

Evaluación de las diferentes formas de potasio en suelos de la zona platanera de Córdoba (Colombia)

Evaluation of the different forms of potassium in soils of plantain plantation zone of Córdoba (Colombia)

Andrea Ramos¹, Jorge Durango², Garnier Grandett³, Basilio Díaz⁴ y José L. Barrera⁵

Resumen: El potasio es uno de los principales nutrientes que necesita el cultivo de plátano (*Musa AAB* Simmonds), por lo tanto, es importante conocer las condiciones que presentan los suelos de las zonas productoras del departamento de Córdoba (Colombia) para proveer este nutriente a las plantas en el corto y largo plazo. Las evaluaciones se realizaron en diferentes sitios del municipio de Moñitos con el objetivo de evaluar las formas de K en el suelo y la relación existente entre cada una de ellas. Los métodos utilizados para estas determinaciones fueron: K soluble, por extracción a partir de pasta de saturación; K intercambiable, por extracción con acetato de amonio; K no intercambiable o K interlaminar, por extracción con HNO₃; K estructural, por diferencia entre K total y las otras formas de K, y K total, por el método de digestión húmeda con HF. El resultado de este estudio mostró altos contenidos de K en los suelos CM-CA y PM de esta zona productora de plátano, y una buena fuente de reserva para el mediano plazo para los suelos de colina CM-CA y baja para los suelos PM (terrazas marinas). Las formas menos disponibles –K interlaminar y K estructural– representaron cerca de 90% del K en el suelo, principalmente en los suelos CM-CA, donde los valores encontrados fueron altos.

Palabras claves adicionales: extractantes químicos, nutrientes, plátano

Abstract: Potassium is one of the principal nutrients in cultivation of plantain *Musa AAB* Simmonds. Therefore, it is important to know the conditions in soils of productive zones of Córdoba in order to provide this nutrient to the plants in short and long terms. The evaluation were made in different sites of Moñitos municipality with the objective to evaluate the K forms in soil and the existent relation among them. The methods used for these determinations were: soluble K (extraction from saturation pasta), exchangeable K (extraction with ammonium acetate), non exchangeable K, interlaminar K (extraction whit HNO₃), structural K (difference between total K and other K forms), total K (humid digestion with HF). The result of this study showed high contents of K in soils CM-CA and low ones in soils PM of plantain productive zone, and a good reserve source of K in medium term for soils CM-CA and low one for soils PM. The less available forms (interlaminar and structural K) represented about 90% K in soil principally in the zone CM-CA, where the estimated values were high.

Additional key words: chemical extractants, nutrients, plantain

Introducción

EN EL DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA (Colombia) el área sembrada con plátano se ha incrementado progresivamente en la última época, contando con una proyección de 32.993 ha. En los municipios de Moñitos, Loricá,

Los Córdoba, Puerto Escondido y San Bernardo del Viento, los más productores de la zona, este cultivo se ha explotado durante muchas décadas como monocultivo en forma intensiva y se ve afectado por problemas fitosanitarios –plagas y enfermedades– y mal manejo agronómico, destacándose los planes insuficientes de

Fecha de recepción: 14 de marzo de 2006

Aceptado para publicación: 30 de noviembre de 2006

¹ Químico, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia). e-mail: andreamosh@gmail.com

² Químico, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia). e-mail: jmariodp@gmail.com

³ Docente, Departamento de Ingeniería Agronómica y Química, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia).

⁴ Docente, Departamento de Ingeniería Agronómica y Química, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia). e-mail: bdiaz@sinu.unicordoba.edu.co

⁵ Docente, Departamento de Ingeniería Agronómica y Química, Universidad de Córdoba, Montería (Colombia). e-mail: jlbarrera@sinu.unicordoba.edu.co

nutrición, que se reflejan en algunas zonas como deficiencias nutricionales de las plantas (Corpoica, 2001).

El K puede estar en la solución del suelo, adsorbido en la superficie de las arcillas, fijado entre la capa de arcilla y en los minerales primarios del suelo, haciendo parte del enrejado cristalino. Todas estas formas se encuentran en equilibrio en el suelo, a través de los procesos de absorción-desorción, fijación, inmovilización, meteorización, originando cambios de una forma a otra y movimientos de una forma a otra (Hoa, 2003).

