

FIJACION DE POTASIO EN VERTISOLES, INCEPTISOLES, ANDISOLES Y ULTISOLES DE COSTA RICA^{1/}*

Carlos Henríquez **
Elemer Bornemisza **
Floria Bertsch **

ABSTRACT

Potassium fixation in Vertisols, Inceptisols, Andisols and Ultisols of Costa Rica. The potassium fixation of 107 soil samples of the four major agricultural soil orders of Costa Rica (Vertisols, Inceptisols, Andisols and Ultisols) was determined by the method proposed by Díaz-Romeu and Hunter (1978). A linear model described the relation between K added and K extracted by orders of soils, up to 0.9 cmol(+)/L of K added; for larger amounts of K added, a quadratic model was necessary. On the average, % K fixed decreased from Vertisols (56%), to Inceptisols (33%), to Andisols (29%), and to Ultisols (16%). Therefore, K fixation is an important factor to consider while fertilizing all soil orders, including Andisols and Ultisols.

INTRODUCCION

El fenómeno de fijación de las formas de K "disponible" en el suelo y su liberación a partir de las formas fijadas, cumple un papel importante en la dinámica del K en los suelos (Hobt, 1978; Goulding, 1986; 1987). La fijación de K se ha definido como el proceso por el cual las formas que pueden ser disponibles para la planta (K-solución y el K-intercambiable principalmente), migran al retículo o malla cristalina de los minerales arcillosos similares a la mica (ilita y vermiculita entre otros) en donde pasan a ocupar posiciones interlaminares que anteriormente eran ocupadas por el K estructural o nativo (Duthion, 1968; Fassbender y Bornemisza, 1987; Goulding, 1987).

El K adicionado al suelo en forma de fertilizante pasa, en corto tiempo, a cualquiera de las 3 fracciones "activas" del elemento en el suelo, (K

soluble, K intercambiable y K intercambiable a mediano plazo) de donde es tomado por las plantas. Dependiendo de condiciones tales como el tipo de arcilla dominante, el equilibrio existente en las formas de K y las condiciones de humedad existentes, este K que no es aprovechado por los cultivos puede convertirse en formas fijadas (Mielniczuk, 1984; Niederbudde, 1986).

Rich (1968) y otros autores, señalan que la fracción fijada puede ser más disponible que el K proveniente de la fracción nativa (Boyer, 1972; Hobt, 1978; Goulding, 1987). Al respecto Boyer (1972) y Mejía (1978) señalan que aunque el K fijado deja de ser intercambiable, en realidad se constituye en una reserva que puede ser liberada lentamente si la solución externa tiene una baja concentración de K.

Para que la fijación de K ocurra es necesario que el ión K se deshidrate y se introduzca en el espacio interlaminar, neutralizando las cargas electrostáticas superficiales. El proceso es acompañado por el colapso del espacio interlaminar en torno al catión reduciéndose el espacio de 15,6 a 10,8 Å, con la consiguiente y aparente "regeneración" de la estructura original del mineral a través de la restauración de los látices (Ahmad y Davis, 1970; Boyer, 1972; Mejía, 1978; Ross *et al.*, 1989).

1/ Recibido para publicación el 23 de noviembre de 1994.
* Parte de la tesis de maestría en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales presentada por el primer autor ante la Universidad de Costa Rica.
** Centro de Investigadores Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

La densidad de las cargas es un factor importante para que se produzca la fijación: cargas electropositivas en cantidades de 200 cmol(+)/kg de arcilla o humus la facilitan, mientras que cantidades de 110 cmol(+)/kg sólo permiten una pequeña fijación (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La mayoría de los autores señalan que la fijación de K es nula en caolinitas, gibsititas, cloritas y micas, débil en montmorillonitas, variable en ilitas y fuerte en vermiculitas (Duthion, 1968; Carson *et al.*, 1972; Mielniczuk, 1984; Ross *et al.*, 1989). A pesar de lo anterior, es un hecho que no sólo los minerales derivados de la mica fijan K. Hay literatura que demuestra que materiales no cristalinos podrían fijar K también, entre ellos los materiales alofánicos (Van Reewijk y De Villiers, 1968; Sticher, 1972; Boyer, 1972; Mejía, 1978; Besoain, 1985), por lo que la definición original de fijación debería contemplar este otro aspecto. La característica común en todo este proceso es que el K fijado no es rápidamente disponible a la planta y debido a su resistencia a ser reemplazado por sales neutras, es a menudo incluido dentro de la categoría de K estructural (cosa que no es del todo correcta), o bien en la categoría de K no-intercambiable con otra categoría de disponibilidad (Suárez, 1968; Molina *et al.*, 1986).

