

Summary

Three soils were selected from both the Guanacaste volcanic range (NW) and the Agua Buena-Paso Canoas region (SW) in Costa Rica in order to analyze their potassium content

The research focussed on K in solution, exchangeable and non-exchangeable K, and total K, as well as the retention of this nutrient. Especially low levels of all forms of K were found in the SW Costa Rican soils, probably due to intense leaching and older (Tertiary) parent material

K in solution ranged from 14 to 33 mg/kg⁻¹, exchangeable K from 45 to 620 mg/kg⁻¹, non-exchangeable K from 58 to 125 mg/kg⁻¹, K extracted with HNO₃ from 108 to 704 mg/kg⁻¹, and total K from 1575 to 4900 mg/kg⁻¹.

Good correlation was found between the quantities of K extracted with the Olsen method, NH₄ OAc and HNO₃. Thus, the critical level of K obtained with the Olsen method, established at 0.2 cmol (+) L⁻¹, corresponds to 0.23 cmol (+) kg⁻¹ with NH₄ OAc and 0.45 cmol (+) kg⁻¹ with HNO₃.

K retention was low, ranging from 0 to 24%

Introducción

La información sobre el estado del potasio en los suelos de Costa Rica es bastante limitada, y la investigación realizada hasta ahora se ha concentrado principalmente en la caracterización del K disponible durante el ciclo de un cultivo dado

El estudio de las formas de K (total, estructural, no intercambiable, intercambiable y en solución) puede ayudar a resolver algunas interrogantes acerca de la dinámica de este elemento en el suelo, y además, permite conocer la capacidad de abastecimiento de K para las plantas (7, 20, 21)

La concentración de las distintas formas de K en Andepts por lo general es moderadamente alta (21), aunque puede variar enormemente (12). Su contenido se halla ligado a la composición del material piroclástico, al tiempo en que ocurrió la deposición de la ceniza y al medio o condiciones en las cuales se llevó a cabo su alteración (12, 17).

En general, los suelos volcánicos de Costa Rica no responden a las aplicaciones de K debido a los altos contenidos de todas las formas de K encontradas en ellos (20, 21, 28). Sin embargo, ocasionalmente se ha presentado respuesta en suelos ubicados fuera del Valle Central (4).

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el estado de las diferentes formas de potasio en seis Andepts de Costa Rica.

Materiales y métodos

Se escogieron seis suelos volcánicos en los cuales se habían encontrado problemas de potasio. Las muestras correspondieron a tres localidades de la Cordillera Volcánica de Guanacaste: Arenal, Bijagua y Dos Ríos, y tres de la Zona Sur: Sabalito, Agua Buena y Paso

¹ Recibido para publicación el 10 de mayo de 1986. Parte de la tesis de Ing. Agr. presentada por el primer autor a la Escuela de Fitotecnia de la Universidad de Costa Rica y financiada por la Vicerrectoría de Investigación

* Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

** IDIAP, Santiago, Veraguas, Panamá

*** USAID, Cochabamba, Bolivia

Canoas. En el Cuadro 1 se presenta la elevación y caracterización climática de los sitios muestreados.

Todos los suelos clasifican como **Typic Dystrandept** (8, 16, 22, 25).

Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-20 cm, se secaron al aire y se pasaron por una criba de 2 mm.

Se hicieron análisis de las distintas formas de potasio en el suelo: K en solución, K intercambiable, K no intercambiable y K total.

K en solución: Se obtuvo mezclando 25 g de suelo con 50 ml de agua y manteniendo en agitación por 24 horas, de acuerdo con Halstead y Heeney (14).

K intercambiable: Se determinó por el método tradicional de NH_4OAc 1N a pH 7 (6).

K no intercambiable: Se realizó por dos métodos. En uno se utilizó el H_2SO_4 concentrado como extractante, mediante agitación de 10 g de suelo con 10 ml de ácido y 25 ml de agua destilada, de acuerdo con Hunter y Pratt (15). En el otro se mezclaron 25 g de suelo con 25 ml de HNO_3 1N y se calentó a ebullición suave por 10 minutos (26). Ambos métodos se estima que extraen, además del K intercambiable, parte del K no intercambiable disponible para las plantas.

