

E. MOLINA*
F. BERTSCH*
A. CORDERO**

Summary

The K supplying capacity of Andepts located in NW and SW Costa Rica was studied. Exchangeable K and non-exchangeable K were analyzed, and a greenhouse trial was established using sorghum as an indicator plant with two treatments per soil: control and complete fertilization without K. Four successive plantings were made.

The restitution of K after the four harvests was low, varying between 6 and 33.8 mg kg⁻¹, and was observed especially on exchangeable K-deficient soils (Arenal, Sabalito and Paso Canoas). On soils with adequate initial concentrations of K, fixation of the element was noted during the experiment. The reserve of available K is low in the Andepts of SW Costa Rica, possibly because there is more leaching in these soils.

Correlations between absorbed K by the sorghum and the extracted K with NH₄OAc and HNO₃, and also foliar K and K extracted with NH₄OAc were observed, which suggest that both solutions are effective in determining aspects of soil K.

Introducción

La capacidad de suministro de K en el suelo se define como la cualidad que tiene éste para suplir K a las plantas a partir de las formas solubles, intercambiables y no intercambiables (20). El contenido de K intercambiable no dice mucho acerca del potencial del suelo para suministrar K a mediano y largo plazo, por lo que se recurre a otros métodos como cultivos sucesivos y soluciones extractoras para conocer la magnitud de este potencial (3).

El cultivo en macetas en invernadero es un medio muy eficaz para evaluar la capacidad de abastecimiento de K en los suelos, tal como lo han demostrado varios investigadores (1, 6, 8, 9, 18).

En general, los Andepts de Costa Rica tienen alto suministro de K; sin embargo, se han encontrado deficiencias en suelos volcánicos fuera del Valle Central en los cuales el análisis de suelos no ha sido eficiente para determinar la respuesta a la adición de K en invernadero. En este caso, se ha sugerido la determinación de la velocidad de restitución de K como un parámetro necesario para estimar la respuesta a la adición de este elemento en el campo (4).

Este trabajo se realizó con el objeto de investigar la capacidad de suministro de K en Andepts de la Cordillera Volcánica de Guanacaste y la Zona Sur de Costa Rica.

Materiales y métodos

Se tomaron muestras de seis suelos volcánicos correspondientes 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 Canoas. En la primera parte de este trabajo (13) se presentan la elevación y características climáticas de los sitios muestreados.

Todos los suelos clasifican como *Typic Dystrandept* y se encuentran bajo vegetación de pastos. Las

¹ Recibido para publicación el 14 de abril 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, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

** IDIAP, Apdo 58, Santiago, Veraguas, Panamá.

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

Análisis de potasio

Se determinó el K intercambiable extraído con NH_4OAc 1N a pH 7 (5) y el K no intercambiable por el método del HNO_3 1N (17)

Prueba de invernadero

Se montó un ensayo de invernadero en los suelos utilizando 16 plantas de sorgo var TR-171 (*Sorghum vulgare* L.) como cultivo indicador, en macetas con 800 ml de suelo regadas por capilaridad. Se efectuaron dos tratamientos por suelo con cuatro repeticiones: testigo absoluto y completo sin K. Este último se diseñó agregando P, Ca, Mg, S y micronutrientes en las cantidades indicadas por las curvas de retención de nutrientes y el análisis de suelos de cada Andept. El N se adicionó en una dosis constante para todos los suelos de 50 mg L^{-1} , disuelta en el agua de riego. Se hicieron cuatro siembras sucesivas de sorgo, cosechando cada una a las cuatro semanas después de la germinación. Antes de la tercera siembra se realizó una fertilización extra con P, S y micronutrientes. No se aplicó K en ninguna de las cuatro siembras.

Las muestras foliares de cada cosecha se pesaron, se secaron a 70°C y se analizaron para K por el método

de combustión seca (5). Después de la segunda y cuarta cosecha se tomaron muestras de suelo de cada maceta con el objeto de analizar los niveles de K intercambiable y K no intercambiable residuales

Resultados y discusión

Contenido de K intercambiable y no intercambiable

El K intercambiable se presentó deficiente (menos de 80 mg kg^{-1}) en los suelos Arenal, Sabalito y Paso Canoas y en cantidad adecuada en los otros suelos (Cuadro 1). El K no intercambiable tuvo un promedio de 87 mg kg^{-1} de suelo, valor muy inferior al de 468 mg kg^{-1} encontrado por Martini y Suárez (12) en Andepts del Valle Central de Costa Rica y a los contenidos informados por otros autores (3, 7, 10, 14, 16).

