

EFFECTO DE LA APLICACION FRACCIONADA DEL FERTILIZANTE POTASICO EN UN ANDISOL BAJO CULTIVO DE MAIZ Y FRIJOL EN COTO BRUS, COSTA RICA^{1/*}

*Carlos Henríquez ***
*Floria Bertsch ***

ABSTRACT

Effect of split potassium fertilization to a maize-bean rotation in an Andisol of Coto Brus, Costa Rica. A experiment was carried out in the district of Coto Brus, Costa Rica, to quantify maize and bean yields as a function of split applications of K during two successive crop cycles. The soils of the experimental area developed from recent volcanic ashes and classified a Typic Hapludand. Available K variation during the experiment was measure using the modified Olsen solution. Potassium was applied to the corn and the residual effect was measured in the bean crop. The treatment compared were: 0 kg K/ha/year; 100 kg K/ha/year at planting; 40% at planting and 60% days after planting of 120 kg K₂O/ha/year; and 40% at planting, 30% 21 days after plantig, 30% 42 days after planting of 120 kg K₂O/ha/year. In additon 250 kg P₂O₅ ha/year and 150 kg N/ha/year were applied at planting of the maize and beans crops. A initial soil K concentration of 0.15 cmol(+)/L increased 0.26 cmol(+)/L as a result of burning the original vegetation when the experiment started; after two year and four successive crops available K decreased to 0.10 cmol(+)/L when K was no applied. In average, plots that recived K ended with 0.17 cmol(+)/L without statistlcal differences due the K fractionation. In spite of the high initial concentration of K, a good response to K application was observed in the two crops. The yield increase detected due to the application was 35% for maize and beans combined. Not significant differences were noted between different forms of K application.

INTRODUCCION

La información disponible sobre el K en el mundo es bastante amplia, sin embargo, hay poco conocimiento sobre el manejo específico y la

dinámica de este elemento en sistemas de producción agrícola en Costa Rica. Estos conocimientos adquieren importancia especialmente cuando las cantidades de K disponibles en el suelo no son suficientes para alcanzar determinados rendimientos en un ciclo de cultivo (Egawa, 1980).

La dinámica de los nutrientes es modificada no sólo por las condiciones externas como clima y manejo sino también por el tipo de suelo (Cooke, 1986; Quememer, 1986), por lo que estudios a nivel de grupos de suelos ayudan a obtener conocimientos específicos de gran valor. La literatura menciona que la mayoría de los estudios relacionados con este tema, se han realizado en el trópico en Oxisoles y Ultisoles (Ritchey, 1979;

1/ Recibido para publicación el 30 de noviembre de 1993.

* Parte del Proyecto de tesis de maestría del primer autor. Proyecto financiado por el Potash and Phosphate Institute, la Comunidad Económica Europea y la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

** Centro de Investigaciones Agronómicas, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Souza *et al.*, 1979; Name *et al.*, 1990) en tanto que en otros órdenes como los Andisoles, se conoce poco al respecto.

La recomendación más común para la fertilización potásica en cultivos anuales, ha sido la aplicación de la dosis completa a la siembra. En investigaciones recientes se han encontrado datos en favor de una aplicación fraccionada del fertilizante potásico para cultivos tales como trigo, caña de azúcar, té, papaya y otros (Tandon y Sekhon, 1988).

El objetivo principal de la aplicación fraccionada en la fertilización de cualquier elemento, es mejorar su eficiencia tanto económica como de absorción. Con ello se pretende evitar fenómenos que disminuyen la disponibilidad de los nutrientes a las plantas debido a procesos de fijación y precipitación o bien por pérdidas del sistema por lixiviación o erosión. Para efectuar el fraccionamiento de cualquier fertilizante, es básico el entendimiento de las características del suelo, la fisiología del cultivo y otros factores externos al sistema.

Una de las características más importantes del suelo es la capacidad de retención de nutrientes en la fracción arcillosa. Es ampliamente conocido el proceso de fijación y liberación de K en materiales arcillosos del tipo 2:1 favorecido por procesos de humedecimiento y secado alternos (Hobt, 1978). En suelos derivados de cenizas volcánicas, se ha señalado el fenómeno de fijación preferencial del K por parte de los materiales amorfos como la alofana en lugares denominados intersticios (Sticher, 1972).