K total. Se utilizó el método descrito por Suárez (28), poniendo a digerir 0.25 g de suelo con H_2SO_4 y HF concentrados en un crisol de platino con calentamiento.

Además, también se determinó el K extraído con Olsen modificado (10) y el K estructural por dife-

rencia entre el K total y el K extraído con HNO_3 (7).

Retención de potasio. Se hicieron curvas de retención de K, consistentes en la incubación del suelo con soluciones de K de concentración creciente, hasta el secado. Posteriormente, al extraer del suelo la concentración disponible del elemento a cada concentración agregada se puede conocer lo que se retiene. Este procedimiento se basa en la metodología propuesta por Díaz-Romeu y Hunter (10).

Resultados y discusión

Formas de potasio

Los resultados de la determinación de las formas de K en los suelos se presentan en el Cuadro 2.

El K en la solución corresponde al K disuelto en la solución del suelo (11). Esta fracción osciló entre 14 y 33 mg/kg^{-1} con un promedio de 21.1 mg/kg^{-1} (0.053 cmol (+) kg^{-1}), valor muy similar al informado por Fassbender (11) en **Andepts** de Centroamérica (20 mg L^{-1}). El factor intensidad en suelos volcánicos por lo general es alto (3) debido a la naturaleza del material parental y a la predominancia de texturas gruesas.

En términos porcentuales, el K en solución representó entre 0.3 y 1.2% del K total (Cuadro 3), lo cual está de acuerdo con lo encontrado por otros autores en **Andepts** (2, 7, 24).

El K disponible en Olsen varió entre 43 y 515 mg L^{-1} para un promedio de 157 mg L^{-1} (0.40 cmol (+) L^{-1}), y el K intercambiable en NH_4OAc entre 45 y 620 mg/kg^{-1} (0.11 - 1.59 cmol (+) kg^{-1}) para un

Cuadro 1. Elevación y caracterización climática de los sitios muestreados.

Suelo	Elevación ¹ (msnm)	Precipitación ¹ (mm)	Zona de vida ²
Arenal, Tilarán, Guanacaste	1 300	2 800	Bosque pluvial premontano
Bijagua, Upala, Alajuela	580	2 800	Bosque muy húmedo premontano
Dos Ríos, Upala, Alajuela	580	2 500	Bosque muy húmedo premontano
Sabalito, Coto Brus, Puntarenas	890	3 800	Bosque pluvial premontano
Agua Buena, Coto Brus, Puntarenas	700	3 500	Bosque muy húmedo premontano transición a pluvial
Paso Canoas, Corredores, Puntarenas	12	4 500	Bosque muy húmedo premontano transición a basal

1 Instituto Meteorológico Nacional.

2 Según Mapa Ecológico de Tossi (29)

promedio de 187 mg/kg^{-1} ($0.48 \text{ cmol (+)kg}^{-1}$). Estos resultados coinciden con los encontrados por Bertsch, Cordero y Alvarado (4) en suelos de las mismas regiones, pero son en promedio inferiores a los de otros Andepts del Valle Central de Costa Rica (1, 19, 28)

La diferencia puede atribuirse al mayor grado de meteorización de los suelos volcánicos fuera del Valle Central y a un régimen de humedad más intenso que promueve la lixiviación rápida del K intercambiable

La fracción intercambiable representó entre 1 y 12.6% del K total, lo cual se considera bajo. Las concentraciones más altas de K intercambiable se encontraron en los suelos de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, con 287 mg/kg^{-1} en promedio ($0.74 \text{ cmol (+)kg}^{-1}$), en contraste con los Andepts de la Zona Sur, con 87 mg/kg^{-1} ($0.22 \text{ cmol (+)kg}^{-1}$), lo cual se explica por el mayor grado de precipitación pluvial que se presenta en la región sur que causa una alta lixiviación del elemento, que como se sabe, puede ser débilmente retenido por la alofana (12). Además el material parental de los suelos de la Zona Sur es de

Cuadro 2. Formas de potasio en seis Andepts de Costa Rica.

