

Fracciones de fósforo inorgánico en el suelo y su relación con el fósforo extraído por Olsen, Bray I y Mehlich III

Ricardo Ramírez^{1*}, Neudis Subero², Omaira Sequera³ y Julio C. Parra⁴

¹Postgrado Ciencias del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apto. 4579. Maracay, 2101 Aragua. Venezuela

²Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Carabobo. Venezuela

³Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Lara. Venezuela

⁴Facultad de Agronomía, UCV. Maracay, Aragua. Venezuela

RESUMEN

En el país se usan diferentes métodos de extracción de fósforo (P) disponible para la planta, Olsen, Bray I y Mehlich I, con el propósito de recomendar las dosis de fosfatos necesarios para los diferentes cultivos. Sin embargo, estos métodos no están calibrados para el arroz. El objetivo de este trabajo fue relacionar el P disponible en el suelo, extraído por diferentes métodos, con las formas de P lábiles determinados por medio del fraccionamiento secuencial de Tiessen y Moir. Se tomaron muestras de 38 suelos en el Sistema de Riego del Río Guárico a una profundidad entre 0 y 20 cm, en la época de cosecha del arroz, para determinar P por Olsen, Bray I y Mehlich III y también las fracciones de P inorgánico. Cuando se usó la solución extractora de Olsen, 31 de los 38 suelos resultaron ser deficientes en fósforo, 32 con Bray I y los 38 con Mehlich III. Solamente el fósforo determinado por Olsen se correlacionó positiva y significativamente ($P < 0,05$) con las fracciones de P inorgánico lábiles determinadas por medio del fraccionamiento secuencial.

Palabras clave: Fósforo disponible, fósforo lábil, fraccionamiento de fósforo.

Inorganic phosphorus fractions in the soil related to phosphorus extracted by Olsen, Bray I and Mehlich III

ABSTRACT

Different extraction methods for phosphorus (P), Olsen, Bray I and Mehlich I are used in the country to determine plant available P in order to recommend doses of phosphate required for crops. However, these methods are not calibrated for rice. The aim of this study was to relate the available soil P extracted by different methods, with the labile inorganic P fractions, determined through sequential fractionation by Tiessen and Moir. Soil samples from 0 to 20 cm depth in 38 soils were collected at the time of rice harvest in Guárico River Irrigation System. Soil P was determined by Olsen, Bray I, and Mehlich III, as well inorganic P fractions. When Olsen soil extracting solution was used 31 of 38 soils turned out to be deficient in phosphorus, 32 with Bray I and 38 with Mehlich III. Olsen P was positively and significantly ($P < 0.05$) correlated with the labile soil P fractions.

Key words: Available phosphorus, labile phosphorus, phosphorus fractionation.

*Autor de correspondencia: Ricardo Ramírez

E-mail: abisam28@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El contenido relativo del fósforo en el suelo es variable y depende del pH, materia orgánica, material parental, clima, manejo de los cultivos y sobre todo, de la forma y época de fertilización. El fósforo disponible en el suelo es determinado por medio de soluciones extractoras que teóricamente estiman el P en la solución del suelo y el que se solubiliza. Estos métodos empíricos han tenido diferentes grados de éxito en los procesos de desarrollo de recomendaciones de fertilizantes fosfatados (Ramírez, 1989; Ramírez y Morales, 1989).

En el país las soluciones extractoras de P más usadas por los laboratorios, para hacer recomendaciones de fertilizantes fosfatados, son las de Olsen (Olsen *et al.*, 1954), Bray I (Bray y Kurtz, 1945) y Mehlich I (Mehlich, 1953). Estos métodos fueron calibrados en experimentos de campo para diferentes cultivos (Ramírez *et al.*, 1987, 1989, 1990) y se establecieron los rangos de deficiencia y suficiencia de P disponible en los suelos para los cultivos calibrados.

El P extraído por Olsen y Bray I mostró los coeficientes de determinación más altos, cuando se relacionó el rendimiento relativo con los valores de P disponible; en cambio, el P extraído con Melich I resultó con coeficientes de determinación más bajos. No se conocen en el país datos sobre calibración de análisis de suelos para arroz.

Los métodos de extracción de P empíricos proporcionan una medida cuantitativa del P disponible para la planta en el suelo, pero no establecen las fracciones que conforman dicho P disponible. Los métodos de extracción secuencial del P del suelo (Hedley *et al.*, 1982; Tiessen y Moir, 1993) permiten conocer cuantitativamente las fracciones de P lábiles y las más estables en el suelo.