En el cantón de Coto Brus existen importantes áreas agrícolas ubicadas sobre suelos originados de materiales volcánicos eyectados por el volcán Barú de Panamá. Estos suelos principalmente por su naturaleza mineralógica y por otras características externas, presentan niveles bajos de K y de bases en general.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación fraccionada de los fertilizantes potásicos en condiciones de suelos volcánicos con bajos contenidos disponibles de este elemento, sobre el rendimiento de maíz y frijol en cultivo sucesivo y sobre la fracción de K disponible en el suelo.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación

El experimento se ubicó en el Distrito de San Vito, cantón de Coto Brus, aproximadamente

a 1000 msnm, con un régimen de humedad údico. Se eligió un suelo perteneciente al orden Andisol previa descripción y clasificación del mismo.

Cultivos

Se utilizó maíz (cv. Tico V7) y frijol (cv. Talamanca) como cultivos indicadores, sembrados a espeque, a 0,6 X 0,3 m, y en ciclo sucesivo y alterno. Se cumplió con un total de 4 ciclos en 2 años. La unidad experimental fue una parcela de 12 m², dispuesta en un diseño de bloques completos al azar repetido 3 veces.

Tratamientos y época de aplicación

Los tratamientos consistieron en la aplicación espequeada del fertilizante potásico en diferentes épocas durante el ciclo de cultivo: a la siembra y fraccionado en 2 y 3 aplicaciones. La aplicación fue siempre realizada en el maíz y se evaluó su efecto residual sobre el frijol (Cuadro 1). Se utilizó KCl (60% de K₂O) como fuente fertilizante.

Las dosis de fertilizante potásico que se presentan en el Cuadro 1, fueron definidas con base en los siguientes criterios: a) cantidad del elemento removida por el maíz para obtener un rendimiento específico esperado de 3 t/ha; b) las cantidades de K disponible detectadas en el análisis inicial de suelo, expresadas en kg/ha; y c) un factor de eficiencia de fertilización estimado para la zona, de 70%.

Los tratamientos de aplicación fraccionada de K fueron seleccionados de acuerdo a la etapa de mayor requerimiento y asimilación de K en el cultivo (maíz); cada uno de los tratamientos de aplicación fraccionada sumaron al final del ciclo cantidades iguales al tratamiento con aplicación completa a la siembra (Cuadro 1).

Luego de cosechado cada cultivo, se realizaron muestreos de suelo para cuantificar el K disponible. Las muestras de suelo fueron procesadas y analizadas con la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978).

Prácticas de cultivo

Todos los cultivos fueron fertilizados con una base de N (150 N kg/ha, como Nitrato de Amonio) y de P₂O₅ (250 P₂O₅ kg/ha, como Triple Superfosfato), para evitar cualquier interacción negativa de su deficiencia sobre el efecto de K.

Ambos se aplicaron espequeados; el P se aplicó todo a la siembra y el N fraccionado en 2 aplicaciones, una a la siembra y otra a los 21 días.

Cuadro 1. Época de aplicación, porcentaje y cantidades de K₂O aplicados al maíz en los diferentes tratamientos.

Tratamiento		Aplicación		
		1	2	3
Sin Fraccionar	Etapa	0	---	---
	Días aproximados	siembra	---	---
	% aplicado	100%	---	---
	kg/ha (fuente)	120	---	---
Dos Fracciones	Etapa	0	1,5	---
	Días aproximados	siembra	21 días	---
	% aplicado	40%	60%	---
	kg/ha (fuente)	48	72	---
Tres Fracciones	Etapa	0	1,5	3,0
	Días aproximados	siembra	21 días	42 días
	% aplicado	40%	30%	30%
	kg/ha (fuente)	48	36	36

RESULTADOS Y DISCUSION

Caracterización del suelo

De acuerdo a la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1992), el suelo fue clasificado como Typic Hapludand.

Los análisis iniciales de la capa superficial de suelo (primeros 15 cm), mostraron niveles bajos de las bases, Ca, Mg y K (Cuadro 2) lo cual concuerda con datos presentados por Bertsch (1986) para suelos del cantón de Coto Brus; pese a estos niveles bajos de bases, el suelo no posee problemas de acidez debido a que el aluminio forma parte de la estructura de la alofana o está acompañado con la materia orgánica, de modo que permanece en formas inactivas en el suelo, las cuales no son tóxicas para las plantas (Egawa, 1980).