Suelo	A	B	C	D	E	F(E-C)	G(H-E)	H
	K Solución	K extraído con Olsen	K ¹ extraído con NH ₄ OAc	K extraído con H ₂ SO ₄	K ² extraído con HNO ₃	K ³ no intercambiable	K ⁴ estructural	K Total
	mg kg ⁻¹							
Arenal	14.0	47	45	65	152	107	3 948	4 100
Bijagua	19.2	160	195	157	320	125	1 255	1 575
Dos Ríos	15.8	515	620	349	704	84	4 196	4 900
Sabalito	33.0	43	40	35	108	68	3 842	3 950
Agua Buena	19.2	129	170	129	248	78	4 002	4 250
Paso Canoas	25.2	47	50	39	108	58	3 817	3 925
	cmol (+)kg ⁻¹							
Arenal	0.036	0.12	0.12	0.17	0.39	0.27	10.12	10.51
Bijagua	0.049	0.41	0.50	0.40	0.82	0.32	3.22	4.04
Dos Ríos	0.040	1.32	1.59	0.89	1.80	0.22	10.76	12.56
Sabalito	0.085	0.11	0.10	0.09	0.28	0.17	9.85	10.13
Agua Buena	0.049	0.33	0.44	0.33	0.64	0.20	10.26	10.90
Paso Canoas	0.065	0.12	0.13	0.10	0.28	0.15	9.79	10.06

1 K intercambiable, incluye el K en solución

2 Incluye el K en solución, el K intercambiable y el K no intercambiable.

3 Se obtuvo por diferencia entre el K extraído con HNO₃ 1N y el K extraído con NH₄OAc 1N

4 Es la diferencia entre el K total y el K extraído con HNO₃ 1N

Cuadro 3. Porcentaje de K en cada fracción con respecto al K total en seis Andepts de Costa Rica.

Suelo	K-solución	K-intercambiable	K-extraído con HNO ₃	K-estructural	K-total
	%				
Arenal	0.3	1.1	3.7	96.3	100
Bijagua	1.2	12.4	20.3	79.7	100
Dos Ríos	0.3	12.6	14.4	85.6	100
Sabalito	0.7	1.0	2.7	97.3	100
Agua Buena	0.4	4.0	5.8	94.2	100
Paso Canoas	0.6	1.3	2.8	97.2	100

origen Terciario (16), mientras que los suelos de Guanacaste son más recientes (período Cuaternario) (8, 22)

El K extraído con un ácido fuerte menos el K intercambiable, corresponde a la fracción no intercambiable

El H_2SO_4 concentrado no resultó un buen extractante de las formas no intercambiables ya que las cantidades obtenidas fueron inferiores al K intercambiable (Cuadro 2). El HNO_3 1N extrajo más del doble de K que el H_2SO_4

Estos resultados difieren de lo indicado por Hunter y Pratt (15) quienes encontraron que el K extraído con H_2SO_4 correlacionó con el K liberado de las formas no intercambiables. Sin embargo, Crisóstomo y De Castro (9) hallaron que el H_2SO_4 extrajo cinco veces menor K que el HNO_3 1N en varios suelos brasileños

Es probable que las diferencias encontradas con los dos métodos se deban a que en la extracción con HNO_3 , el calentamiento de la muestra de suelo a ebullición provee más energía al sistema, lo que no ocurre con el procedimiento del H_2SO_4

El K extraído con HNO_3 1N fluctuó entre 108 y 704 mg/kg^{-1} (0.28 y 1.80 cmol (+)kg^{-1}), con un promedio de 273 mg/kg^{-1} (0.70 cmol (+)kg^{-1}). Al restarle el K intercambiable, los valores oscilaron entre 58 y 125 mg/kg^{-1} (0.15 y 0.32 cmol (+)kg^{-1}) de K no intercambiable. Estos resultados se consideran bajos en **Andepts** Martini y Suárez (20) hallaron entre 16 y 240 mg/kg^{-1} de K no intercambiable en Andisoles del Valle Central de Costa Rica, mientras que Caicedo *et al.* (7) y Arteaga y Guerrero (2) en suelos volcánicos de Colombia y utilizando el método de cuatro extracciones sucesivas con HNO_3 , encontraron en promedio 1214 y 598 mg kg^{-1} de K no intercambiable, respectivamente

La fracción intercambiable correspondió al 68% del K extraído con HNO_3 , similar al valor de 72% hallado por Martini y Suárez (20) en otros **Andepts** de Costa Rica.