La determinación de las diferentes formas en que se encuentra el K en el suelo es de gran interés, ya que no existe una metodología de extracción que se utilice de manera general (Bohn *et al.*, 1993); además, la cantidad de K que se obtiene depende de la solución extractora que se utilice en cada procedimiento y de la facilidad con que éste se encuentre disponible en el suelo para las plantas. En razón a que los estudios realizados en esta zona de Córdoba –una de las principales productoras de plátano del país– son escasos, se realizó esta investigación para conocer los contenidos de K en los suelos de esta región platanera.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en dos etapas: una en campo, en los suelos cultivados de plátano (*Musa AAB* Simmonds) en el municipio de Moñitos, teniendo en cuenta las distintas unidades de suelo existentes en esta zona de Córdoba: a) suelos de colina (CM-CA), que poseen predominio de arcillolitas y están clasificados principalmente como Inceptisoles y, en menor proporción, como Vertisoles y b) terrazas marinas (PM), suelos con variación granulométrica clasificados como Inceptisoles. Estas unidades están basadas en un sistema geológico y geomorfológico incluido en el Plan de ordenamiento territorial del Municipio de Moñitos (Alcaldía Municipal de Moñitos y Costa Atlántica Ltda., 2001).

Se utilizó un muestreo al azar estratificado, en el que cada unidad de suelo constituía un estrato y cada muestra estuvo conformada por cuatro submuestras tomadas en un área de 10 m², a una profundidad de 0 a 20 cm en cada uno de los puntos seleccionados, en época lluviosa y seca. Una vez tomadas las muestras –de 2 kg, cada una–, se empacaron en bolsas de polietileno y se rotularon para su transporte inmediato.

La etapa de análisis se realizó en el laboratorio de suelos y aguas para riego de la Universidad de Córdoba,

en Montería, y consistió inicialmente en la homogenización de las muestras, a través de secado y tamizado en una malla de 2 mm; la realización de los análisis de caracterización fisicoquímica se llevaron a cabo utilizando las metodologías recomendadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1990). Se hizo un estudio de las propiedades fisicoquímicas de 24 muestras recolectadas en la zona de estudio y, luego, los análisis necesarios para observar el comportamiento de las muestras en cada unidad de suelo. Se seleccionaron las muestras más representativas, de acuerdo a los resultados obtenidos en el muestreo previo, y en la cantidad de suelo cultivado con plátano.

Para la determinación de las diferentes formas de K se utilizaron los siguientes métodos: K soluble, por extracción a partir de pasta de saturación; K intercambiable, por extracción con acetato de amonio 1 N pH 7,0 (Sadzawka, 1990), pH 8,2 y pH 8,0, cloruro de sodio 1 N; K no intercambiable, o interlaminar, por extracción con HNO₃ 1 N en ebullición (Knudsen *et al.*, 1982); K estructural, por diferencia entre K total y las otras formas de K en el suelo, y K total, por el método de digestión húmeda con HF (Page *et al.*, 1982). El proceso de cuantificación de K se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 3110, en el modo de emisión. Para el análisis de las diferentes formas de K en el suelo se realizaron pruebas de hipótesis y análisis de correlación con la ayuda de softwares estadísticos (Addinsoft Xlstat, 2006).

Resultados y discusión

Caracterización química de los suelos

La tabla 1 muestra las propiedades fisicoquímicas de los suelos de la zona platanera del municipio de Moñitos (Córdoba), divididos en dos grandes unidades, de acuerdo a su ubicación geomorfológica. Se observaron: pH moderadamente ácidos a neutros; contenidos medios de materia orgánica (2-3%); bajos contenidos de azufre y fósforo en los suelos CM-CA (menos de 20 ppm y entre 0-20 ppm, respectivamente), notándose la influencia del arrastre por las lluvias desde las colinas hasta las zonas de planicie, expresada por un leve aumento en la concentración en éstas. Los cationes intercambiables se encontraron dentro de los límites aceptables, según lo reportado por el Instituto Colombiano Agropecuario (1992), con contenidos de calcio y magnesio alrededor de los 20 ppm; los valores mayores se hallaron en las zonas CM-CA. En cuanto a los elementos menores, los

Tabla 1. Resultados de los análisis de caracterización fisicoquímica de las muestras de suelo del municipio de Moñitos, en la zona bananera de Córdoba (Colombia).