El objetivo de éste trabajo fue establecer el grado de asociación entre el P disponible determinado por Olsen, Bray I y Mehlich III, con las fracciones lábiles de P determinados con el fraccionamiento secuencial, en los suelos bajo cultivo de arroz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se escogieron 38 parcelas sembradas con arroz, con una historia de fertilización fosfatada entre 5 y 50 años, en el Sistema de Riego del Río Guárico, Venezuela, en el año 2007. La temperatura promedio de la región es de 27,7°C y una precipitación media anual de 1476 mm.

El muestreo de los suelos se hizo en una superficie

de 2 ha aproximadamente, dependiendo del tamaño del "tanque" levantado por el agricultor, de acuerdo con las curvas de nivel. El patrón de muestreo seguido fue el de zig-zag, tomando 20 submuestras por tanque, entre 0 y 20 cm de profundidad, con un tubo de 7 cm de diámetro. Las submuestras se mezclaron para formar una sola muestra compuesta por parcela. Los suelos se secaron al aire y se tamizaron con una malla plástica de 2 mm y se conservaron en frascos de vidrio para su posterior análisis. La textura de los suelos se determinó por el método de Bouyoucos (1962), el pH en agua-suelo (1:2,5) aluminio intercambiable con la solución extractora de KCl 1N (Barnhisel y Bertsch, 1982), la materia orgánica por medio de oxidación con dicromato (Heanes, 1984), el contenido de Ca y la capacidad de intercambio catiónico CIC) con acetato de amonio 1 M, a pH 7 (Thomas, 1982).

Las fracciones de fósforo inorgánico de los suelos se extrajeron, en forma secuencial, siguiendo el procedimiento propuesto por Tiessen y Moir (1993). Para la determinación de P con resina (PiR) se usaron dos tiras de resina de intercambio aniónico de 9 x 62 mm, el P lábil (PiL) se extrajo con NaHCO_3 0,5 M (pH 8,5), el P moderadamente lábil (PiML) con NaOH 0,1 M, el P ligeramente lábil (PiLL) con HCl 1M, el P ocluido (PiO) con HCl concentrado y el P recalitrante (PiRC) mediante digestión con H_2SO_4 concentrado y H_2O_2 .

El P disponible se determinó usando los métodos empíricos de Olsen (Olsen *et al.*, 1954) usa NaHCO_3 0,5M ajustado a pH 8,5, Bray I (Bray y Kurtz 1945) NH_4F 0,03N en HCl 0,025N y Mehlich III (Mehlich, 1984) 0,2N CH_3COOH , 0,25N NH_4NO_3 , 0,015N NH_4F , 0,013 N HNO_3 , 0,001M EDTA. Las determinaciones colorimétricas de fósforo, en todos los análisis, se hicieron siguiendo el procedimiento de Murphy y Riley (1962).

Para conocer el grado de relación entre las diferentes fracciones de fósforo determinadas por el fraccionamiento secuencial de Tiessen y Moir (1993), con el P disponible extraído por Olsen, Bray I y Mehlich III se calcularon los coeficientes de correlación respectivos

Los datos de P disponible por Olsen se ajustaron a modelos de regresión lineal, usando como variables independientes las fracciones de P producto del fraccionamiento secuencial

Los datos usados para calcular las correlaciones y regresiones cumplieron con los supuestos de normalidad (Steel y Torrie, 1960). Los cálculos se realizaron con la ayuda del programa Excel (Microsoft, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis químicos de los suelos mostraron valores de pH menores que 7,0 y variaron entre ligeramente ácidos y fuertemente ácidos. Según Páez (2004), el pH adecuado para el arroz varía entre 5,2 y 6,5 y el 75% de los suelos analizados se ubicaron en este rango. La materia orgánica varió entre 1,7 y 4,0%, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) desde 0,7 hasta 14,3 cmol/kg, el Ca entre 50 y 2811 mg/kg. López *et al.* (2008) indican que los suelos pueden considerarse altos en éste nutriente cuando alcanza valores por encima de 400 mg/kg y el 93% de los suelos resultaron altos en Ca. El Al intercambiable varió entre 2,9 y 38,9 mg/kg y la arcilla entre 9,2 y 55,2% (Cuadro 1).