El K no intercambiable representa la reserva de K disponible a mediano plazo para las plantas, por lo cual las bajas cantidades determinadas en los suelos bajo estudio no parecen ofrecer buenas perspectivas para la capacidad de suministro de este nutriente a partir de formas no intercambiables. Al comparar las concentraciones del K estructural con las del no intercambiable, se nota una amplia diferencia, lo que supone que el traspaso de una forma a otra es lenta o bien, el lavado de la fracción intercambiable es muy

intenso. Como se sabe el K en **Andepts** puede ser rápidamente lixiviado durante los procesos de meteorización

El K no intercambiable en los suelos de la Cordillera Volcánica de Guanacaste y de la Zona Sur fue en promedio de 105 mg/kg^{-1} (0.27 cmol (+)kg^{-1}) y 68 mg/kg^{-1} (0.17 cmol (+)kg^{-1}), respectivamente. Estas diferencias pueden atribuirse a la presencia de un clima más lluvioso en los suelos de la región sur que promueve una mayor lixiviación y al origen más antiguo del material parental

El K estructural corresponde a la diferencia entre el K total y el K extraído con HNO_3 1N. Esta fracción representó entre 79.7 y 97.3% del K total (Cuadro 3), con un promedio de 90%. Los suelos de la Zona Sur presentaron las cantidades porcentuales de K estructural más elevadas, lo que indica que su fracción de K disponible para las plantas es más pequeña. Suárez (28) encontró en **Andepts** de Costa Rica que esta fracción representó el 93% del K total

El K total varió entre 1 575 y 4 900 mg/kg^{-1} , con un promedio de 3 783 mg/kg^{-1} . Estos valores se consideran bajos si se toma en cuenta que los suelos volcánicos por lo general son ricos en micas y feldespatos potásicos (17)

En **Andepts** de Panamá y Colombia se han encontrado concentraciones superiores a 4 600 mg/kg^{-1} de K total en promedio (2, 7, 18). Suárez (28) informa que el contenido promedio de K total en suelos volcánicos del Valle Central de Costa Rica es de 7 051 mg kg^{-1} . La actividad volcánica y la deposición de cenizas frescas ricas en minerales potásicas es más frecuente en el Valle Central que en los suelos de las regiones bajo estudio lo cual podría explicar la menor cantidad de K total hallada

En general, la reserva de K disponible para las plantas a partir de sus distintas formas es baja, principalmente en los **Andepts** de la Zona Sur. Una representación cuantificada de las posibilidades de suministro de potasio de estos suelos se presenta en la Fig. 1.

Se encontraron algunas correlaciones significativas entre las formas de potasio que se detallan en el Cuadro 4

El K estructural correlacionó con el K total, lo cual se considera normal ya que el K total está formada en gran parte (90 - 98%) por el K estructural (23)

Se encontró correlación entre las cantidades de K extraídas con Olsen modificado, NH_4OAc y HNO_3 . De acuerdo con esto, el nivel crítico de K extraído