Los suelos de Guanacaste (Arenal, Bijagua y Dos Ríos) presentaron mayor cantidad de K intercambiable y no intercambiable, con 287 y 105 mg kg^{-1} , respectivamente, en contraste con los suelos de la Zona Sur con 87 y 68 mg kg^{-1} de K intercambiable y no intercambiable, respectivamente. Como se explicó en un trabajo anterior (13), la diferencia puede deberse a un mayor grado de lixiviación que ocurre en los suelos de la región sur por tener un régimen de lluvias más intenso

Cuadro 1. Contenido de K intercambiable y K no intercambiable, antes y después del cultivo, en seis Andepts de Costa Rica.

Suelo	Antes del cultivo			Después del cultivo		
	K intercambiable NH_4OAc	K extraído con HNO_3	K ¹ no inter- cambiable	K intercambiable NH_4OAc	K extraído con HNO_3	K ¹ no inter- cambiable
mg kg^{-1}						
Arenal	45	152	107	27	103	76
Bijagua	195	320	125	37	67	30
Dos Ríos	620	704	84	186	210	24
Sabalito	40	108	68	30	53	23
Agua Buena	170	248	78	42	98	56
Paso Canoas	50	108	58	31	59	28
cmol (+) kg^{-1}						
Arenal	0.12	0.39	0.27	0.07	0.26	0.19
Bijagua	0.50	0.82	0.32	0.09	0.17	0.08
Dos Ríos	1.59	1.80	0.22	0.48	0.54	0.06
Sabalito	0.10	0.28	0.17	0.08	0.14	0.06
Agua Buena	0.44	0.64	0.20	0.11	0.25	0.14
Paso Canoas	0.13	0.28	0.15	0.08	0.15	0.07

1 Es la diferencia entre el K extraído con HNO_3 y el K intercambiable en NH_4OAc

Después de cuatro cosechas de sorgo, todos los suelos disminuyeron su concentración de K intercambiable (Cuadro 1 y Fig. 1), siendo ésta más pronunciada en los Andepts de Bijagua, Dos Ríos y Agua Buena, que contenían niveles adecuados del nutriente. En el caso de los suelos Bijagua y Agua Buena, el K intercambiable descendió por debajo del nivel crítico después de cuatro cosechas, hasta 37 y 42 mg kg⁻¹, respectivamente.

En términos porcentuales, después de cuatro cosechas de sorgo, el K intercambiable descendió en el suelo Bijagua 81%, en Dos Ríos 70% y en Agua Buena 75% (Fig. 1). En los Andepts deficientes en K intercambiable, Arenal, Sabalito y Paso Canoas, la disminución fue menor, con 40, 25 y 38%, respectivamente (Fig. 1). Es probable que en los suelos con cantidades adecuadas de K hubo consumo de lujo del elemento en las primeras cosechas, provocando un descenso más marcado en los contenidos de K intercambiable al final de las cuatro cosechas.

K foliar

La concentración de K foliar en el sorgo se presentó por debajo del nivel crítico de 2% desde la primera