Los valores promedio, máximo, mínimo y desviación estándar (DE) de los análisis de fósforo, de los 38 suelos estudiados, se muestran en el Cuadro 2. La media para Olsen fue 1,23 veces mayor que la de Bray I y 1,19 veces que la de Mehlich III; sin embargo, la DE fue mayor para Olsen, seguida por Bray I y Mehlich III. Las fracciones de PiL fueron 8,22 veces más altas que Pi extraído con resina (PiR); las fracciones PiML fueron 65,4% más altas que el PiLL.

Tomando en cuenta los resultados de la calibración de análisis de suelos disponibles (Ramírez *et al.*, 1987, 1988, 1989, 1990; Ramírez y Morales, 1989; Ramírez, 1989) se pudieron establecer los límites de suficiencia y deficiencia de fósforo en el suelo para los métodos de Olsen y Bray I, pero no se disponen de datos de calibración para Mehlich III. Los niveles de

suficiencia o deficiencia de P en el suelo son parecidos para Olsen y Bray I (Cuadro 3).

Los resultados de los análisis por Olsen mostraron que solamente 3 de los 38 suelos pueden ser considerados como altos en fósforo disponible, 4 como de contenido medio y 31 deficientes (Figura 1). El comportamiento del P por Bray I fue parecido, 6 suelos con niveles medios y 32 bajos o deficientes (Figura 2), con Mehlich III 31 suelos mostraron valores de P menores que 10 mg/kg (Figura 3).

Los resultados encontrados indican que existe una alta deficiencia de P en los suelos dedicados al cultivo de arroz en el estado Guárico. Aun cuando para la producción de este cereal los suelos han sido fertilizados anualmente con fosfatos, siguiendo diferentes criterios de aplicación, dependiendo de cada agricultor. Posiblemente el manejo de los fosfatos no fue el más eficiente o apropiado para el cultivo del arroz en suelos inundados, lo que pudo dar lugar a pérdidas del fertilizante por escurrimiento o en el agua de drenaje de los tanques después de la fertilización y siembra.

De acuerdo con nuestros datos, para la obtención de rendimientos económicos y sostenibles será necesario el uso de dosis de fosfatos relativamente altas, pero teniendo en cuenta que su aplicación debe ser la adecuada para garantizar su máxima eficiencia y evitar las pérdidas por escurrimiento o por las aguas de drenaje. Todo esto se reduce a cuidar que la aplicación del fertilizante sea oportuna y suficientemente profunda para evitar su pérdida.

Cuadro 1. Análisis químico de los suelos provenientes de parcelas cultivadas con arroz en el Sistema del Riego del Río Guárico.

	pH	MO ¹ %	CIC ² cmol/kg	Ca ----- mg/kg -----	Al	Arcilla %
Máximo	6,9	4,0	14,3	2811	38,9	55,2
Mínimo	3,5	1,7	0,7	50	2,9	9,2
Promedio	5,4	2,8	6,1	1204	13,1	32,4

¹MO: materia orgánica

²CIC: capacidad de intercambio catiónico

Cuadro 2. Análisis de fósforo inorgánico (mg/kg) de 38 muestras de suelo tomadas en el Sistema de Riego del Río Guárico.

	Olsen	Bray I	Mehlich III	PiR ¹	PiL ²	PiML ³	PiLL ⁴
Máximo	23,0	26,0	20,3	12,7	24,4	113,0	135,6
Mínimo	1,0	1,0	1,2	0,2	3,1	15,6	1,8
Promedio	7,7	6,3	6,5	1,1	9,4	50,5	33,1
DE ⁵	6,12	5,8	4,5	1,94	1,94	26,51	29,86