Las isotermas de intercambio y todos los parámetros asociados han sido también usados en la comprensión de los procesos de intercambio y de fijación, pero han tenido poca utilidad en la predicción práctica de la disponibilidad del K en el suelo (Goulding, 1987; Dufey y Delvaux, 1989). Su fundamento radica en que las propiedades de intercambio de los suelos, están en función de los diferentes tipos de sitios (Dufey y Delvaux, 1972). Van Diest (1978) citado por Goulding (1987), apunta que el principal problema con relación a todas estas metodologías es la dificultad de extrapolar las medidas obtenidas en laboratorio para predecir el comportamiento del K en el campo, ya que el K que es fijado en el laboratorio puede ser fácilmente disponible para los cultivos.

Gómez y colaboradores (1982) mencionan que el método de isotermas de Langmuir fue apropiado dentro de ciertos ámbitos de concentración, para predecir el grado de retención y adsorción de K en Andisoles.

Niederbudde (1986) señala que los conceptos de Q/I, pueden también ser aplicados, basándose en el hecho de que los parámetros de capacidad de suministro o potencial buffer pueden

explicar el comportamiento de adsorción e intercambio de K en los suelos.

La metodología más utilizada en Costa Rica para la determinación de la fijación de K ha sido la propuesta por Díaz-Romeu y Hunter (1978), la cual consiste en aplicar a muestras de suelo, cantidades conocidas de K en solución y permitir su secado para luego determinar las cantidades de K disponible en el suelo. Debido a que se tiene poca información referente a la fijación de K en los diferentes grupos de suelo, que de hecho presentan mineralogías diferentes, se planteó el presente estudio con el objetivo de cuantificar esta variable en los órdenes de suelos de mayor importancia agrícola en Costa Rica: Vertisoles, Inceptisoles, Andisoles y Ultisoles.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron 107 muestras de suelo tomadas de diferentes localidades que representan a los 4 grupos de suelo de mayor importancia agrícola en Costa Rica (Vertisoles, Inceptisoles, Andisoles y Ultisoles). Las muestras se tomaron bajo diferentes condiciones de explotación, pendiente y clima con el objetivo de representar las características más diversas. Detalles acerca del muestreo pueden consultarse en Henríquez *et al.* (1990).

El muestreo fue realizado en los 20 cm superficiales y luego procesado para el análisis de acuerdo a la metodología de Díaz-Romeu y Hunter (1978).

Curvas de fijación de K

Para la determinación del porcentaje de fijación de K en los suelos, se utilizó el método de "sorción" de K en seco propuesto por Díaz-Romeu y Hunter (1978). El método consiste en añadir al suelo diferentes niveles del elemento en solución y dejar que la muestra se seque; el K es extraído luego con la solución Olsen Modificada y determinado en un espectrofotómetro de absorción atómica (Díaz-Romeu y Hunter, 1978). Se considera fijada la fracción de K añadida y no extraída.

La concentración de K aplicada en cada uno de los tratamientos se presenta en el Cuadro 1. Cada muestra fue repetida 3 veces en el laboratorio.

La fuente de K utilizada fue K_2HPO_4 . La extracción con Olsen modificado relación 1:10 2,5 g suelo/25 de solución extractora, y secado por un tiempo aproximado de 24-36 h.

Cuadro 1. Concentración de K agregado para estimar las curvas de fijación.