El P y el Zn también presentaron niveles bajos (Cuadro 2). El P es considerado como elemento

limitante en la mayoría de los suelos de Costa Rica (Bertsch, 1986); esto ocurre especialmente en los Andisoles, donde por lo general se encuentran los más bajos contenidos de P relacionados a porcentajes de fijación mayores de 90% (Egawa, 1980). El bajo nivel de Zn puede asociarse a las bajas cantidades existentes en el material parental.

Potasio en el suelo

El K disponible presentó un valor inicial de 0,15 cmol(+)/L, menor de 0,20 cmol(+)/L, considerado como nivel crítico (Cuadro 2). Esto concuerda con datos de estudios previos realizados con suelos de la zona, en donde se encontraron contenidos bajos de K (Bertsch, 1986; Molina *et al.*, 1986). Lo anterior propone algunas pautas para diferenciar los Andisoles del Valle Central con los del Valle de Coto Brus, a nivel de fertilidad, pues los primeros por lo general tienen altos contenidos de K pero bajos de Mg.

En la Figura 1 se muestra la variación del K disponible a través de las 4 cosechas evaluadas durante el período 1991-93. Como se puede observar luego del primer muestreo y previo a la primera siembra, se realizó una quema de la vegetación existente (principalmente helecho "macho" o *Pteridium* sp.) con lo que se hizo un aporte de hasta 86 kg de K/ha aproximadamente (equivalente a 0,11 cmol(+)/L). Con ello se aumentó el K disponible de 0,15 a 0,26 cmol(+)/L; el efecto de esta práctica se puede observar más claramente en el tratamiento testigo (K0), en el cual aún después de

Cuadro 2. Análisis químico y físico de suelo del lugar del ensayo al inicio del experimento (San Vito, Coto Brus).

Ca	Mg	K	Acidez	pH	P	Fe	Cu	Zn	Mn	Tex
cmol(+)/L			-----		-----mg/L-----					(%)
1,68	0,83	0,15	0,3	5,4	2	87	17	1	11	Fa

Ca, Mg y acidez: extraídos con solución KCl IN
K, P y menores: extraídos con solución Olsen modificado
pH: relación 1:2,5 en agua
Fa: Franco arenoso

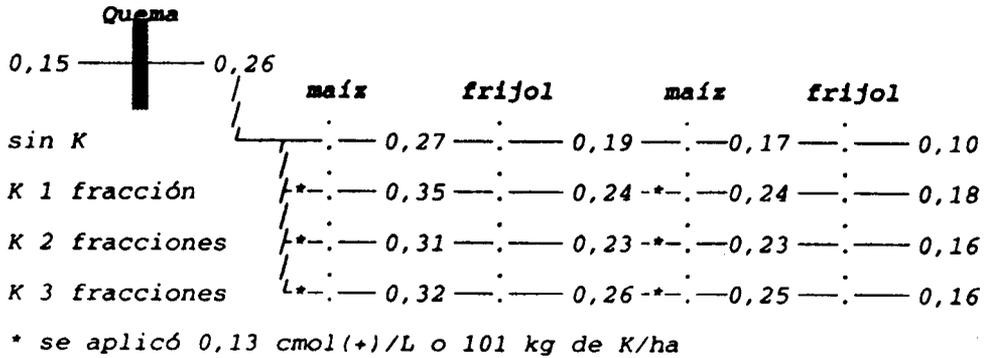


Fig. 1. Variación del K disponible (cmol (+) / L) extraído con Olsen Modificado en 4 cosechas sucesivas en Coto Brus, Costa Rica.

la tercera cosecha, no había alcanzado el nivel de K que mostró el suelo en el análisis original a pesar de la extracción por parte de los cultivos (Figura 1). Como se verá más adelante, lo anterior permitió obtener en este tratamiento rendimientos en maíz y frijol, considerados como aceptables a nivel experimental.

La quema permitió un enriquecimiento significativo de la fracción lábil de K en el suelo (Figura 1), restituyendo lo que anteriormente había sido absorbido y removido del suelo por la vegetación; este aporte ocurrió en forma de cenizas o restos semiquemados que después serían descompuestos, aumentando la fertilidad total del suelo a corto y mediano plazo, especialmente en K. Lo anterior concuerda con lo que se sabe de sistemas de siembra migratorios de tumba y quema (Sánchez y Benítez, 1991).