¹PiR: Resina

²PiL: Lábil

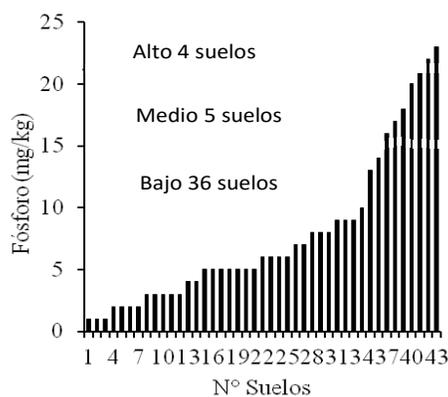
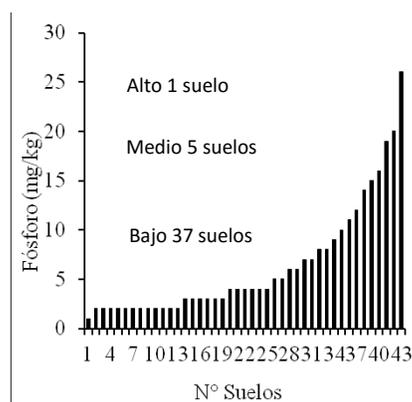
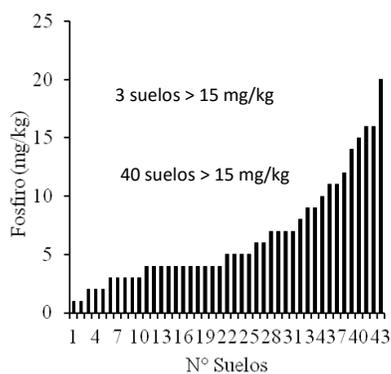
³PiM: Moderadamente lábil

⁴PiLL: Ligeramente lábil

⁵DE: Desviación estándar

Cuadro 3. Niveles de fósforo disponibles (mg/kg) en el suelo para los métodos de extracción de Olsen y Bray I.

Método	Bajo	Medio	Alto
Olsen	< 14	15 - 20	> 21
Bray I	< 13	14 - 22	> 23

**Figura 1.** Fósforo por Olsen en suelos cultivados con arroz.**Figura 2.** Fósforo por Bray I en suelos cultivados con arroz.**Figura 3.** Fósforo por Mehlich III en suelos cultivados con arroz.

Se debe ser muy cuidadoso al momento de hacer recomendaciones de fertilizantes con base a la información de diferentes métodos de extracción de P, debido a que no se disponen de datos de calibración de los métodos de análisis de P, actualmente en uso en el país, para arroz en condiciones de suelos inundados.

Las diferentes formas de fósforo inorgánico en el suelo permiten diferenciar entre aquellas fracciones disponibles para la planta y las lábiles (Tiessen y Moir, 1993). La fracción más abundante en promedio, en los suelos estudiados, fue la moderadamente lábil, 50,53 mg/kg extraída con NaOH, seguida de la ligeramente lábil 33,05 mg/kg con HCl 1N, luego la lábil 9,38 mg/kg con NaHCO₃ y, finalmente, la extraída con resina 1,14 mg/kg (Cuadro 2). Hernández y Bautis (2005) trabajando con suelos de sabana de Uverito mostraron valores de PiR y PiL parecidos a los encontrados en el presente trabajo.

Tiessen y Moir (1993) señalaron que las diferentes formas de fósforo inorgánico en el suelo permiten diferenciar entre aquellas fracciones disponibles para la planta y las lábiles. Bowman y Cole (1978) y Hedley *et al.* (1982) consideran que las fracciones PiR y PiL son formas disponibles. En los suelos del Sistema de Riego del Río Guárico existe un claro dominio de las fracciones lábiles sobre las disponibles (Cuadro 2), lo que quiere decir que existe una alta capacidad de reemplazo del P usado por la planta por las formas lábiles presentes en el suelo.

El PiR es considerado como la forma intercambiable libre ya que la resina no modifica químicamente la solución del suelo y, por otra parte, el bicarbonato usado para extraer el PiL sólo introduce pequeños cambios químicos que, de alguna manera, se asemejan a la acción de las raíces (Tiessen y Moir, 1993; Bowman y Cole, 1978; Hedley *et al.*, 1982), por lo cual estas dos pueden ser consideradas disponibles. La recuperación de Pi con resina y bicarbonato de sodio está más próxima a la extracción con Olsen; ésta solución usa bicarbonato de sodio, pero no podrían ser comparadas con la capacidad de Bray I o Mehlich III, porque se trata de soluciones con diferentes poderes de extracción.

Los coeficientes de correlación para Olsen y PiR, PiL, PiML y PiLL fueron altos y significativos ($P < 0,05$) 0,68; 0,95; 0,86 y 0,86, respectivamente. El P disponible determinado con Bray I también mostró un valor alto de correlación con PiL de 0,65, pero los coeficientes para PiR, PiML y PiLL fueron muy bajos. El P con Mehlich III no correlacionó significativamente con las fracciones lábiles de P.