Tratamiento	Cantidad de K añadida	
	cmol(+)/L	mg/L
0	0,00	0,0
1	0,11	42,9
2	0,22	85,8
3	0,45	175,5
4	0,90	351,0
5	1,80	702,0

Cálculos matemáticos

Para explicar el comportamiento general de la fijación de K se utilizó el modelo cuadrático: $Y = a + bX + cX^2$ (Figura 1), el cual fue complementado con un modelo de regresión lineal; el eje "Y" corresponde al K determinado y el "X" al K añadido.

Para calcular el porcentaje de fijación como valor puntual, se usó el modelo lineal utilizado por otros autores (Suárez, 1968; Molina, *et al.*, 1986):

$$Y = a + bX$$

$$\% \text{ de fijación de K} = (1 - b) * 100.$$

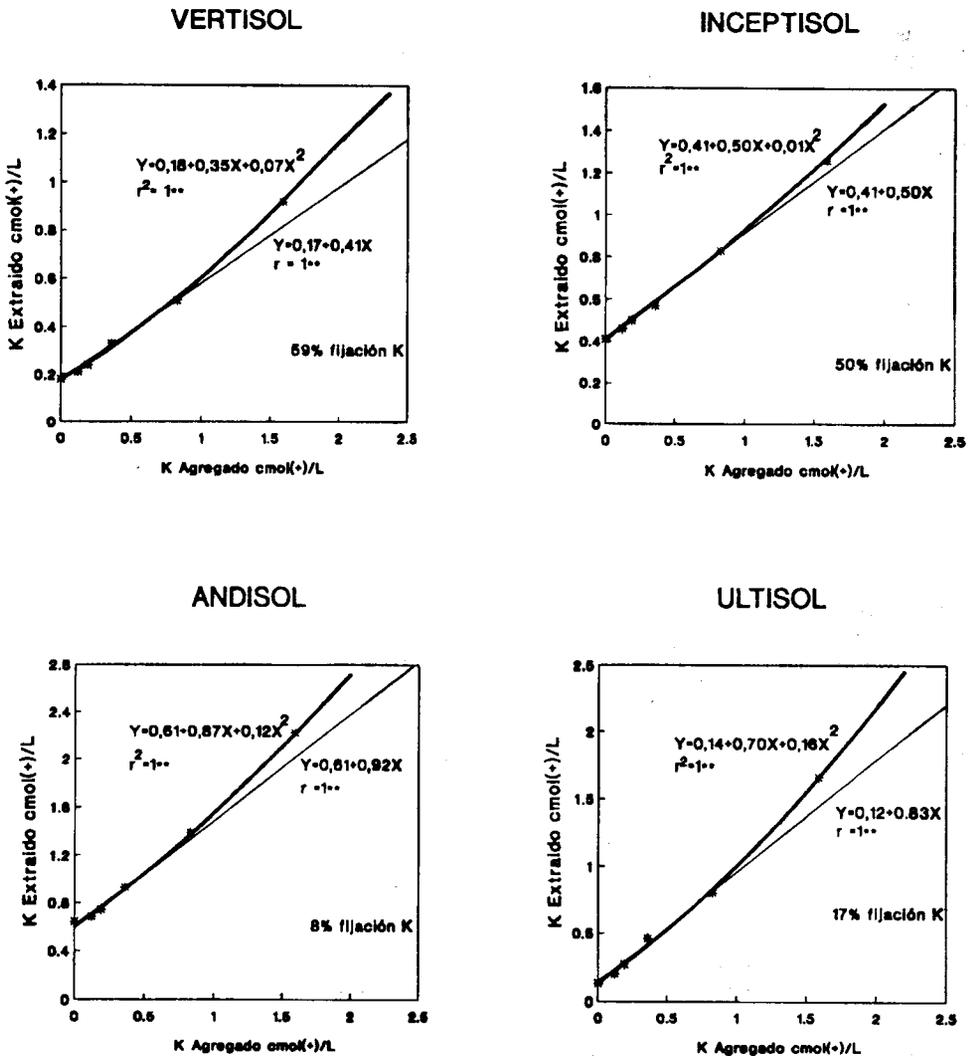


Fig. 1. Modelos matemáticos aplicados para representar el comportamiento de fijación de K en cuatro órdenes de suelos de Costa Rica.