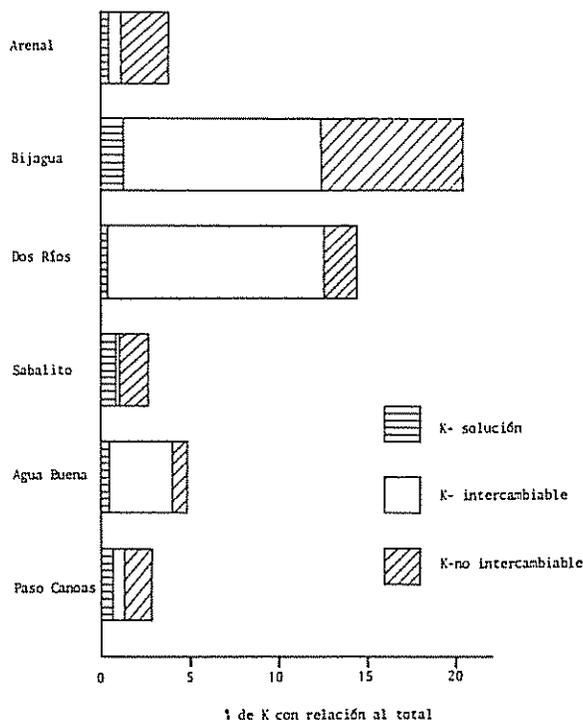


Fig 1. Representación esquemática de los porcentajes de K en solución, K intercambiable y K no intercambiable en los suelos

con Olsen establecido en 0.2 cmol (+)L⁻¹ corresponde a 0.23 cmol (+)kg⁻¹ con NH₄OAc, y a 0.45 cmol (+)kg⁻¹ con HNO₃, tal como se observa en la Fig 2. Estos resultados concuerdan con Briceño y Carvajal (5) quienes encontraron que 0.21 y 0.44 cmol (+)kg⁻¹ de K extraído con NH₄OAc y HNO₃, respectivamente constituyen los niveles críticos por debajo de los cuales se puede esperar respuesta al potasio por el café en Andepts de Costa Rica.

Retención de potasio

En la Fig. 3 se aprecia la curva de retención de K de los seis Andepts elaborada de acuerdo con la metodología de Díaz-Romeu y Hunter y utilizando las regresiones lineales.

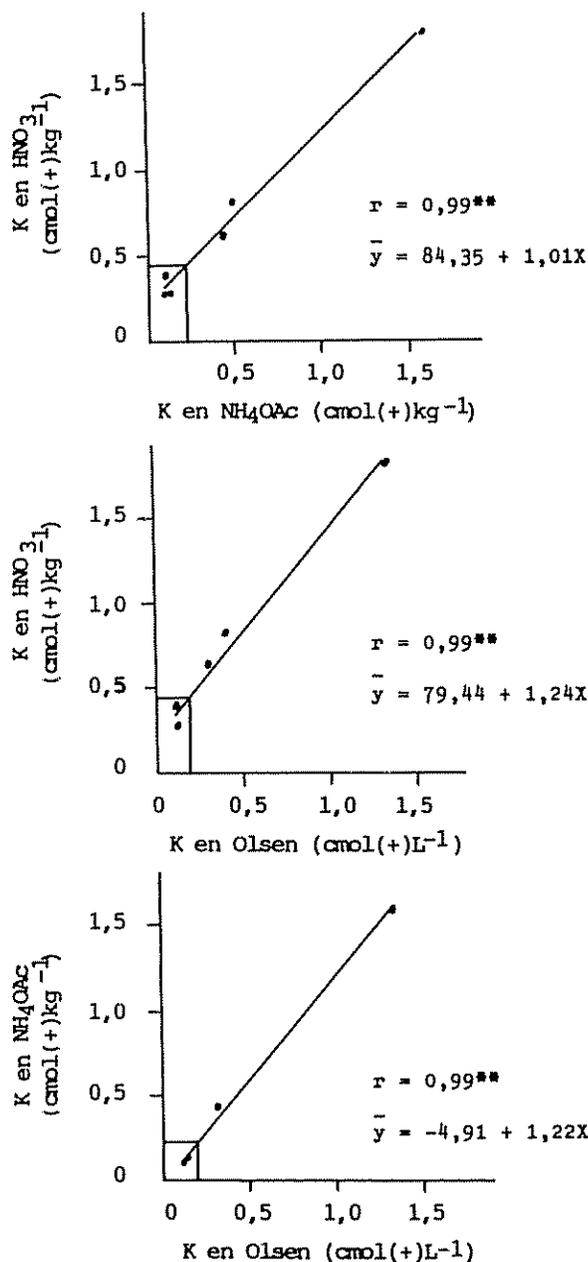


Fig 2. Relación entre el K extraído con las soluciones Olsen, NH₄ OAc y HNO₃ en seis Andepts de Costa Rica.