Los datos de P por Olsen se ajustaron a un modelo de regresión lineal donde PiR, PiL, PiML y PiLL se tomaron como variables independientes. El coeficiente de determinación para PiR fue el más bajo 0,47; seguido por 0,73 para PiML y PiLL y el más alto de 0,90 para la fracción PiL (Figuras 4, 5, 6 y 7). Este comportamiento de la solución extractora de Olsen, formada por bicarbonato de sodio 0,5 M, refleja mejor el contenido de las fracciones disponibles y lábiles en el suelo que las otras dos soluciones, Bray I y Mehlich III.

Los análisis de fósforo en los suelos muestreados en el Sistema del Río Guárico indican que son deficientes en este nutriente y que es necesario el uso de fertilizante fosfatado; sin embargo, se debe ser cauteloso porque se trata de métodos de análisis no calibrados para arroz en suelos inundados. De acuerdo con los resultados obtenidos se podría decir que la mejor

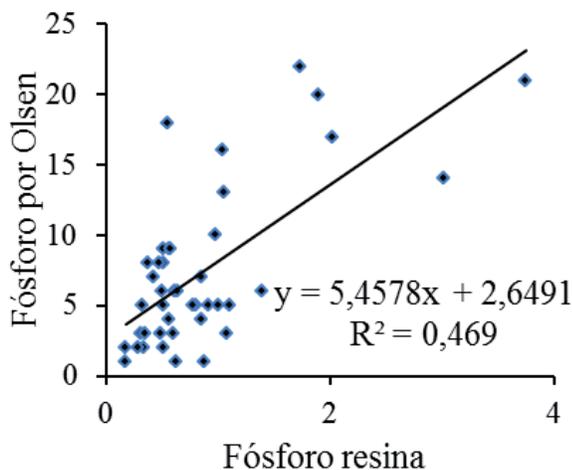


Figura 4. Relación P Olsen con P resina mg/kg

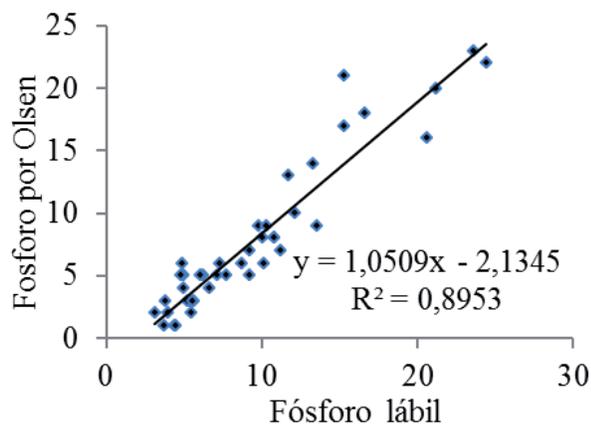


Figura 5. Relación P Olsen con P lábil mg/kg.

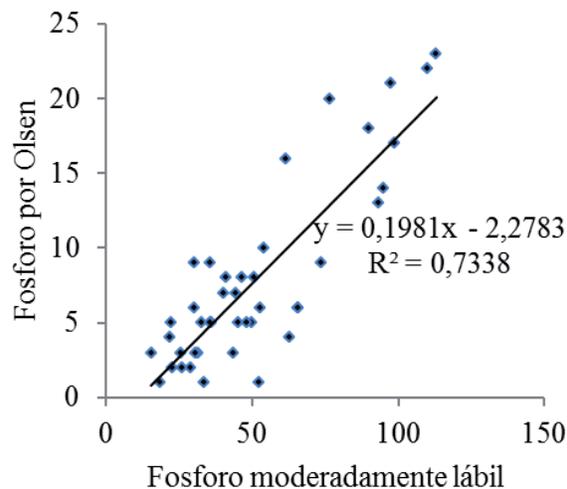


Figura 6. Relación P Olsen con P Moderadamente lábil mg/kg.