Al inicio del experimento con el y primer ciclo de maíz y para todos los tratamientos excepto el testigo, se partió de un nivel teórico de K disponible, de 0,39 cmol(+)/L. Después de la primera cosecha de maíz, hubo un balance positivo para el testigo K0, lo cual pudo deberse al aporte a mediano plazo de K por la quema realizada antes de la siembra. En los tratamientos con K, las disminuciones fueron de 0,06 cmol(+)/L en promedio, cantidad que fue removida o perdida del sistema; esta disminución concuerda también con un mayor rendimiento que presentaron estos tratamientos (Cuadro 3).

Como se esperaba, los niveles de K disponible disminuyeron progresivamente debido a la

absorción que realizaron los cultivos y por pérdidas del sistema (esta última no fue cuantificada). A pesar de esto y aunque los niveles de K disminuyeron significativamente en el testigo (K0), los rendimientos de maíz fueron superiores a 3 ton/ha y a 1 ton/ha en frijol en la segunda cosecha (Cuadro 3). Esto indica que el K no fue en realidad un elemento tan limitante en esta condición, como si lo pudo haber sido el P y N. Pese a lo anterior la aplicación de K aumentó los rendimientos hasta en un 46% en el mejor tratamiento.

En las 3 formas de aplicación de K siempre se agregó una cantidad total similar (100 kg de K/ha aproximadamente). No se encontraron diferencias importantes en la fracción de K disponible entre las 3 formas de aplicación del K a través del tiempo. En general el tratamiento K1 mostró contenidos ligeramente superiores a los otros dos, debido probablemente a la mayor gradiente de concentración de K que se genera cuando se colocan mayores cantidades de un elemento en un momento determinado (Figura 1).

Con relación al K disponible, el suelo presentó posterior a la quema, un nivel promedio de 0,26 cmol(+)/L de K (Figura 1); luego se aplicaron 100 kg/ha de K en la siembra de cada uno de los ciclos de maíz, con el objetivo de observar el efecto residual sobre el frijol. Esta aplicación correspondió en los tratamientos con K (aplicación a la siembra y fraccionada) a 0,13 cmol(+)/L de K aproximadamente.

Con respecto al comportamiento del K disponible en el testigo (K0), el cultivo del frijol fue

más extractor de K que el maíz, ya que ocasionó disminuciones de 0,08 y 0,07 cmol(+)/L de K en cada cosecha (63 kg/ha de K aproximadamente). Al final de los 4 ciclos de cultivo, el nivel de K disponible en el suelo se redujo a la mitad del nivel crítico (0,10 cmol(+)/L).

Con los datos obtenidos es posible realizar un balance parcial del K disponible en el transcurso de 4 cosechas entre el testigo y los tratamientos con aplicación de K. En el testigo se observó una disminución en la fracción de K disponible en 0,16 cmol(+)/L de K, en tanto que los tratamientos en donde se aplicó aproximadamente 0,26 cmol(+)/L de K, se "perdió" 0,35 cmol(+)/L de K en promedio. Lo anterior puede ser debido principalmente a 3 factores: a una mayor absorción del elemento relacionado a mejores rendimientos, a una mayor conversión a formas de K menos disponibles en el suelo o bien a pérdidas del sistema, especialmente las cuales no fueron cuantificadas en este estudio.

Respuesta en rendimiento

Durante los 2 años de estudio se encontró una respuesta significativa a la aplicación de K en

las 4 cosechas evaluadas (Cuadros 3 y 4). En la primera cosecha de maíz, a pesar de que los rendimientos obtenidos fueron bajos (debido a un retraso en la época de siembra), el tipo de respuesta fue consistente con las otras cosechas obtenidas. Se encontraron en el transcurso del experimento aumentos que variaron entre 20 y 58% entre el testigo sin K (KO) y el tratamiento de mayor aplicación de K (Cuadro 4). Los coeficientes de variación en este caso son considerados aceptables para experimentos de campo.

En este experimento, P y N son los principales limitantes, una vez suplidos se responde al siguiente elemento limitante, el cual en estas condiciones fue K; es importante mencionar que bajo otros tipos de cultivos, es probable que la respuesta a K sea aún más grande que la que se podría por ejemplo obtener con P. los resultados anteriores refuerzan los datos encontrados en otros estudios a nivel de invernadero que indican que existe respuesta a la aplicación de K en la zona de Coto Brus, principalmente por los bajos contenidos que usualmente se envientran (Molina *et al.*, 1986; Henríquez *et al.*, 1990).