Cuadro 4. Índices de correlación entre las formas de potasio en los suelos antes del cultivo.

	K intercambiable en NH ₄ OAc	K extraído con HNO ₃	K estructural
K extraído con Olsen	0.99**	0.99**	
K intercambiable		0.99**	
K total			0.98**

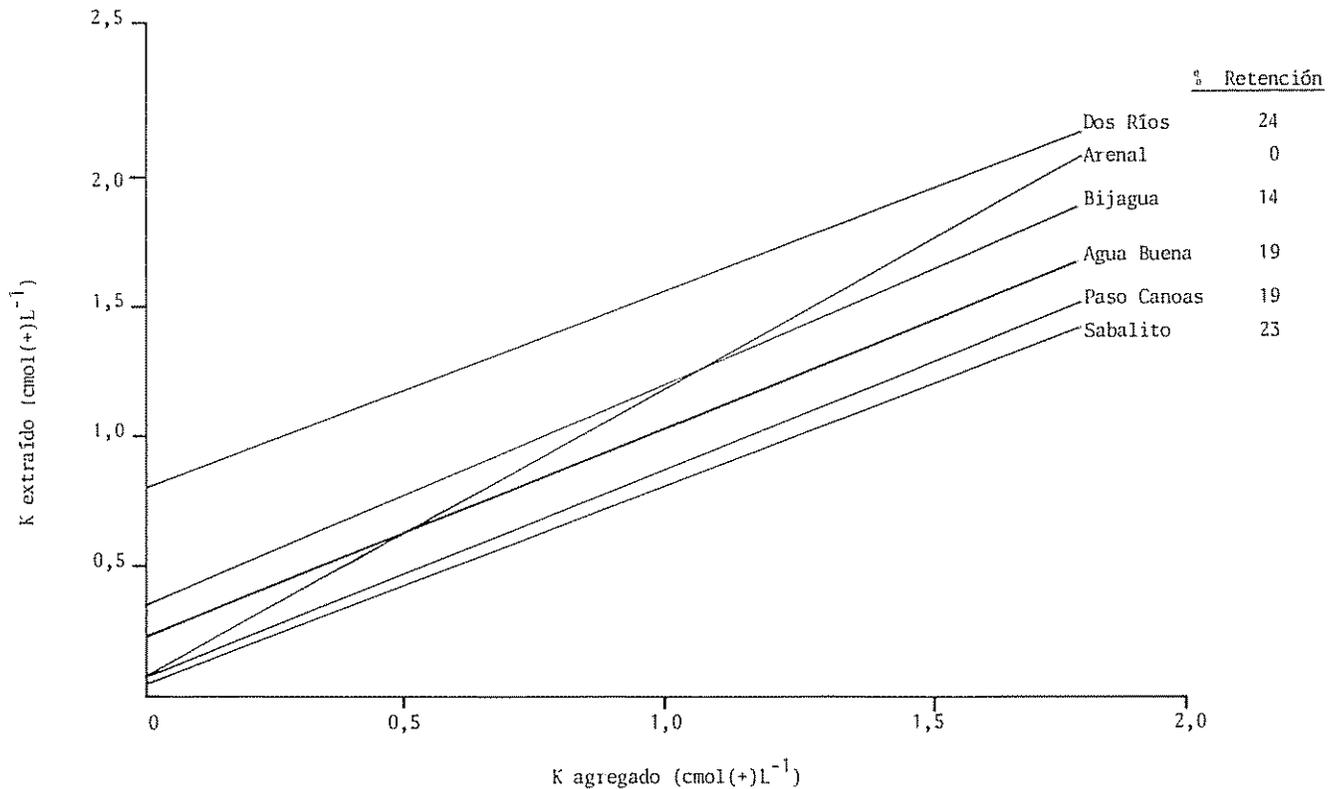


Fig. 3 Curvas de retención de K en seis Andepts de Costa Rica.