Cuadro 2. Porcentaje de fijación (A) y K disponible (B) en cmol(+)/L (extraído con Olsen Modificado) de los suelos estudiados.

Suelo	Vertisoles		Inceptisoles		Andisoles		Ultisoles	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	59	0,17	50	0,51	8	0,45	26	0,23
2	50	0,16	24	0,26	0	0,29	31	0,18
3	68	0,30	42	0,61	2	0,44	0	0,81
4	66	0,27	52	0,75	21	0,13	17	0,10
5	38	0,50	24	0,65	72	0,72	37	0,14
6	56	0,41	22	0,79	24	2,05	0	0,08
7	70	0,23	46	0,68	27	0,31	16	0,32
8	45	0,14	21	0,21	27	1,00	11	0,18
9	43	0,21	35	0,44	0	0,49	12	0,16
10	59	0,23	53	0,43	57	0,40	13	0,05
11	60	0,78	17	0,33	33	0,82	28	0,17
12	48	0,15	19	0,95	33	0,35	26	0,23
13	50	0,31	41	0,27	27	0,40	16	0,48
14	55	0,22	45	0,20	21	0,30	13	0,12
15	65	0,14	21	0,58	28	0,87	17	0,29
16	60	0,08	85	0,73	22	0,29	38	0,41
17	45	0,16	36	0,81	32	0,29	3	0,10
18	65	0,16	13	1,47	46	0,88	24	0,39
19	73	0,22	50	1,75	23	0,66	0	0,53
20	76	0,83	9	0,78	31	0,86	4	0,12
21	62	0,18	11	0,35	25	0,23	11	0,15
22	24	0,34	67	0,30	26	0,21	12	0,27
23	46	0,36	50	0,54	35	0,18	0	0,47
24	47	0,18	31	0,15	27	0,22	46	0,37
25	68	0,18	41	0,94	75	1,01	21	0,14
26	64	0,23	28	0,36	43	0,24	22	0,09
27					13	0,09		
28					23	0,08		
29					0	0,45		

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se presentan los datos obtenidos en cada orden de suelo. No se encontró ningún tipo de relación entre el porcentaje de fijación de K (A) y el K disponible (B) extraído con la solución Olsen Modificada. Tampoco hubo relación alguna entre el porcentaje de fijación de K y el % de arcilla en el suelo, lo que aparentemente indica que para el grado de fijación de K no es tan importante la cantidad de arcilla propiamente, sino el tipo de ésta dominante en cada suelo.

De acuerdo a varios autores, el procedimiento de determinación de fijación de K en "seco", causa una sobreestimación de este índice, debido a las condiciones "forzadas" de dicho procedimiento (Carson y Dixon, 1971; Shaviv, *et al.*, 1985; Fassbender y Bornemisza, 1987). Ayarza y Sánchez (1991) refuerzan este punto de vista, señalando que es poco probable que este tipo de

secamiento rápido que se realiza en laboratorio (y por ende el grado de fijación que se obtiene) ocurra bajo condiciones normales de campo.

Según lo informan Fassbender y Bornemisza (1987), la metodología en seco determina valores de fijación de K hasta 3 veces más altos en comparación con la metodología en húmedo, por lo que en algunos suelos (Ultisoles y Andisoles), los valores de fijación tienden a ser más altos de lo esperado.