Muestra	pH	mo	S	P	Ca	Mg	Na	cic	Cu	Fe	Zn	Mn	ce	Arena	Arcilla	Limo
		(%)	(ppm)	(ppm)												
CM-CA1	6,7	1,89	5,1	12,0	13,5	10,0	0,3	24,7	0,8	10,0	3,6	83,2	0,357	38,2	12,5	49,3
CM-CA 2	6,3	1,75	7,7	3,5	19,0	11,5	0,4	31,9	0,4	7,2	3,6	50,4	0,337	36,7	21,1	42,2
CM-CA 3	7,1	3,96	5,1	45,0	25,0	12,0	0,3	38,8	0,4	2,0	3,6	36,8	0,290	49,6	18,2	32,2
CM-CA 4	6,4	2,24	7,7	13,2	16,0	20,0	0,3	37,8	0,8	23,2	3,2	43,6	0,288	53,9	16,8	29,3
PM1	7,6	2,41	62,0	59,8	21,0	8,0	0,8	30,2	0,8	18,0	3,6	58,0	1,047	29,6	31,1	39,3
PM2	6,8	2,75	28,4	62,1	13,5	14,0	0,4	28,6	0,8	24,8	4,0	56,0	0,408	23,9	22,5	53,6
PM3	7,3	2,75	28,4	5,2	12,0	11,0	0,3	23,9	1,2	62,0	5,2	50,8	0,577	32,5	13,9	53,6
PM4	6,5	1,89	48,9	0,7	16,0	6,5	0,3	23,3	0,8	17,2	6,4	69,8	0,262	28,2	15,3	56,5
Media	6,7	2,43	19,3	19,71	15,7	11,1	0,3	29,2	0,7	21,2	4,3	60,4	0,389	36,6	18,9	44,5
DS	0,4	0,79	15,7	19,98	3,6	3,9	0,2	5,6	0,2	18,0	1,6	22,0	0,191	9,8	5,6	9,7
CV	5,9	32,69	81,5	101,32	23,1	35,5	39,8	19,3	37,8	84,9	37,6	36,5	49,11	27,0	30,0	22,0

CM-CA, suelos de colina; PM, terrazas marinas; DS, desviación standard; CV, coeficiente de variación; cic, capacidad de intercambio catiónico efectiva; ce, conductividad eléctrica.

contenidos estuvieron en el rango de bajo a medio; estos límites están de acuerdo con los reportados por el Instituto Colombiano Agropecuario (1992).

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron variaciones entre los parámetros fisicoquímicos que más afectan la dinámica del K en el suelo y la disponibilidad de este elementos para las plantas, como son: el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de Ca y Mg entre las unidades geomorfológicas analizadas, como se puede observar en la tabla 1. Las pruebas estadísticas *t*-student y *F*-Fisher realizadas para comparar las propiedades de las dos unidades de suelo estudiadas se encuentran en la tabla 2 y confirmaron las diferencias de las propiedades; para el resto de los parámetros las diferencias no fueron

Tabla 2. Pruebas de significancia para las propiedades fisicoquímicas de los suelos CM-CA y PM del municipio de Moñitos, en la zona bananera de Córdoba (Colombia).

Variable CM-CA vs. PM	<i>t</i> - observado	<i>F</i> - observado
pH	0,098	2,203
% MO	2,124*	1,153
Ca	2,959*	2,071
Mg	1,855	0,884
cic	3,095*	0,902
ce	0,431	0,963
S	1,951	1,504

MO, materia orgánica; cic, capacidad de intercambio catiónico; ce, conductividad eléctrica.

* Diferencias significativas entre CM-CA y PM con una confianza 95%. *t*-crítico, 2,074; *F*-crítico 3,474.

significativas. Por la importancia que tienen estas propiedades para la dinámica del K se estudiaron como suelos diferentes.

Formas de K en el suelo

La cantidad de K intercambiable en las muestras difiere según las soluciones utilizadas para extraerlo del suelo, como lo evidencian los resultados en la tabla 3: las soluciones extractoras con ion índice sodio extrajeron mayor cantidad de K que las soluciones con amonio como ion índice; con la solución extractora de acetato de sodio 1 N pH 8,0 se obtuvieron valores muy altos y mayor similitud con el resto de las metodologías de extracción estudiadas. Esto se confirmó al comparar las medias de las cantidades de K intercambiable en los suelos a través del test estadístico *t*-student, mostrando diferencias significativas con respecto a la metodología de acetato de amonio 1 N pH 7,0.