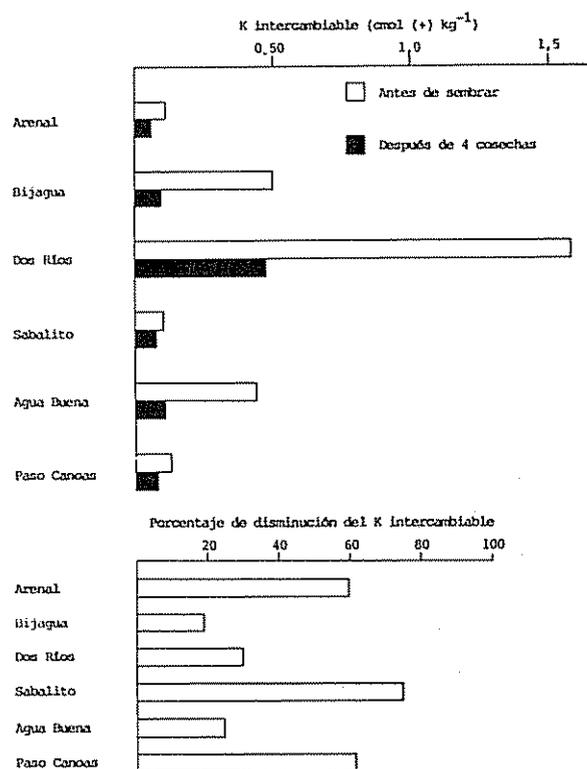


Fig. 1. Porcentaje de disminución del K intercambiable y variación de su concentración en el suelo después de cuatro cosechas de sorgo en seis Andepts de Costa Rica.

cosecha en los Andepts deficientes en K intercambiable: Arenal, Sabalito y Paso Canoas, con 1.3, 0.6 y 0.73%, respectivamente (Cuadro 2). En los suelos con contenidos adecuados de K, el K foliar comenzó a ser deficiente en la segunda cosecha en Agua Buena, tercera en Bijagua y cuarta en Dos Ríos, como se aprecia en el Cuadro 2.

Hubo diferencias en las concentraciones foliares de K en los suelos de las dos regiones analizadas; así por ejemplo, en la primera cosecha el contenido promedio de K foliar fue de 3.07 y 1.04% en los suelos de Guanacaste y la Zona Sur, respectivamente, lo que coincide con las diferencias encontradas en las cantidades de K intercambiable y no intercambiable en ambas regiones.

El K foliar disminuyó en todos los suelos conforme se incrementó el número de cosechas, bajando de

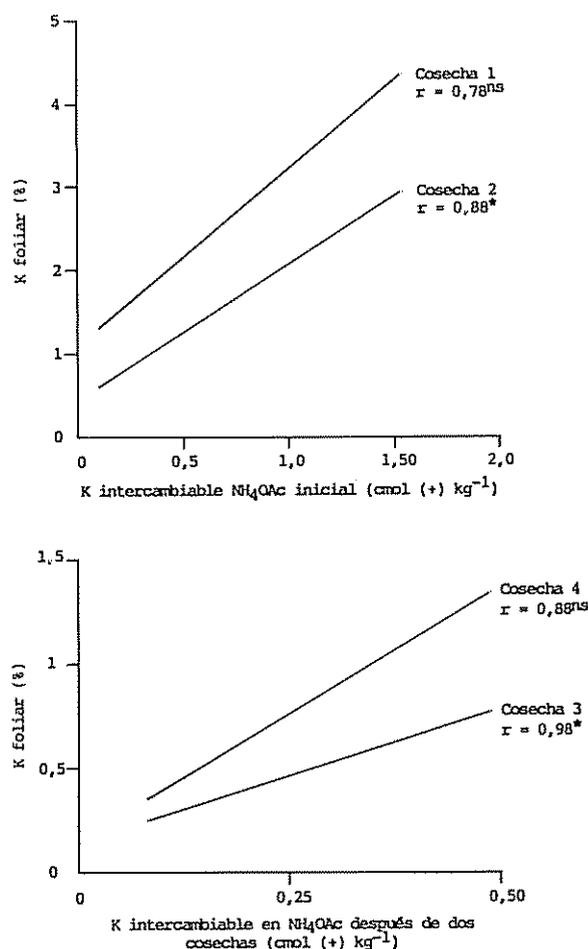


Fig. 2. Relación entre el K intercambiable en NH₄OAc antes y después de dos siembras sucesivas de sorgo en los suelos y el contenido de K foliar de las cuatro cosechas.

Cuadro 2. Contenido foliar y remoción de K en los suelos durante las cuatro cosechas de sorgo.