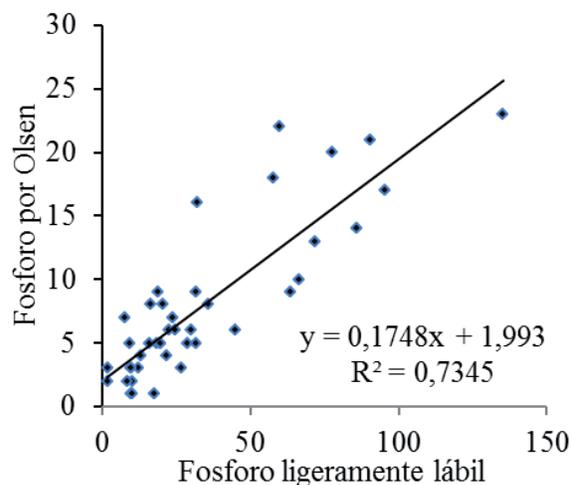


Figura 7. Relación P Olsen con P ligeramente lábil mg/kg.

estimación del P disponible en el suelo está dada por el método Olsen, que mostró estar altamente relacionado con las fracciones de fósforo inorgánico disponibles y lábiles, determinadas con el método de fraccionamiento de Tiessen y Moir (1993).

CONCLUSIONES

Una alta proporción de los suelos, sembrados con arroz en el Sistema de Riego del Río Guárico, resultaron ser deficientes de fósforo. El fósforo disponible, determinado por Olsen, mostró una alta correlación con las fracciones de P lábiles.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue posible gracias al soporte económico de FONACYT y al apoyo oportuno recibido de la Fundación CIEPE, del CDCH-UC y de la Asociación de Productores de arroz del estado Guárico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barnhisel, R.; P. Bertsch. 1982. Aluminum. *In*: Page, A.L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Book series No 9.* ASA, SSSA. Madison, EUA. pp. 275-296.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
- Bowman, R.A.; C.V. Cole. 1978. Transformations of organic phosphorus substrate in soils evaluated by NaHCO_3 extraction. *Soil Sci.* 125: 49-54.
- Bray, R.; L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- Heanes, D. 1984. Determination of total organic C in soil by an improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1179-1213.
- 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.
- Hernández Valencia, I.; M. Bautis. 2005. Cambios en el contenido de fósforo en el suelo superficial por la conversión de sabanas en pinares. *Bioagro* 17: 69-78.
- López, I.; N. Alfonso; N. Gómez; M. Navas; P. Yáñez. 2008. Manual de alternativas de recomendaciones de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Serie B, No 18. Maracay, Venezuela. 380 p.
- Mehlich, A. 1953. Determination of P, K, Ca, Mg, and NH_4 . Mineo. Soil Test Div. North Carolina Dept. Agri. Raleigh, EUA. Disponible en <http://www.ncagr.gov/agronomi/pdf/mehlich53.pdf>. Consultado: 2/11/2015.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 15: 1409-1416.
- Microsoft. 2010. Excel. Microsoft Corp. Sacramento, EUA.
- Murphy, J. ; J. Riley. 1962. A modified single method for determination of phosphates in natural waters. *Anal. Chem. Act.* 27:31-36.
- Olsen, S.R.; C.V. Cole; E.S. Watanabe; L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Cir. 939. Washington, EUA.
- Páez, O. 2004. El cultivo de arroz en Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Serie Manuales de Cultivos. INIA N° 1. Maracay, Venezuela. 202 p.
- 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.D. Beg; O. Colmenares; E. Meléndez; P. Marba; 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.; D. Morales. 1989. Comparación de cuatro métodos de análisis del fósforo del suelo para estimar el requerimiento de P_2O_5 por el tomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agron. Trop.* 39: 79-94.
- 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.; J. Tenias; L. de Silva; T. Rodríguez; A. Chirinos. 1989. Comparación de cuatro métodos de análisis del con la respuesta del maní a la fertilización con fósforo. *Agron. Trop.* 39(1-3): 5-21.
- Ramírez, R.; D. Morales; E. Álvarez. 1990. Calibración de cuatro métodos de análisis del fósforo del suelo para predecir la respuesta del melón (*Cucumis melo*) a la fertilización fosfatada. *Agron. Trop.* 40: 1-3.
- Steel, R.G.D; J.H. Torrie. 1960. Principles and Procedures of Statistic, with special reference to biological sciences. McGraw-Hill Book Company. New York, EUA. 481 p.
- Tiessen, H.; J. Moir. 1993. Characterization of available P by sequential extraction. *In*: Carter, M.R. (Ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis.* Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. Boca Raton, EUA. pp. 75-86.
- Thomas, G. 1982. Exchangeable Cations. *In*: Page A.L. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Book series No 9* ASA, SSSA. Madison, EUA. pp. 159-164.