La fijación de K fue baja y oscila entre 0 y 24%. A pesar que la alofana presenta afinidad por el K (27), su poder de retención es muy débil (17). Al parecer, la alofana necesita un pH alcalino para fijar K (27) el cual no se presenta en las condiciones naturales de estos suelos.

En promedio, la retención de K en los suelos fue de 16.5%. Resultados similares han sido informados en otros Andepts (4, 13, 24).

Conclusiones

El K en solución resultó alto, oscilando entre 14 y 33 mg/kg. De las otras formas de potasio, el K intercambiable varió entre 45 y 620 mg kg⁻¹, el K extraído con HNO₃ entre 108 y 704 mg kg⁻¹, el K no intercambiable entre 58 y 125 mg kg⁻¹ y el K total entre 1 575 y 4 900 mg kg⁻¹, resultados que se consideran bajos para estos suelos, especialmente en los Andepts de la Zona Sur.

El K en solución representó entre 0.34 y 1.2% del K total, el K intercambiable entre 1.0 y 12.4%, el K extraído con HNO₃ entre 2.7 y 20.3% y el K estructural entre 79.7 y 97.3%.

El HNO₃ fue más eficiente que el H₂SO₄ para extraer el K no intercambiable.

Las cantidades de K extraídas con Olsen, NH₄OAc y HNO₃ correlacionaron entre sí, correspondiendo el nivel crítico de 0.20(+)L⁻¹ de K en Olsen a 0.23 cmol(+)kg⁻¹ con NH₄OAc y 0.45 cmol(+)kg⁻¹ con HNO₃. La retención de K fue baja y varió entre 0 y 24%.

Resumen

Se escogieron tres Andepts de la Cordillera Volcánica de Guanacaste y tres de la Zona Sur, con el objeto de investigar el estado del potasio. Se analizaron las formas de K en el suelo: K en solución, K intercambiable, K no intercambiable y K total; y se determinó la retención de este nutrimento.

Las concentraciones de las distintas formas de K estuvieron bajas, principalmente en los suelos de la Zona Sur, lo cual se explica por la presencia de un régimen de precipitación más intenso que causa mayor lixiviación del elemento y por el origen más antiguo del material parental. El K en solución varió entre 14 y 33 mg/kg, el K intercambiable entre 45 y

620 mg/kg⁻¹, el K no intercambiable entre 58 y 125 mg/kg⁻¹, el K extraído con HNO₃ entre 108 y 704 mg/kg⁻¹ y el K total entre 1 575 y 4 900 mg kg⁻¹. Se encontró correlación entre las cantidades de K extraídas con Olsen, NH₄OAc y HNO₃. De acuerdo con esto, el nivel crítico de K extraído con Olsen, establecido en 0.2 cmol (+)L⁻¹, corresponde a 0.23 cmol (+) kg⁻¹ con NH₄OAc y 0.45 cmol (+)kg⁻¹ con HNO₃.