En el estudio realizado por Rojas *et al.* (2000) en suelos de la región andina, también se obtuvieron resultados diferentes con cada metodología implementada para extraer esta forma de K, lo que demuestra que el comportamiento de las metodologías utilizadas para extraer K intercambiable depende de las características fisicoquímicas de los suelos que se estudien, por lo que es necesario saber en qué casos se puede estar sobrestimando los contenidos.

En las unidades CM-CA las concentraciones promedios fueron de 1,3 meq de K por 100 g de suelo y en los sue-

Tabla 3. Potasio intercambiable (meq en 100 g de suelo) por cada metodología de extracción evaluada, en suelos de Moñitos, en la zona bananera de Córdoba (Colombia).

Metodología Muestra	Acetato de amonio 1 N pH 7,0		Acetato de amonio 1 N pH 8,2		Acetato de sodio 1 N pH 8,0		Cloruro de sodio 1 N	
	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa
CM-CA1	1,54	0,87	1,63	0,92	2,22	1,25	1,76	0,99
CM-CA3	1,40	1,10	1,48	1,17	2,02	1,58	1,60	1,25
CM-CA7	1,56	1,55	1,65	1,64	2,25	2,23	1,78	1,77
CM-CA10	1,01	1,46	1,07	1,55	1,45	2,10	1,15	1,66
PM1	0,54	0,44	0,51	0,42	0,78	0,63	0,72	0,59
PM2	0,68	0,68	0,65	0,65	0,98	0,98	0,91	0,91
PM7	0,41	0,55	0,39	0,52	0,59	0,79	0,55	0,74
PM9	0,68	0,55	0,65	0,52	0,98	0,79	0,91	0,74
Media	0,98	0,90	1,00	0,92	1,41	1,29	1,17	1,08
DS	0,44	0,40	0,49	0,45	0,63	0,58	0,45	0,41
*t-calculado				0,153		2,165		1,206
F-calculado				0,796		0,481		0,941

CM-CA, suelos de colina; PM, terrazas marinas; DS, desviación standard.

*t-calculados entre acetato de amonio 1N pH 7.0 y las metodologías de extracción restantes. 15 GL confianza 95%.

F-crítico, 2,042 y F-crítico, 2,862.

los PM, de 0,6 meq por 100 g de suelo; en estos suelos, las cantidades de K intercambiable fueron altas, según lo reportado por Garavito (1979), para quienes los valores por encima de 0,3 meq son valores altos de K. Los suelos de las zonas CM-CA y PM presentaron diferencias significativas en los contenidos de K intercambiable, tanto en las épocas secas como en las de lluvias.

Con respecto a las épocas de muestreo, se presentaron pequeñas variaciones en los contenidos de K intercambiable: en el periodo de lluvias, el promedio fue 0,98 meq de K por 100 g de suelo, mientras que en el periodo seco fue 0,90 meq de K por 100 g de suelo; esta situación es consistente con lo reportado por Roldán *et al.* (2004), quienes la atribuyen a cambios en la humedad del suelo. Este comportamiento refleja un flujo de nutrientes desde las zonas altas CM-CA hacia las zonas de playa PM, el paso de K no disponible a K intercambiable con facilidad.

En la tabla 4 se muestran los contenidos de las diferentes formas de K en el suelo.

Para la época seca, el K soluble se encontró en concentraciones cercanas a $0,50 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ ($19,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), observándose en los suelos pertenecientes a las zonas CM-CA las mayores cantidades, en promedio, de esta forma de K; para la época lluviosa se encontraron niveles cercanos a $0,39 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ ($15,21 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), notándose

en esta época una disminución de los contenidos para ambas unidades de suelo. Los contenidos encontrados para estos suelos variaron de medios a bajos, según lo establecido por Zhu y Luo (1993), que consideran baja una concentración de K del orden de $0,51 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$; sin embargo, están por encima de los encontrados por Silva *et al.* (2001) en suelos del Valle del Cauca y Rojas *et al.* (2000) en suelos del Quindío.

La determinación del K no intercambiable se discriminó en K recientemente fijado y K estructural. El K recientemente fijado, que se encuentra entre las capas de las arcillas 2:1 de estos suelos, presentó valores entre 1,01 y 4,39 meq por 100 g suelo, con un promedio de 2,13 meq por 100 g suelo, resultado de los altos contenidos encontrados para la unidad CM-CA, que, de acuerdo a Amiri (1995), posee una gran reserva de este nutriente, considerando como buenos contenidos de K interlaminar niveles superiores a 2,56 meq K/100 g suelo. Por su parte, la zona PM mostró contenidos bajos –alrededor de 1,6 meq por 100 g de suelo–, a causa de las propiedades fisicoquímicas de esta unidad. Esta forma de K se encuentra principalmente en la parte más soluble ó mas susceptible al movimiento hacia las formas intercambiable y/o soluble, como lo indica el que la mayor parte –en promedio, el 70%– se haya solubilizado en el menor tiempo con la solución extractora, mostrándose la facilidad que tiene el K en estos suelos para pasar a formas más disponibles para la planta.