Suelo	% K foliar				K removido (mg kg ⁻¹)					
	Cosecha				Cosecha					
	1	2	3	4	1	2	3	4	Total	
ARENAL										
Completo sin K	1.30	0.50	0.40	0.42	13.6	2.8	3.5	3.1	24.0	
Testigo	2.05	2.85	0.40	0.34	9.8	18.1	1.6	1.2	30.7	
BIJAGUA										
Completo sin K	4.00	2.20	0.95	—	84.0	28.5	18.5	—	131.0	
Testigo	2.95	2.20	2.25	—	19.1	14.2	12.4	—	45.7	
DOS RIOS										
Completo sin K	3.90	2.70	2.22	1.37	161.9	24.2	49.4	15.0	250.5	
Testigo	3.15	2.75	1.25	1.90	23.2	14.1	5.0	6.9	49.2	
SABALITO										
Completo sin K	0.60	0.45	0.32	0.34	10.9	2.0	2.4	2.8	18.1	
Testigo	0.45	1.00	1.37	0.74	0.8	2.0	1.5	1.2	5.5	
AGUA BUENA										
Completo sin K	1.80	1.05	0.45	0.39	55.8	7.5	4.4	2.6	70.3	
Testigo	2.07	1.90	2.10	1.86	11.9	5.8	9.8	4.4	31.9	
PASO CANOAS										
Completo sin K	0.73	0.25	0.32	—	17.6	1.4	1.6	—	20.6	
Testigo	1.02	0.40	0.70	—	7.1	1.2	2.5	—	10.9	

un promedio de 2.06% en la primera cosecha hasta 0.63% de K foliar después de cuatro cosechas.

El K intercambiable en el suelo antes del cultivo y después de dos cosechas correlacionó con la concentración de K foliar, principalmente en las cosechas 2 y 3 (Fig. 2). Esta concordancia entre el análisis de suelo y el foliar indica que el NH₄OAc fue eficaz para determinar problemas de K en los suelos.

La absorción de K por el sorgo, expresada en mg kg⁻¹ de suelo, se produjo con mayor intensidad en los suelos con las cantidades más altas de K: Dos Ríos, Bijagua y Agua Buena (Cuadro 2 y Fig. 3), que removieron en total 250, 131 y 70 mg kg⁻¹ de K, respectivamente. Los otros tres suelos, con menos de 0.2 cmol (+) kg⁻¹ de K, no alcanzaron a absorber más de 25 mg kg⁻¹ de K durante las cuatro cosechas de sorgo. Con excepción de la segunda cosecha de Arenal, la fertilización incrementó la absorción de K por el sorgo, como se aprecia en las diferencias entre el testigo y el tratamiento completo sin K (Cuadro 2).

Se encontró correlación entre el K absorbido por el tratamiento completo sin K en todas las cosechas y la cantidad extraída inicialmente en el suelo con las

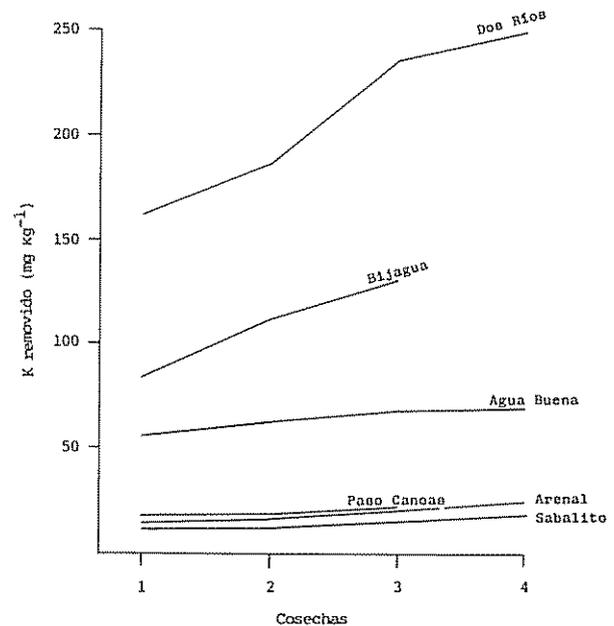


Fig. 3. Potasio removido acumulativo por el sorgo durante cuatro cosechas sucesivas en los suelos.