En los 4 grupos de suelos el comportamiento de fijación de K fue explicado a través de 2 modelos de regresión: uno lineal para concentraciones menores a 0,90 cmol(+)/L de K, y otro cuadrático (Figura 1). Los tratamientos cubrieron un ámbito de concentración de 0,11 a 1,8 cmol(+)/L de K. En todos los casos, el modelo cuadrático expresó adecuadamente el comportamiento de la fijación de K determinado por esta metodología. Para concentraciones mayores de este nivel, el

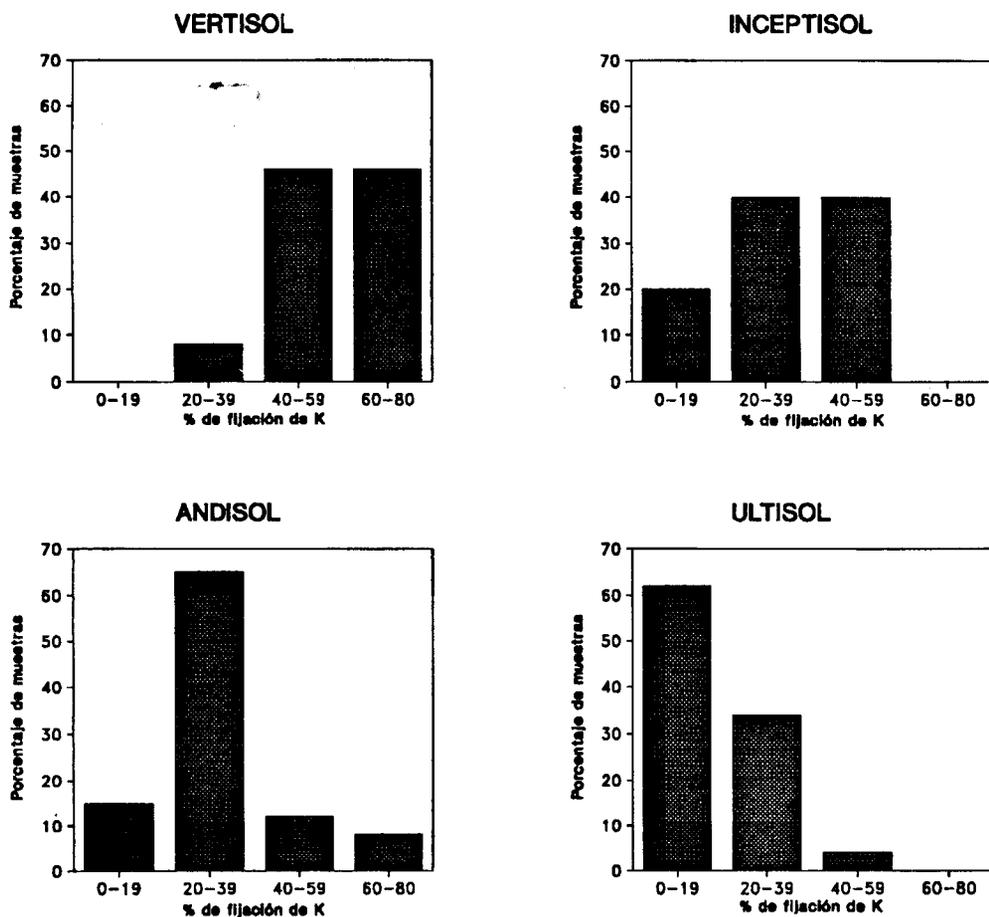


Fig. 2. Ambitos de fijación de K en cuatro órdenes de suelos de Costa Rica.

Cuadro 3. Porcentaje de fijación de K en 4 órdenes de suelos de Costa Rica.

Suelo	Muestras #	Mín	Máx	%	Media	Desviación estándar	C.V. %
Vertisoles	26	24	76		56	12,15	22
Inceptisoles	26	9	53		33	13,99	43
Andisoles	26	0	73		29	17,89	62
Ultisoles	29	0	46		16	12,25	75

suelo se satura y casi todo el K agregado es luego extraído, lo cual no puede ser explicado con estos modelos. Los r^2 en todos los casos fueron superiores a 0,9**.