Tabla 4. Formas de potasio en suelo muestreado de Moñitos, en la zona bananera de Córdoba (Colombia), en dos épocas del año: época seca y época lluviosa.

Muestras	Época seca				Época lluviosa			
	K soluble	K interlamina	K estructural	K total	K soluble	K interlamina	K estructural	K total
	meq · L ⁻¹	meq por 100 g suelo			meq · L ⁻¹	meq por 100 g suelo		
CM-CA1	0,63	2,39	53,05	57,04	0,25	3,57	51,35	55,81
CM-CA2	0,66	1,38	37,81	40,66	0,39	2,28	39,32	42,74
CM-CA3	0,49	2,5	54,59	58,7	0,40	4,39	53,82	59,8
CM-CA4	0,36	2,67	49,37	53,09	0,89	2,3	44,26	48,11
PM1	0,28	1,1	22,16	23,83	0,21	1,53	22,9	24,89
PM2	0,69	1,01	23,37	25,13	0,24	1,84	29,26	31,8
PM3	0,29	1,18	21,51	23,13	0,32	1,8	27,39	29,78
PM4	0,58	1,94	35,58	38,26	0,42	2,1	30,96	33,65
Media	0,50	1,77	37,18	39,98	0,39	2,48	37,41	40,82
DS	0,16	0,64	13,08	14,06	0,20	0,92	10,80	11,99
CV	0,32	0,36	0,35	0,35	0,52	0,37	0,29	0,29

DS, desviación standard; CV, coeficiente de variación.

La fracción del K no intercambiable correspondiente al K estructural presentó contenidos altos que estuvieron cerca de los 37 meq por 100 g suelo (14,346 mg · kg⁻¹ suelo), similares a los reportados por Bedrossian y Signh (2004) para suelos cultivados con algodón en Australia, los mayores valores se registraron para la unidad CM-CA. Los contenidos de K en la estructura de los minerales primarios representaron entre 86% y 95% de los contenidos totales de este nutriente en el suelo, mostrando que posee grandes cantidades de material parental sin meteorizarse. Los contenidos de estas formas no disponibles para las plantas marcan gran diferencia entre los dos suelos estudiados, lo que se puede corroborar con las pruebas *t*-student (*t*-calculado: 5,23 - *t*-crítico).

Las correlaciones entre las diferentes formas de K presentes en el suelo para las diferentes épocas de muestreo mostraron la correlación existente entre las formas de K no disponibles entre sí (K estructural - K interlamina), con un coeficiente de $r = 0,91$ para ambas épocas de muestreo, y entre el K intercambiable con el K estructural y el K interlamina, con $r = 0,87$ y $0,70$, respectivamente. Las demás correlaciones fueron bajas, indicando que las formas de menor disponibilidad para la plantas son las responsables de mantener los niveles de K intercambiable en estos suelos y corroborando que el paso fácil de K interlamina que se observó en este estudio es de gran influencia para la forma disponible para las plantas.

Las correlaciones realizadas con las cantidades de arcillas y arena en los suelos fueron en su mayoría

bajas para todas las formas de K, con excepción del K interlamina y el K estructural, que presentaron correlaciones medias con la cantidad de arcilla en estos suelos ($r = 0,82$ y $0,80$, respectivamente), lo que muestra que la mayor parte del K aún está en la estructura mineral de los suelos sin meteorizar, también denominados ‘jóvenes’ (Alcaldía de Moñitos y Costa Atlántica Ltda., 2001). La correlación entre el K interlamina y la arcilla del suelo es baja en las dos épocas de muestreo: 0,42 para la época de lluvias y 0,55 para la seca; en época seca se notaron mejores regularidades, por los procesos de encerramiento de iones dentro del enrejado cristalino. Lo anterior es muy interesante para estos suelos, ya que la mayor dependencia de esta clase de K es con las arcillas tipo 2:1, deduciéndose que, a pesar de las buenas cantidades de esta forma de K en las zonas CM-CA, existe un factor variable respecto a las cantidades de arcillas tipos 2:1 que posean, las cuales deben ser bajas en comparación con las demás clases de arcillas.