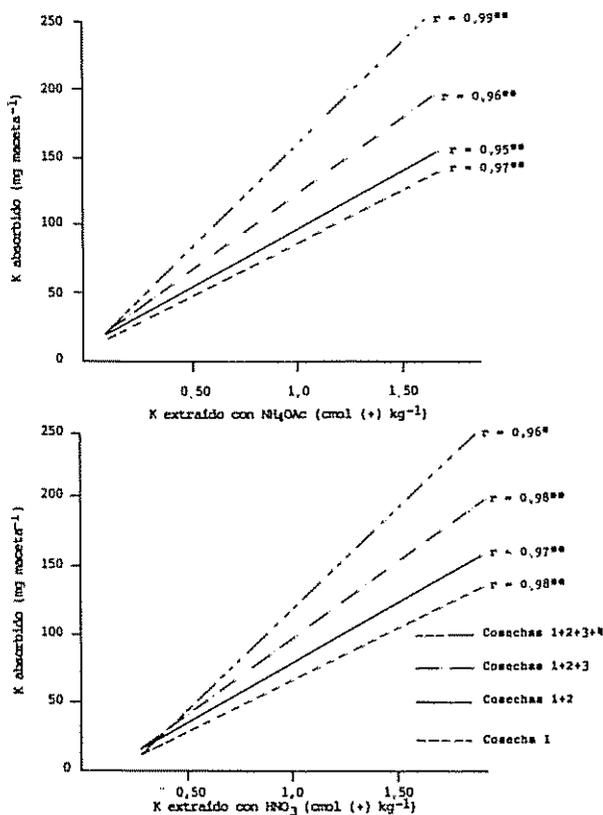


Fig. 4 Relación entre el K extraído con HNO_3 y NH_4OAc en los suelos y el K absorbido por la parte aérea del sorgo en las cuatro cosechas.

soluciones de NH_4OAc y HNO_3 (Fig. 4). En los suelos con mayor contenido de K extraído con cualquiera de estas soluciones hubo más absorción del nutrimento por la parte aérea del sorgo. Resultados similares han sido informados por Suárez (19) en Andepts del Valle Central de Costa Rica, Pope y Cheney (16) en Andepts de Oregon, Abruña (1) en Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico, Marín (9) y Ortiz (15) en diferentes suelos de Colombia.

Restitución de K

La capacidad de suministro de K se cuantificó restándole al K absorbido por la parte aérea del sorgo, la disminución en el contenido de K intercambiable después de las cosechas 1 y 2, y 3 y 4, respectivamente. De esta forma se determinó la cantidad de K liberado y absorbido por la planta desde la fracción no intercambiable, o el K fijado si el valor es negativo, de acuerdo con la fórmula:

$$\begin{array}{r} \text{K liberado} \\ \text{o} \\ \text{K fijado} \end{array} = \begin{array}{r} \text{K absorbido} \\ \text{planta} \end{array} + \begin{array}{r} \text{K inter-} \\ \text{cambiable} \\ \text{final} \end{array} - \begin{array}{r} \text{K inter-} \\ \text{cambiable} \\ \text{inicial} \end{array}$$

— K intercambiable inicial

La restitución de K después de las primeras dos cosechas de sorgo se presentó sólo en los suelos Arenal, Sabalito y Paso Canoas, que estaban deficientes en K intercambiable. Los valores oscilaron entre 1.5 y 18.9 mg kg^{-1} , con un promedio de 7.8 mg kg^{-1} (Cuadro 3). Después de las últimas dos cosechas, con excepción del testigo en Arenal, la tendencia se mantuvo aunque la liberación de K disminuyó notablemente. El K total restituido al final de las cuatro cosechas varió entre 6.0 y 33.8 mg kg^{-1} en los suelos Arenal y Sabalito (no se tomaron datos en Paso Canoas para cuatro cosechas). Del total de K removido por el sorgo en el tratamiento completo sin K, en Arenal el 25% provino de la fracción no intercambiable, en Sabalito el 46% y en Paso Canoas el 29%.

La liberación de K fue baja al compararla con otros suelos volcánicos de Costa Rica. Utilizando el método de extracciones sucesivas con NH_4OAc e incubación de los suelos en húmedo durante varios meses, Suárez (19) encontró un promedio de 35 mg kg^{-1} de K restituido en Andepts del Valle Central de Costa Rica, mientras que Arias (2), usando el mismo método, señala una restitución de 27 mg kg^{-1} en suelos volcánicos cafetaleros Martini y Suárez (12), trabajando en los mismos suelos indicados por Suárez (19), hallaron un promedio de 18 mg kg^{-1} de K restituido, después de tres cosechas sucesivas de tomate en invernadero. También en Andepts de Colombia (3) y Oregon (16), se han informado valores de 30 y 70 mg kg^{-1} de K liberado, respectivamente.