Para efectos prácticos, es importante considerar que el modelo lineal fue aplicable sólo a

concentraciones menores de 0,9 cmol(+)/L de K agregado; por encima de este valor, el comportamiento observado fue cuadrático. Esto puede ser explicado ya que el fenómeno de fijación ocurre más intensamente a bajas concentraciones (Fassbender y Bornemisza, 1987). Lo anterior concuerda con lo

apuntado por Shaviv y colaboradores (1985), los cuales encontraron que los valores más altos de fijación de K se observaron a bajos niveles de adición del elemento.

Fijación de K en cada orden de suelos

Los porcentajes de fijación de K encontrados para los 4 órdenes de suelo se presentan en forma resumida en el Cuadro 3, en donde se detallan los valores máximos y mínimos con sus respectivas medias.

En la Figura 2 se presenta la distribución de las muestras en cada orden de suelo por ámbitos, según su porcentaje de fijación.

Vertisoles

Los valores más altos de fijación de K se encontraron en los suelos de características vérticas, debido principalmente al tipo de mineralogía dominante (arcillas 2:1). Se encontró una media de 56% y un ámbito de variación de 24 a 77% de fijación; más del 80% de las muestras analizadas, presentaron valores entre 40 y 80% de fijación (Figura 2). Carson y Dixon (1972) señalan que la metodología de determinación en seco aumenta la afinidad de las arcillas 2:1 al K en solución. Shaviv y colaboradores (1985) señalan que la fijación de K en este tipo de arcillas, es acompañada por la formación de minerales parecidos a micas.

Como se muestra en el Cuadro 3, en este orden de suelos se obtuvieron los menores coeficientes de variación, debido principalmente a la homogeneidad que presenta este grupo.

Su comportamiento fue totalmente opuesto al encontrado con los Ultisoles, lo que explica hasta cierto punto la falta de correlación que se encontró entre porcentaje de arcilla y fijación de K. En ambos órdenes de suelo se encontraron cantidades de arcilla bastante altas, sin embargo, no fue tan importante el contenido relativo, sino el tipo de arcilla dominante.

Inceptisoles

A pesar de ser un grupo tan variable desde el punto de vista pedogenético, en este orden de suelos se encontró un coeficiente de variación bastante bajo si se compara con los Ultisoles y los Andisoles (43% CV). Se encontró un valor promedio de fijación de K de 33% y un ámbito de variación entre 9 y 53% (Cuadro 3).

El 80% de las muestras presentó una fijación de K entre 20 y 60%, lo que sugiere la importancia

de este fenómeno en este grupo de suelos (Figura 2); sin embargo y al igual que en los Ultisoles, no se encontraron valores mayores de 60%. Esta situación indica que el fenómeno es común en este grupo de suelos pero no de una alta magnitud.

Andisoles

El coeficiente de variación encontrado en este grupo de suelos, provee evidencia sobre la gran variabilidad de características que existe, en un grupo teóricamente homogéneo en cuanto a las propiedades mineralógicas como es el de los suelos derivados de cenizas volcánicas (62% de CV). Pese a que en todos ellos domina la alofana, las proporciones relativas de ésta con otros minerales, inducen un comportamiento diferencial en cada condición. Entre los factores más importantes se pueden mencionar la naturaleza mineralógica de las cenizas, el efecto determinante del clima (precipitación y temperatura), el tiempo de desarrollo y el manejo efectuado sobre estos suelos, en las diferentes condiciones de Costa Rica.

La fijación de K en este grupo fue apreciable ya que el 65% de las muestras presentó un ámbito de fijación entre 20 y 40%, y un 8% de las muestras mostró valores mayores de 60% (Figura 2).

Los datos concuerdan con otros autores los cuales encontraron cierta afinidad de la alofana al K, aunque lógicamente mucho menor que la presentada por las arcillas cristalinas expandibles (Van Reemijk y De Villiers, 1968; Sticher, 1972; Gómez *et al.*, 1982; Besoain, 1985). Martini y Suárez (1977) encontraron una alta capacidad de fijación de K en Andisoles de Costa Rica sometidos a continuo humedecimiento con un ámbito entre 39 y 82%.