Conclusiones

Los suelos cultivados con plátano en la zona productora de Córdoba varían sus propiedades fisicoquímicas de acuerdo a su unidad geomorfológica, dando a cada unidad características diferentes para la dinámica del K.

En general, los suelos de esta zona presentan altos contenidos de K, pero en su gran mayoría se encuentra en las formas menos disponibles para las plantas.

Las metodologías de extracción utilizadas –exceptuando la del acetato de sodio 1 N pH 8,0– extrajeron cantidades de K similares a las obtenidas con acetato de amonio 1 N pH 7,0, método utilizado en los laboratorios de análisis a nivel mundial.

La mayor parte del K interlaminaar de los suelos CM-CA y PM se puede convertir en una fuente mediata de K intercambiable y soluble, necesitando los suelos de la zona PM una mayor intervención con fertilizante, ya que sus reservas son pobres.

Agradecimientos

Al laboratorio de suelos y aguas para riego de la Universidad de Córdoba, Montería, y al proyecto de investigación “Evaluación e implementación de alternativas de producción orgánica en el cultivo de plátano (*Musa* AAB) y banano (*Musa* AAA) en las zonas productoras de Córdoba y Urabá Antioqueño”, financiado por el Centro de Investigaciones de la Universidad de Córdoba.

Literatura citada

- Alcaldía de Moñitos y Costa Atlántica Ltda. 2001. Generalidades urbano-rurales, componente urbano, cabecera municipal de Moñitos, esquema de ordenamiento territorial del Municipio de Moñitos. Moñitos, Córdoba (Colombia). 873 p.
- Amiri, R. 1995. Forms of potassium and clay mineralogy in some paddy soils of northern Iran. *Potash Rev.* 02, 1-12
- Bedrossian, S. y S. Balwant. 2004. Potassium adsorption characteristics and potassium forms in some New South Wales soils in relation to early senescence in cotton. *Australian J. Soil.* 42(7), 747-753.
- Bohn, H.L., B.L. McNeal y G.A. O'Connor. 1993. Química de suelos. Limusa editores, México DF. 370 p.
- Conti, M.E. 2000. Dinámica de la liberación y fijación de K en el suelo. *Archivos Agronómicos* N° 4. Inpofos - Cono Sur.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. 2001. Diagnóstico de competitividad de la cadena hortifrutícola. Núcleo plátano. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Centro de investigaciones Turipaná, Córdoba.
- Garavito, N.F. 1979. Propiedades químicas de los suelos. 2ª edición. Bogotá. pp. 275-288.
- Hoa, N. 2003. Soil potassium dynamics under intensive rice cropping. A case study in the Mekong Delta, Vietnam. Doctoral thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 216 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Manual de asistencia técnica N° 25. 5ª edición. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá. 64 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. 1990. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 5ª edición. Olarte Editor, Bogotá. 345 p.
- Knudsen, D., G.A. Peterson y P.F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. pp. 225-246. En: Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.). *Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties. Part 2.* American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Miller, J.C. y J.N. Miller. 1993. Estadística para química analítica. Addison-Wesley Iberoamericano. 210 p.
- Roldán, M.F., C.A. Venialgo y N.C. Gutiérrez. 2004. Potasio disponible, de reserva y energía de remplazamiento en suelos y el nivel foliar en *rye-grass*. Universidad Nacional del Nordeste (Argentina). *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* A-072, pp. 1-3.
- Rojas, L.A., L.M. Chacón y E.L. López. 2000. Mineralogía de suelos de clima medio de la región andina (Quindío) y su relación con la disponibilidad de potasio en suelos cultivados con plátano. *Suelos Ecuatoriales* 30(2), 141-146.
- Sadzawka, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias La Platina N°16, Estación Experimental La Platina, Chile. 130 p
- Silva, A.F., G.A. Dávila y A. Domínguez. 2001. Disponibilidad y fraccionamiento de potasio en suelos cultivados con cítricos (naranja ‘Valencia’) del municipio de Caicedonia, Valle del Cauca. *Suelos Ecuatoriales* 31(2), 152-160.
- Zhu, Y.G. y J.X. Luo. 1993. Release of non-exchangeable soil K by organic-acids. *Pedosphere* 3(3), 269-276.