No hubo restitución de K en los suelos con contenidos iniciales adecuados de K intercambiable (Bijagua, Dos Ríos y Agua Buena), y más bien hubo fijación del elemento (Cuadro 3). En estos suelos, debido a que las cantidades de K intercambiable antes del cultivo fueron apropiadas, las plantas pudieron satisfacer sus requerimientos sin problemas durante las dos primeras cosechas; en las siguientes cosechas el crecimiento del sorgo fue muy escaso, por lo que no hubo gran absorción de K. El 100% de K removido por el sorgo en estos suelos provino de la fracción intercambiable.

En resumen, la capacidad de suministro de K en los Andepts estudiados fue muy baja, probablemente debido a los bajos contenidos de las fracciones intercambiables y no intercambiables hallados en los suelos, principalmente los de la Zona Sur. Los resultados encontrados sugieren que el K disponible en los suelos de esta última región podría agotarse rápidamente por acción de un cultivo intensivo o bien, lixivarse por efecto del clima húmedo que predomina en la zona.

Cuadro 3. Capacidad de suministro de potasio en seis Andepts de Costa Rica después de dos y cuatro cosechas sucesivas de sorgo en invernadero.

Suelo	K intercambiable			K removido por la planta			K liberado (+) o fijado (-)		
	A ¹	B ²	C ³	B	C	Total	B	C	Total
(mg kg ⁻¹)									
ARENAL									
Completo sin K	45	32.5	27	17.4	6.6	24.0	4.9	1.1	6.0
Testigo	45	36	48	27.9	18.9	46.8	18.9	14.9	33.8
BIJAGUA									
Completo sin K	195	61	37	112.5	-	112.5	-21.5	-	-21.5
Testigo	195	136	91	33.4	-	33.4	-25.6	-	-25.6
DOS RIOS									
Completo sin K	620	190	186	186.1	64.4	250.5	-243.9	60.4	-183.5
Testigo	620	468	244	37.4	11.9	49.3	-114.6	-212.1	-326.7
SABALITO									
Completo sin K	40	36.5	30	12.9	5.2	18.1	9.4	-1.3	8.3
Testigo	40	43.8	41	2.7	4.0	6.7	6.6	1.2	8.8
AGUA BUENA									
Completo sin K	170	46	42	63.2	7.0	70.2	-60.8	3.0	-57.8
Testigo	170	104	90	17.6	14.1	31.7	-48.4	0.1	-48.3
PASO CANOAS									
Completo sin K	50	36.5	31	19.0	-	19.0	5.5	-	5.5
Testigo	50	43.1	34	8.4	-	8.4	1.5	-	1.5

1 A = Antes de sembrar

2 B = Después de la segunda cosecha

3 C = Después de la cuarta cosecha

Conclusiones

La restitución de K después de cuatro cosechas sucesivas de sorgo fue baja, variando entre 6.0 y 33.8 mg kg⁻¹ y se presentó principalmente en los suelos deficientes en K intercambiable (Arenal, Sabalito y Paso Canoas). En los suelos con concentraciones iniciales adecuadas de K hubo fijación del elemento.

La reserva de K disponible (estimada con base a capacidad de restitución y contenido de K intercambiable y no intercambiable) tiende a ser más baja en los Andepts de la Zona Sur, probablemente debido al mayor grado de lixiviación que se presenta en estos suelos.

Se encontró correlación entre el K absorbido por el sorgo y el K extraído con NH₄OAc y HNO₃, y entre el K foliar y el K extraído con NH₄OAc, lo que sugiere que ambas soluciones fueron eficientes para determinar problemas de K.

Resumen

Se estudió la capacidad de restitución de K en Andepts localizados en la Cordillera Volcánica de Guanacaste y la Zona Sur de Costa Rica. Se analizó el K intercambiable y el K no intercambiable y se montó un ensayo de invernadero utilizando sorgo como planta indicadora, con dos tratamientos por suelo: testigo y fertilización completa sin K. Se hicieron cuatro siembras sucesivas.

