de una malla de 2 mm para realizar los respectivos análisis. El pH se midió con una relación suelo:agua

1:2,5, la textura (Bouyoucos,1962), fósforo por el método de Olsen et al. (1954), Calcio: extraído con acetato de sodio y materia orgánica: (Walkley-Black, 1934). El fraccionamiento de fósforo se realizó por el método de Tiessen y Moir (1993). Se sembró maíz, variedad INIA SQ-2, en potes con 3,5 kg de suelo. El diseño experimental fue completamente aleatorizado con tres repeticiones. En cada pote se sembraron cuatro semillas de maíz y a los siete días se realizó el entresaque para dejar dos plantas por pote. Se realizó una fertilización a base de nitrógeno y potasio, utilizando 200 y 75 mg de N y K, respectivamente por kg de suelo. No se aplicó P. El riego se realizó diariamente con agua desmineralizada. Las plantas se cosecharon a los 35 días después de la siembra, luego se secaron a 70 °C por 48 horas y se pesaron para determinar la materia seca. Las muestras de tejido fueron digeridas con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno (Thomas *et al.*, 1967) y en el extracto se determinó P por el método colorimétrico de molibdato de amonio (Murphy y Riley 1962). Se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para estimar la contribución de las fracciones de P a la producción de materia seca y la absorción de P por el maíz, utilizando el paquete estadístico Infostat (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características de los diez suelos utilizados en el estudio se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas y físicas de diez suelos ácidos.

Suelo	Clase textural	%A	%L	%a	pH (1:2,5)	P (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	M.O. (%)
Y1	F	8	42	50	5,95	33	380	1,70
Y2	Fa	14	20	66	5,42	52	372	1,36
Port.1	F	16	44	40	5,26	13	304	1,91
Port.2	F	16,6	49,2	34,2	5,10	31	660	2,58
G1	Fa	12	32	56	5,56	26	250	1,18
G2	aF	6	8	86	4,50	11	56	0,94
G3	aF	6	10	84	4,59	35	42	1,03
G4	A	70,4	9,2	20,4	5,2	8	149	1,71
C	Fa	8,4	35,6	56	4,37	6	261	1,27
B	FAa	24,9	9,2	66,4	6,76	33	>2000	1,85

Y: Yaracuy, Port.: Portuguesa; G: Guárico; C: Cojedes; B: Barinas. M.O.: Materia orgánica

En el cuadro 2 se muestra el fraccionamiento de P de los diez suelos ácidos. Las fracciones extraídas con resina y NaHCO₃ son consideradas altamente disponibles para las plantas, mientras que P NaOH y P HCl diluido medianamente disponibles y P HCl concentrado y P H₂SO₄ no disponibles para las plantas (Hedley et al., 1982). Las fracciones de P inorgánicas representan de 61 a 79% del P total mientras que las fracciones orgánicas de 21 a 39% del P total. Las fracciones altamente disponibles ocupan del 2,7 a 18,6%, medianamente disponibles de 7,71 a 33,63% y las no disponibles de 25 a 53% del P total de los suelos. Esto refleja que en los suelos utilizados la mayor parte del P se encuentra en fracciones inorgánicas donde las fracciones altamente disponibles solo representan un

pequeño porcentaje en relación a las formas medianamente y no disponibles para las plantas.

Cuadro 2. Fracciones de P (mg.kg^{-1}) de diez suelos ácidos antes de la siembra del maíz.