Cuadro 3. Rendimiento obtenido en 4 cosechas consecutivas con relación a diferentes épocas de aplicación del fertilizante potásico (Coto Brus, Costa Rica).

Tratamiento	Rendimiento g/ha			
	Maíz (1991)	Frijol I (1991)	Maíz II (1992)	Frijol II (1992)
K0 (sin K)	585,00b	2092,56	3251,53b	1461,52b
K1 (1 fracción)	857,08a	2515,22a	4196,04a	2313,33a
K2 (2 fracciones)	809,00a	2615,92a	4257,85a	2088,51a
K3 (3 fracciones)	806,92a	2612,75a	4180,49a	2067,43a
C.V. ensayo (%)	26	20	21	32

* Letras iguales significa que no hay diferencia entre tratamientos al 0,05 de acuerdo a prueba Tuckey.

Cuadro 4. Porcentaje de aumento en rendimiento obtenido en los tratamientos más K con relación al testigo (Coto Brus, Costa Rica).

Tratamiento	% de aumento				
	Maíz (1991)	Frijol I (1991)	Maíz II (1992)	Frijol II (1992)	Promedio
K1 (1 fracción)	47	20	29	58	39
K2 (2 fracciones)	38	25	31	43	34
K3 (3 fracciones)	38	25	29	41	33
Promedio	41	23	30	47	35

A pesar de que el testigo (KO) no recibió K en el transcurso de los 2 años del experimento, las condiciones de suplemento de K por parte del suelo, permitieron alcanzar rendimientos aceptables en maíz y frijol en comparación al rendimiento nacional (Cuadro 3). Esto fue debido en gran parte al aporte de K que inicialmente fue realizado por la quema de la vegetación existente y el poder amortiguador del suelo a cierto plazo, luego del cual, los contenidos comienzan a decaer en forma acelerada.

No se encontraron diferencias estadísticas entre las 3 formas de aplicación en el tiempo del fertilizante potásico. A pesar de esto la tendencia en las primeras 3 cosechas, parecía mostrar una mejor respuesta con 2 aplicaciones de K durante el ciclo, sin embargo en la cuarta y última cosecha no se observó este comportamiento. Es posible que el tipo de cultivo utilizado como indicador (en este caso maíz y frijol) no permitió observar una mejor respuesta, como la que se podría encontrar en cultivos perennes o semiperennes, debido principalmente a la intensidad de los procesos de absorción en el tiempo.

Los datos encontrados en este estudio no permiten recomendar la aplicación fraccionada de los fertilizantes potásicos, pero si aumentar las cantidades de K usualmente agregadas en los cultivos de la zona; lo anterior es aplicable una vez que se hayan superado los efectos por cantidades bajas de los otros elementos limitantes.

Este experimento también permitió establecer algunas diferencias entre los Andisoles del Valle de Coto Brus con respecto a los del Valle Central de Costa Rica, los cuales al contrario de los primeros presentan contenidos altos de K y la respuesta a su aplicación, por lo general es nula.

Una conclusión importante es que la aplicación de K en los suelos volcánicos de la zona de Coto Brus, debe ser visualizada como un medio de maximizar la producción de los cultivos, mejorando un factor potencialmente limitante para la producción.

RESUMEN

Se realizó un ensayo de campo en el cantón de Coto Brus, Costa Rica, con el objetivo de cuantificar la respuesta en rendimiento del maíz y frijol a la aplicación fraccionada del fertilizante potásico al suelo. El suelo donde estuvo ubicado el experimento es originado de cenizas volcánicas y fue clasificado como un Typic Hapludand.

Se sembró maíz y frijol en ciclos sucesivos por 2 años, hasta un total de 4 cosechas. Las variables evaluadas fueron rendimiento de grano y K disponible extraído con la solución Olsen Modificado.