La restitución de K después de cuatro cosechas fue baja, variando entre 6 y 33.8 mg kg⁻¹ y se presentó principalmente en los suelos deficientes en K intercambiable (Arenal, Sabalito y Paso Canoas). En los suelos con concentraciones iniciales adecuadas de K hubo fijación del elemento durante el cultivo. La reserva de K disponible es más baja en los Andepts de la Zona Sur, posiblemente porque hay más lixiviación en estos suelos.

Se encontró correlación entre el K absorbido por el sorgo y el K extraído con NH₄OAc y HNO₃ y en-

tre el K foliar y el K extraído con NH_4OAc , lo que sugiere que ambas soluciones fueron efectivas para determinar problemas de K.

Literatura citada

1. ABRUÑA, F. *et al.* 1976. Potassium supplying power of the major Ultisols and Oxisols of Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of University of Puerto Rico* 60(1):45-60
2. ARIAS, O. 1971. Capacidad de restitución de potasio en algunos suelos cafetaleros de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica 79 p.
3. ARTEAGA, C.; GUERRERO, R. 1978. Capacidad de restitución de potasio en suelos andinos de Nariño, Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 9(2):120-126
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.; PACHECO, R. 1984. Métodos analíticos para el estudio de suelos y plantas. San José, Editorial Universidad de Costa Rica. 152 p.
6. CRISOSTOMO, L.A.; DE CASTRO, A.F. 1970. Poder de suprimento de potássio de solos de zona fisiográfica de Baturité, Ceará, Brasil. *Turrialba* 20(4):425-433.
7. GOMEZ, C., CARRILLO, I.; ESTRADA, G. 1982. Adsorción de potasio en Andosoles de la zona cafetera. *Cenicafé* 33(4):104-128.
8. MAC LEAN, A.J. 1961. Potassium supplying power of some Canadian soils. *Canadian Journal of Soil Science* 41:286-296.
9. MARIN, G.; McCLUNG, A.C.; VILLATE, A.L. 1967. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. *Agricultura Tropical* 23(2):89-102.
10. MARTINI, J.A. 1966. Caracterización del estado del potasio en seis suelos de Panamá. *Fitotecnica Latinoamericana* 3(1-2):163-186.
11. MARTINI, J.A.; SUAREZ, A. 1976. Potassium status of some Costa Rican Latosols and Andosols and their response to potassium fertilization under greenhouse conditions. *Soil Science Society of America Proceedings* 40(6):895-900
12. 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.
13. MOLINA, E., BERTSCH, F.; CORDERO, A.; ALVARADO, A. 1986. Potasio en Andeps de Costa Rica. I. Formas en el suelo. *Turrialba* 36(3). 1986.
14. ORDOÑEZ, H.; BLASCO, M. 1971. Estudio sobre el potasio en algunos suelos del Altiplano de Pasto. *Boletín sobre suelos derivados de cenizas volcánicas* no. 2. 39 p.
15. ORTIZ, G. 1978. Correlación entre la capacidad de suministro de potasio y varios métodos de extracción química de este elemento en suelos de seis regiones de Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 9(2):109-119.
16. POPE, A.; CHENEY, H.B. 1957. The potassium supplying power of several Western Oregon soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 21(1):75-79.
17. PRATT, P.F. 1965. Potassium. In *Methods of soil analysis*. Ed. by C.A. Black. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy v.2, p. 1 022-1 030.
18. SEMINARIO, C.; VILLACHICA, H. 1982. Caracterización del potasio en algunos suelos de Chanchamayo, Selva Alta del Perú. *Turrialba* 32(4):471-480.
19. SUAREZ, A. 1968. Caracterización del estado del potasio en tres grandes grupos de suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sci. Turrialba, IICA. 305 p.
20. SUTTON, P.; SEAY, W. 1958. Relationship between the potassium removed by millet and red clover and the potassium extracted by four chemicals methods from Kentucky soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 22(2):110-115.