La retención de K fue baja y osciló entre 0 y 24%

Literatura citada

1. ALVARADO, A. 1975 Fertilidad de algunos Andepts dedicados a potreros en Costa Rica Turrialba 25(3):265-270
2. ARTEAGA, C ; GUERRERO, R 1978 Capacidad de restitución de potasio en suelos andinos de Nariño, Colombia Suelos Ecuatoriales 9(2):120-126.
3. BENAVIDES, G. 1978 El factor cantidad intensidad de potasio en algunos suelos de la Sabana de Bogotá y de la Amazonia colombiana Suelos Ecuatoriales 9(2):97-109.
4. BERTSCH, F ; CORDERO, A ; ALVARADO, A 1984 Fertilidad de Typic Dystrandeps de Costa Rica. I Metodología, acidez y cationes (Ca, Mg, K, Mn, Zn y Cu) Turrialba 34(2):187-197
5. BRICEÑO, J.A ; CARVAJAL, J.F 1973 El equilibrio entre los metales alcalinos y aluminotérreos en el suelo asociado con la respuesta del café al potasio Turrialba 23(1):56-71
6. BRICEÑO, J.A ; PACHECO, R 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas San José, Editorial Universidad de Costa Rica. 152 p.
7. CAICEDO, A. *et al.* 1971 El potasio en los suelos volcánicos del Valle de Sibundoy, Putumayo, Colombia Turrialba 21(2):176-180.
8. CERVANTES, C.A 1977 Caracterización de la fracción mineral y determinación del ZPC en cuatro Andepts de la provincia de Guanacaste Tesis Ing Agr San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia 66 p
9. CRISOSTOMO, L.A ; CASTRO, A.F. DE 1979 Poder de suprimento de potássio de solos da zona fisiográfica de Baturité, Ceará, Brasil Turrialba 20(4):425-433
10. 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, 68 p
11. LASSBENDER, H.W. 1980 Química de suelos. con énfasis en suelos de América Central, San José, IICA. 398 p
12. FOX, R.L 1974. Chemistry and management of soil dominated by amorphous colloids Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings 33:112-119.
13. GOMEZ, C.M ; CARRILLO, I.; ESTRADA, G 1982 Adsorción de potasio en Andosoles de la zona cafetalera Cenicafé 33(4):104-128
14. HALSTEAD, R.L.; HEENEY, H.B. 1959 Exchangeable and water soluble potassium in soils and degree of saturation in relation to tomato yields Canadian Journal of Soil Science 39:129-135
15. HUNTER, A.H ; PRATT, P.F. 1957. Extraction of potassium from soils by sulfuric acid Soil Science Society of America Proceedings 21(6):595-598.
16. LOPEZ, H. 1978. Caracterización de la fracción mineral en cinco Andepts de los cantones de Corredores y Coto Brus. Tesis Ing Agr San José, Costa Rica, Universidad, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia, 51 p
17. LUNA, C ; SUAREZ, S 1978. El potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas Suelos Ecuatoriales 9(2):37-44
18. MARTINI, J.A. 1966 Caracterización del estado del potasio en seis suelos de Panamá. Fitotecnia Latinoamericana 3(1-2):163-186
19. MARTINI, J.A. 1970 Caracterización del estado nutricional de los principales Andosoles de Costa Rica mediante la técnica del elemento faltante en invernadero Turrialba 20(1):72-84
20. MARTINI, J.A ; SUAREZ, A 1975 Potassium status of some Costa Rican Latosols and

- Andosols and their response to potassium fertilization under greenhouse conditions. Soil Science Society of America Proceedings 39(1):74-80.
- 21 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.
- 22 MENDOZA, L. F. 1977. Clasificación y caracterización de cinco Andosols de la Cordillera Volcánica de Guanacaste. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica. Universidad, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia, 55 p.
- 23 MIELNICZUK, J. 1977. Formas de potasio en suelos de Brasil. Revista Brasileña de Ciencia do Solo. 1(2-3):55-61.
- 24 MOSS, P.; COULTER, J. K. 1964. The potassium status of West Indian volcanic soils. Journal of Soil Science 15(2):284-298.
- 25 PEREZ, G.; ALVARADO, A.; RAMIREZ, E. 1978. Asociación de subgrupos de suelos de Costa Rica: (mapa preliminar). San José, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. Escala 1:200000. 9 h.
- 26 PRATT, P. F. 1975. Potassium. In Methods of soil analysis. Ed. by Black, C. A. Madison, Wisconsin. American Society of Agronomy, v. 2.; p. 1022-1030.
- 27 STICHER, H. 1972. Potassium in allophone and zeolites. In Colloquium of the International Potash Institute, 9th, Landshut, Germany, 1972. Potassium in soil. Berne, p. 43-51.
- 28 SUAREZ, A. 1968. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Science. Turrialba, IICA, 305 p.
- 29 TOSSI, J. A. 1964. Mapa ecológico de la República de Costa Rica, según la clasificación de Zonas de Vida de L. Holdridge. San José, Centro Científico Tropical, Escala 1:750.000.