Gómez y colaboradores (1982) utilizaron las isotermas de Langmuir, por lo que no es posible comparar estos valores con los obtenidos en este estudio. Utilizando la misma metodología de este trabajo, Molina y colaboradores (1986) encontraron en Andisoles un ámbito de fijación de K entre 0 y 24% con un promedio de 16%.

Ultisoles

En este grupo se encontró el valor medio más bajo de fijación de K (16%) con un ámbito de variación entre 0 y 46%. Contrario a lo que se esperaba, si se encontraron valores de fijación de K apreciables para este tipo de suelos, lo cual puede ser explicado parcialmente por la metodología aplicada para su cuantificación; el 34% de las muestras mostraron valores entre 20 y 40% de

fijación (Figura 2). Casi el 60% de las muestras mostraron valores menores de 20% de fijación de K, valor muy similar al encontrado por Ayarza y Sánchez (1991) para suelos de la Amazonía peruana. Los autores mencionan que este fenómeno podría explicarse tentativamente por la presencia de pequeñas cantidades de minerales 2:1 interestratificados (en mezcla con los minerales 1:1 dominantes), que han permanecido protegidos o que han sido depositados de alguna forma en la capas superiores de estos suelos y que le permiten fijar K aún bajo una mineralogía caolinítica dominante; este es un aspecto que puede jugar un papel muy importante en la dinámica del K en estos suelos.

Martini y Suárez (1977) por otro lado encontraron que en Latosoles o suelos ácidos de Costa Rica, la capacidad de fijación de K fue baja (20 a 44%).

A pesar de las posibles debilidades de la metodología utilizada en este estudio y el alto coeficiente de variación (75%), los datos encontrados sugieren el hecho de que el fenómeno de fijación de K en este tipo de suelos es importante, y que debe ser tomado en cuenta en el manejo del elemento en los sistemas productivos que se desarrollan sobre estos suelos.

RESUMEN

Se determinó el porcentaje de fijación de K de 107 muestras de suelo que representaron los 4 órdenes de suelo de mayor importancia agrícola de Costa Rica (Vertisoles, Inceptisoles, Andisoles y Ultisoles). Para ello se aplicó la metodología en seco propuesta por Díaz Romeu y Hunter (1978).

El comportamiento de la fijación de K en todos los grupos de suelos se describió matemáticamente con un modelo de regresión lineal hasta concentraciones de 0,9 cmol(+)/L de K y en forma cuadrática para cantidades superiores, hasta de 1,8 cmol(+)/L de K agregado.

No se encontró correlación alguna entre el porcentaje de fijación de K y el K disponible extraído con Olsen Modificado. El contenido de arcilla tampoco guardó relación con el % de fijación de K, lo que coloca a las características mineralógicas de las arcillas de cada grupo, como las principales responsables del fenómeno de fijación de K.

Se encontró que el porcentaje de fijación promedio en los 4 órdenes de suelo decreció en la siguiente secuencia: Vertisoles (56%) > Inceptisoles (33%) > Andisoles (29%) > Ultisoles (16%).

Más del 80% de los Vertisoles presentaron valores entre 40 y 80% de fijación; el 80% de los Inceptisoles fluctuaron entre 20 y 60%; un 65% de las muestras de Andisoles presentaron fijaciones entre 20 y 40% y un 8% tuvo valores mayores al 60%; el 60% de los Ultisoles presentaron fijaciones inferiores a 20%.