Suelo	P resina	Pi NaHCO_3	Po NaHCO_3	Pi NaOH	Po NaOH	Pi HCl diluido	Pi HCl conc.	Po HCl conc.	P H_2SO_4
Y 1	30,90	35,21	14,60	32,22	86,90	32,26	44,39	37,40	56,80
Y 2	42,07	64,80	13,81	124,97	55,87	28,45	110,63	50,88	83,97
Port. 1	3,38	15,92	23,61	81,91	72,12	37,85	127,94	55,28	130,91
Port. 2	13,24	35,88	26,54	151,91	96,74	116,69	183,07	62,34	112,40
G 1	18,23	35,30	14,04	34,33	33,95	13,70	30,88	52,40	99,78
G 2	3,16	9,44	5,98	11,73	13,88	3,43	18,46	38,05	73,70
G 3	10,04	38,45	25,87	47,44	32,09	7,47	38,36	33,02	59,22
G 4	0,69	11,84	16,18	62,91	82,25	6,28	104,79	35,16	117,91
C	0,75	7,80	15,05	16,84	75,00	7,79	57,21	35,05	103,96
B	30,63	34,70	24,46	74,65	62,53	78,61	46,39	25,37	89,70

Pi: P inorgánico, Po: P orgánico; Y: Yaracuy, Port.: Portuguesa; G: Guárico; C: Cojedes; B: Barinas

P resina, Pi NaHCO_3 , Pi NaOH y P HCl diluido se correlacionaron significativamente con las tres variables medidas como respuesta del maíz, MS, %P y P abs. (Cuadro 3), lo que podría indicar que la planta utilizó P de estas fracciones para producir materia seca. P resina y Pi NaHCO_3 mostraron las correlaciones más altas con las respuestas del maíz. Es conocido que estas últimas fracciones tienen alta disponibilidad para las plantas y por lo tanto son utilizadas en mayor proporción.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre las diferentes fracciones de P del suelo y la respuesta del maíz, 35 después de la siembra.

Fracción de P	MS (g.pote^{-1})	% P	P abs. (mg. pote^{-1})
P Resina	0,95**	0,64**	0,94**
Pi NaHCO_3	0,86**	0,78**	0,90**
Po NaHCO_3	ns	ns	ns
Pi NaOH	0,42**	0,78**	0,53**
Po NaOH	ns	ns	ns
Pi HCl d.	0,39*	0,35*	0,34*
Pi HCl c.	ns	0,46**	ns
Po HCl c.	ns	ns	ns
P H_2SO_4	ns	ns	ns

MS: materia seca, %P: % de P en la planta, P abs.: P absorbido, Pi: P inorgánico, Po: P orgánico, d: diluido, c.: concentrado. ns: no significativo; *: significativo $P < 0,05$; **: significativo $P < 0,01$

La correlaciones entre Pi NaOH y Pi HCl diluido y la MS y el P en el maíz, aunque menores que las obtenidas con las fracciones más solubles, también fueron significativas (Cuadro 3), lo que sugiere que el maíz también utilizó fracciones de P menos disponibles como Pi NaOH y P HCl diluido que corresponden al P ligado al Fe y Al y el P ligado al Ca, respectivamente. Resultados similares fueron obtenidos por Han et al. (2005) quienes encontraron que el P absorbido y la MS producida por el maíz se correlacionaron

positivamente con las fracciones de P inorgánico lábiles y moderadamente lábiles. Por otra parte, Shen et al. (2004) explicaron que cuando no se suministra P, las plantas son capaces de utilizar fracciones poco solubles como el P extraído con NaOH. La utilización de fracciones de P poco solubles, por el maíz, puede ser atribuida a la solubilización de fosfatos por exudación de ácidos orgánicos en la rizósfera. Al respecto, Bertrand et al. (1999) trabajando con maíz, encontraron una disminución de algunas fracciones de P, entre estas P-NaOH y P-HCl y lo atribuyeron a la acidificación de la rizósfera. El P extraído con HCl concentrado, considerado como poco lábil o poco disponible, se correlacionó con el %P en el maíz a pesar de que no tuvo relación con la producción de MS (Cuadro 3). Tang y Armstrong (2008) demostraron, en experimentos de corta duración, que el trigo y el garbanzo son capaces de acceder, hasta cierto punto, al P lábil y no lábil. Las fracciones de P orgánico han sido consideradas importantes en el suministro de P disponible para la planta a través de la mineralización, siendo la más lábil o fácilmente mineralizable la extraída con NaHCO₃ (Linguist et al. 1997), sin embargo, en este estudio no se encontró relación entre las fracciones de P orgánico y la respuesta del maíz, lo que puede ser atribuido al poco tiempo del experimento que no permitió que ocurriera el proceso de mineralización. El P extraído con H₂SO₄ fue la única fracción inorgánica no relacionada con la absorción de P y producción de biomasa. Para Guo et al. (2000) sólo en condiciones de extrema deficiencia, fracciones residuales como P H₂SO₄, pueden participar en la reposición del P de la solución del suelo siendo entonces disponible para la planta.