El K fue aplicado en forma de KCl a la siembra y fraccionado en 2 y 3 aplicaciones; adicionalmente se utilizó una fertilización base de P_2O_5 (250 kg/ha) y N (150 kg/ha). Se evaluó también la variación del K disponible a través del tiempo en los tratamientos propuestos. Se encontró un nivel inicial de K de 0,15 cmol (+)/L, el cual aumentó hasta 0,26 cmol(+)/L luego de realizar la quema de la vegetación existente. Luego de 2 años y 4 cosechas sucesivas, el K disponible en el testigo sin K, disminuyó hasta 0,10 cmol(+)/L, en tanto que en los tratamientos con K alcanzó un valor final de 0,17 cmol(+)/L en promedio. No se encontraron grandes variaciones en esta variable, entre las diferentes formas de aplicación del fertilizante potásico.

En general se observó una alta respuesta a la aplicación de K al suelo en las 4 cosechas evaluadas aún cuando el valor inicial de K en el suelo fue de 0,26 cmol(+)/L, el cual está por encima del nivel crítico propuesto. Se encontraron aumentos que variaron entre un 20 y 58% en rendimiento de grano de maíz y frijol por efecto de la aplicación de K. Pese a lo anterior no se encontró diferencia significativa entre las diferentes formas de aplicar el K en el tiempo. No se encontraron las pautas suficientes para recomendar la aplicación fraccionada del fertilizante potásico, aunque se hace referencia que podría ser encontrada una posible respuesta en cultivos perennes o semiperennes.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su sincero agradecimiento al Sr. Eduardo Dada por todas las facilidades prestadas para la realización de este experimento, al Ing. Luis Mora y al Sr. Antonio González Batista por su dedicación y cuidados para llevar a feliz término esta investigación.

LITERATURA CITADA

- BERTSCH, F. 1986. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Oficina de Publicaciones, Universidad de Costa Rica. 76 p.
- COOKE, G.W. 1986. Nutrient balances and the need for potassium in humid tropical regions. *In* Nutrient

- balances and the need for potassium. Proceedings of the 13Th IPI Congress, Reims, France. 17-37p.
- DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 68p.
- EGAWA, T. 1980. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. *In* Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón. ed. Ishizuka, Y. y Black, C. México, CIMMYT, pp.14-67.
- HENRIQUEZ, C.; BERTSCH, F.; CABALCETA, G. 1990. Efecto de la variación del K disponible en el suelo sobre la absorción de Ca, Mg y K y sus interacciones foliares. *Agronomía Costarricense* 14(2):223-230.
- HOBT, H. 1978. Dinámica del K en el suelo. *Suelos Ecuatoriales* 9(2):86-92.
- MOLINA, E.; BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1986. K en andepts de Costa Rica. I. Formas de K en el suelo. *Turrialba* 36(3):281-288.
- NAME, B.; SMYTH, T.J.; MARQUEZ, E. 1990. Dinámica del K en un ultisol de Panamá. *Manejo de suelos tropicales en latinoamerica*. Ed. por J.J. Smyth; W.R. Raun y F. Bertsch. Raleigh, NCSU. p. 138-143.
- QUEMEMER, J. 1986. Important factors in potassium balance sheets. *In* Nutrient balances and the need for potassium. Proceedings of the 13Th IPI Congress, Reims, France. 41-73p
- RITCHEY K.D. 1979. Potassium fertility in oxisols and ultisols of the humid tropics. *Cornell Int. Agr. Bull.* 37. Cornell Univ., Ithaca, N.Y. p45.
- SANCHEZ P.A.; BENITES, J.R. 1990. Cultivos de bajos insumos para suelos ácidos de los trópicos húmedos. *In* Manejo de suelos tropicales en latinoamérica. Ed. J. Smyth, W. Raun y F. Bertsch. San José, Costa Rica 1990. 48-57.
- SOIL SURVEY STAFF. 1992. Keys to soil taxonomy. Washington, USDA.
- SOUZA, D.M.G.; RITCHEY, K.D.; LOBATO, E.; GOEDERT, W.J. 1979. potassio em solo de cerrado. II Balanco no solo. *Rev. Brasil. Cien. Solo.* 3:33-36.
- STICHER, H. 1972. Potassium in allophane and in zeolites. *In* Colloquium of the international institute (9, 1972 Germany). Potassium in soil. Germany. International Potassium Institute. p43-52.
- TANDON, H.L.S.; SEKHON, G.S. 1988. Twenty years of research on soil and fertilizer potassium in India. Some highlights. *Fertilizer News*, 33(10):21-31.