Especial atención merecen los valores obtenidos en los Andisoles y en los Ultisoles que, en relación con lo que la teoría expone, resultan altos. No se excluye la posibilidad de que el proceso de secado de la muestra que incluye la metodología usada, probablemente favoreció el incremento de la fijación de K, sin embargo, estos valores sugieren que la fijación de K es bastante significativa y debería ser considerada en el manejo de K de muchos suelos del trópico.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento a los señores Gilberto Cabalceta, Eloy Molina y Arnoldo Gadea por el apoyo prestado a la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- AHMAD, N.; DAVIS, C.E. 1970. Forms of K fertilizers and soil moisture content on potassium of a Trinidad soil. *Soil Science* 109:121-126.
- AYARZA, M.A.; SANCHEZ, P.S. 1991. Importancia de los minerales 2:1 interestratificados en la retención de potasio en un ultisol de la Amazonía peruana. *Suelos Ecuatoriales* 21(2):65-68.
- BESOAIN, E. 1985. Mineralogía de arcillas de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 1205 p.
- BOYER, J. 1972. Soil potassium. *In* Soils of the humid tropics. Ed. by Committee on tropical soils. Washington, National Academy of Sciences. p. 102-135.
- CARSON, C.D.; DIXON, J.B. 1972. Potassium selectivity in certain montmorillonitic soil clays. *Soil Sci. Soc. Ame. Proc.* 36:838-843.
- DIAZ-ROMEY, R.; HUNTER, A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 61 p.
- DUTHION, C. 1968. El potasio en el suelo. *Revista de la potasa* 4(43):1-21.

- DUFEY, J.; DELVAUX, B. 1989. Modeling potassium-calcium exchange isotherms in soils. *Soil Sci. Soc. Ame. J.* 53:1297-1299.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 Ed. San José, Costa Rica, IICA. 420 p.
- GOMEZ, R.C.; CARRILLO-PACHON, I.F.; ESTRADA, M. 1982. Adsorción de potasio en andisoles de la zona cafetera. *Cenicaté (Colombia)* 33(4): 104-128.
- GOULDING, K.W.T. 1986. Thermodynamics applied to potassium exchange in aluminosilicate minerals on soils. *In XIII Congress of the International Society of Soil Science. Transactions Vol VI, Hamburg.* p. 1155-1168.
- GOULDING, K.W.T. 1987. Potassium fixation and release. *In Methodology in soil-K research. Proceedings of the 20th colloquium of the International Potash Institute held in Baden Bei Wien/Austria.* p. 137-154.
- HOBT, H. 1978. Dinámica del potasio en el suelo. *Suelos Ecuatoriales* 9(2):86-92.
- MARTINI, J.A.; SUAREZ, A. 1977. Potassium supplying and fixing capacity in Latosols and Andosols determined by successive cropping extractions and incubations. *Soil Science* 123(1):37-47.
- MEJIA, L. 1978. Mineralogía del potasio en el suelo y en el material parental. *Suelos Ecuatoriales* 9(2):1-18.
- MIELNICZUK, J. 1984. O potássio no solo. *Boletín Técnico* 2, Associação Brasileira para pesquisa da potasa e do fosfato, Potafos. 79 p.
- MOLINA, E; BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1986. Potasio en Andepts de Costa Rica. I. Formas de potasio en el suelo. *Turrialba* 36(3):281-288.
- NIEDERBUDDE, E.A. 1986. Factors affecting potassium release and fixation in soils. *In XIII Congress of the International Society of Soil Science. Transactions Vol VI, Hamburg.* p. 1155-1168.
- RICH, C.I. 1968. Mineralogy of soil potassium. *In The role of potassium in Agriculture.* Ed. by V.J. Kilmer, J.E. Younts and N.C. Brady. Madison, Wis., American Society of Agronomy. p. 79-108.
- ROSS, G.J.; CLINE, R.A.; GAMBLE, D.S. 1989. Potassium exchange and fixation in some southern Ontario soils. *Canadian Journal of Soil Science* 69:649-661.
- SHAVIV, A.; MOHSIN, M.; PRATT, P.F.; MATTIGOD, S.V. 1985. Potassium fixation characteristics of five Southern California soils. *Soil Sci. Soc. Ame. J.* 49:1105-1109.
- STICHER, H. 1972. Potassium in allophane and in zeolites. *In Potassium in soil.* Berna, Suiza, IIP. 43-51 p.
- SUAREZ, A. 1968. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. *Tesis Mag. Sci.* Turrialba, Costa Rica, IICA. 305 p.
- VAN REEMIJK, L.P.; DE VILLIERS, J.M. 1968. Potassium fixation by amorphous aluminosilica gels. *Soil Sci. Soc. Ame. Proc.* 32:238-240.