CONCLUSIONES

Las fracciones P resina, P_i NaHCO₃, P_i NaOH y P_i HCl 1M están relacionadas con la absorción de P y producción de biomasa por el maíz, en suelos ácidos, sugiriendo que estas fracciones están disponibles para este cultivo en corto periodo de tiempo. La utilización de formas de P moderadamente lábiles, por parte del maíz, puede ser atribuido a la solubilización de fosfatos por exudación de ácidos orgánicos o inorgánicos en la rizósfera.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDHCT) de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" y al Proyecto Alma Mater de la Oficina de Planificación del Sector Universitario (OPSU), por el financiamiento otorgado.

BIBLIOGRAFÍA

- ADELI, A.; K. R. SISTANI; BAL'á y D. E. ROWE. (2005). Phosphorus dynamics in brolier litter-amended Soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1099-1115.
- ASFARY, A. F.; R. AL-MEREY y M. AL-HAMEISH. (2004). Fractionations of applied ³²P labeled TSP in calcareous soils. *Plant and Soil* 264: 171-183.
- BERTRAND, I.; P HINSINGER; B. JAILLARD y J.C. ARVIEU. (1999). Dynamics of phosphorus in the rhizosphere of maize and rape grown on synthetic, phosphated calcite and goethite. *Plant and soil.* (211): 111-119.
- BOUYOUCOS G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.

- GUO, F.; R. S.YOST.; N.V. HUE; C.I. EVENSEN y J.A. SILVA. (2000). Changes in phosphorus fraction under intensive plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.*64: 1681-1689.
- HAN, X.Z., TANG, C., SONG, C.Y., WANG, S.Y., y QIAO, Y.F. (2005). Phosphorus characteristics correlate with soil fertility of Albic Luvisols. *Plant and Soil*, 270:47–56.
- HEDLEY, M. J., J. W. B. STEWART y B. S. 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.
- HERNÁNDEZ-VALENCIA, I. y M. BAUTIS. (2005). Cambios en el contenido de fósforo en el suelo superficial por la conversión de sabanas en pinares. *Bioagro*. 17(2): 69-78.
- INFOSTAT (2002). Infostat versión 1.1- Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- LINQUIST, B.A, SINGLETON P.W. y K.G. CASSMAN. (1997). Inorganic and organic phosphorus dynamics during a build-up and decline of available phosphorus in an Ultisol. *Soil Sci* 162:254–264 .
- MURPHY, J. y J. P. RILEY. (1962). A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31-36.
- OLSEN, S.; C. COLE; F. WATANABE and L. DEAN. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium-bicarbonate. U.S. Dept. Agr. Circ. 939.
- RHOADES, J. 1982. Cation Exchange Capacity. *In*: A.L. Page (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy Monograph N° 9.* ASA & SSSA. Madison, WI. pp. 178-190.
- SHEN, J., L.I. R., ZHANG, F., FAN, J., TANG, C. y RENGEL, Z. (2004). Crop yields, soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil. *Field Crops Research*, 86: 225–
- TANG D. T. VU y C. y R. D. ARMSTRONG. (2008). Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. *Plant Soil* 304:21–33.
- THOMAS, R.; R. SHEARD and J. MOYER. (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.
- TIESSEN, H. y J. O. MOIR. (1993). Characterization of available P by sequential extraction. *In*: Carter, M. R. (ed.). *Soil Sampling and Methods of Analysis.* pp. 75-86.
- WALKLEY, A. y I. A. BLACK. (1934). An examination of the Degthareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 27:29-38.