Notas y comentarios

Premio Nobel de Física de 1986

El Premio Nobel de Física se ha otorgado en 1986 a desarrollos tecnológicos en el examen microscópico, que han permitido que biólogos, químicos y físicos examinen la estructura de la materia hasta un nivel atómico y hagan investigaciones que han resultado en otros premios Nobel en los últimos 50 años

El premio se ha dividido en dos partes. Una, para Ernst Ruska, de Alemania Occidental, por su invención, en 1931, del microscopio electrónico, que permitió a los científicos realizar sus investigaciones más allá de los límites del microscopio óptico. La segunda mitad del premio se ha otorgado a dos científicos, Gerd Binnig, de Alemania Occidental, y a Heinrich Rohrer, de Suiza, por desarrollar otra clase de microscopio hace cinco años, en los laboratorios de la IBM, en Zurich, llamado por ellos, el "scanning tunnelling microscope" (no hay traducción oficial al español todavía), el que proporciona a los científicos una visión tridimensional de las superficies sólidas, átomo por átomo. Se tienden así, el principio y lo más reciente en la capacidad del hombre para examinar la materia más allá de lo que puede lograr el microscopio óptico.

El premio a Ruska pone el sello final a una discusión de 50 años sobre quién inventó el microscopio electrónico. Diez días antes de que Ruska presentase un trabajo que describía su invento, un investigador colega, Reinhold Ruedenberg, solicitó una patente en Alemania, y poco después en Inglaterra y en Estados Unidos. La solicitud de Ruedenberg fue eventualmente rechazada en Alemania, pero fue aceptada en los Estados Unidos. Muchos científicos mantuvieron, desde el principio, que el verdadero inventor era Ruska, quien continuó el desarrollo de su microscopio en Berlín durante la Segunda Guerra Mundial. Ruska, quien cumplirá 80 años en la Navidad de 1986, ha esperado 50 años un reconocimiento general de la paternidad de su invento.

Los microscopios electrónicos, que se basan en haces de electrones en vez de haces de luz para aumentar un objeto, han mejorado el aumento, de las

2 000 veces posible con el microscopio óptico, hasta un millón de veces en la actualidad. El promedio de la longitud de onda de la luz es de alrededor de 2 000 veces más grande que el tamaño promedio de un átomo, de manera que la luz visible y el microscopio óptico no pueden revelar detalles de la estructura de los átomos. Los electrones, por otro lado, pueden revelar las estructuras atómicas. El haz de electrones en un microscopio electrónico es enfocado, no por lentes de vidrio como en el microscopio óptico, sino por bobinas por las que pasa la electricidad y que crean campos eléctricos y magnéticos. El haz electrónico se enfoca al objeto mediante condensadores. Al final, al llegar el haz a una pantalla fluorescente que transforma la información, llevada por los invisibles electrones, en una imagen visible.

Los primeros microscopios electrónicos eran mucho menos poderosos que los que hay disponibles ahora. En 1944, la resolución típica de un microscopio electrónico era de 100 angstroms ($1 \text{ \AA} =$ una diezmilésima de milímetro). Pronto, investigadores de todo el mundo estuvieron trabajando sobre diferentes tipos de microscopios electrónicos. Pero ninguno de estos instrumentos puede conseguir el mismo grado de resolución que el del microscopio "scanning tunnelling", desarrollado en 1986 por Binnig y Rohrer, de la IBM. Este microscopio reciente puede mostrar diferencias en posición vertical hasta de 0.1 angstroms, un trigésimo del tamaño de un átomo promedio. Y puede también resolver horizontalmente caracteres que están separados por 6 angstroms.

La capacidad de este aparato de proporcionar al científico una detallada figura tridimensional de la superficie de un material en escala atómica es particularmente importante para los investigadores que tratan de desarrollar computadoras cada vez más pequeñas y al mismo tiempo más poderosas. Esto explica el interés de la IBM en financiar su desarrollo. Conforme los componentes de las computadoras se hacen más pequeños, su área superficial se hace relativamente mayor y así aumenta la necesidad, para los científicos, de lograr una imagen detallada de esas superficies.

El premio Nobel es el tercer galardón internacional para Binnig y Rohrer. En 1984, recibieron el premio Eurofísica Hewlett-Packard, y el premio internacional Rey Faisal. Hay ahora unos 50 grupos alrededor del mundo que están usando o construyendo estos instrumentos. A.G.