

### Summary

*The forms and availability of potassium for sorghum (Sorghum vulgare L.) were determined in 31 soil horizons from the orders Entisol, Inceptisol, Alfisol, Ultisol and Vertisol from the tropical humid region of Peru. Available K was also extracted with 2, 4, 6 and 8N sulfuric acid; 0.5 N hydrochloric acid; N sodium acetate, and N ammonium acetate.*

*Total K ranged from 1761 to 4548 ppm with the acid, the sandy soils having the lower amounts. No relationship was found between soluble K and the other forms. However, the ratio fixed/exchangeable K was a good index to group the soils. This ratio was higher in the more acid soils. Exchangeable K was directly related to clay content and inversely related to the degree of weathering of the soils. Sulfuric and hydrochloric acid extracted from 30% to 50% more K than ammonium acetate (exchangeable K), except in those soils with 2:1 expandible clays. Sodium acetate extracted only 20% to 65% of the exchangeable K.*

*The decrease in exchangeable K with cropping explains from 80% to 100% the uptake of K by plants in soils having more than 70% base saturation, while it only explains 50% of K uptake in soils having less than 50% base saturation. A tentative critical level for deficient soils is proposed at 0.15 meq K/100 g soil.*

### Introducción

La disponibilidad de nutrientes para las raíces es un aspecto de la nutrición mineral de las plantas estudiado con cierto énfasis en los suelos de la Costa y la Sierra, pero no en los suelos de la Selva peruana. En vista de la alta meteorización que existe en esta última región, es de esperar que la lixiviación del potasio sea intensa y, consecuentemente, que muchos de los suelos sean deficientes en este nutriente. La agricultura en la Selva empie-

za normalmente con la tumba y quema del bosque, lo cual eleva el contenido de K cambiante del suelo, para luego disminuir cuando éste último se cultiva en forma continua (19). Sin embargo, es probable que esta disminución en el contenido de K esté condicionado al tipo de suelo, clima y especie vegetal o cultivar. Para zonas con precipitaciones de alrededor de 2 000 mm/año, se ha encontrado que en los Ultisoles la deficiencia de K se presenta al segundo año de cultivo continuo después de la quema del bosque (19), mientras que un Inceptisol con dos años de cultivo no presenta la deficiencia aún al ser cultivado en macetas (20).

Los estudios realizados con suelos de Perú indican resultados contradictorios en cuanto a la evaluación del K disponible. Durand (6) encontró que el ácido nítrico N fue el extractante más adecuado para suelos de diferentes partes del Perú, incluyendo la Selva. Pero, los resultados encontrados por Oré (13)

<sup>1</sup> Recibido para publicación el 3 de octubre de 1981.

\* Ingeniero Agrónomo. Ex-alumno del Programa Académico de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria "La Molina", apartado 456 - Lima

\*\* Profesor asociado. Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria "La Molina", apartado 456 - Lima

sugieren que la capacidad fijadora de K de los suelos de la Selva es menor que los de la Costa y Sierra y que por lo tanto, el ácido nítrico no es un buen extractante en estos suelos. Es probable que estos resultados estuvieran en función del grado de meteorización del suelo y del tipo de arcilla predominante. En los suelos donde predomina la caolinita y la montmoriolinita la fijación de K es baja, y es bastante probable que el K cambiabile sea la principal fuente de K disponible para las plantas (11).

El presente experimento se efectuó para determinar las formas del K en 31 muestras de suelos del valle de Chanchamayo y evaluar la forma más disponible para las plantas de sorgo (*Sorghum vulgare* L.).

### Materiales y métodos

#### Suelos

Se estudiaron siete perfiles de suelos con un total de 31 horizontes del valle de Chanchamayo, Selva Alta del Perú. Estas muestras representan a seis grandes grupos de suelos extensamente distribuidos en la Selva peruana y que tienen un amplio rango de niveles de K y de mineralogía. Los perfiles están localizados en el trayecto de San Ramón hacia Pampa Silva, excepto uno que fue tomado camino a Villarica. El clima de la zona es subtropical húmedo (17), con una temperatura promedio mensual que oscila entre 21 a 25°C; la precipitación anual media es de 1900 mm. La altitud en la zona muestreada va desde 800 a 900 msnm. Algunas de las características generales de cada perfil y de los horizontes estudiados se presentan en el Cuadro 1.

#### Análisis químicos

Las muestras de suelos fueron secadas al aire, molidas con un rodillo de madera y pasadas por un tamiz de 2 mm. Los análisis de caracterización de los suelos se efectuaron utilizando los métodos normales del Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas del Departamento de Suelos de la Universidad Nacional Agraria-La Molina. Estos métodos fueron: composición mecánica por el método del hidrómetro usando calgon al 10% como dispersante; pH en una relación suelo: agua de 1:1; carbonatos por gasovolumetría; materia orgánica por el método de Walkley y Black; y nitrógeno total con el Microkjeldahl. El fósforo disponible fue extraído con bicarbonato de sodio 0.5 M a pH 8.5, empleando el ácido ascórbico como reductor. La capacidad del intercambio catiónico (CIC) se determinó con acetato de amonio N a pH 7.0 y en el extracto se midieron el calcio

(Versenato), magnesio (amarillo de tiazol), potasio y sodio (fotómetro de llama). La acidez cambiabile fue extraída con cloruro de potasio N y titulada con hidróxido de sodio, utilizando fenolftaleína como indicador. Debido a la limitación de no disponer de información mineralógica específica, la CIC de la arcilla fue calculada asumiendo una CIC de 1.34 meq/g de materia orgánica, de acuerdo con los resultados obtenidos en suelos de la zona (5).

El K del suelo fue fraccionado de la siguiente forma. El K soluble se extrajo de 10 g de suelo agitados en 50 ml de agua destilada. El K cambiabile fue extraído con acetato de amonio N a pH 7.0. Para la determinación del K fijado se utilizó la técnica de Wood y de Turk (21) en la cual se hierven por 10 minutos 10 g de suelo en ácido nítrico N, después de extraer el K cambiabile. El K total fue extraído con la mezcla de los ácidos nítrico y perclórico calentados a 220°C (4). El K residual es la diferencia entre el K total y la suma del K soluble, cambiabile y fijado.

El K disponible fue extraído con: 1) ácido sulfúrico en cuatro concentraciones diferentes: 2, 4, 6 y 8 N, en una relación suelo: ácido 1:5 (9); 2) dos extracciones sucesivas con ácido clorhídrico, 0.5 N en una relación suelo: ácido 1:10 consideradas por separado y en conjunto; 3) acetato de sodio N a pH 4.8 en una relación 1:7 (14) y 4) acetato de amonio N a pH 7.0 (14).

El K total de la planta fue determinado en una digestión con agua oxigenada y ácido sulfúrico (8). El K en los extractos de suelo fue determinado por fotometría de llama, mientras que en los extractos foliares fue determinado por espectrofotometría de absorción atómica.

#### Experimento de invernadero

Las muestras de los 31 horizontes fueron cultivadas en el invernadero en macetas con 300 g de suelo. Se tuvieron cinco plantas de sorgo por maceta y cuatro repeticiones por tratamiento. Todas las muestras recibieron una dosis constante de 200 ppm de N, 200 ppm P, 30 ppm Mg, 50 ppm S, 5 ppm Mn, 5 ppm Fe, 5 ppm Zn, 3 ppm B, 1 ppm Cu y 0.5 ppm Mo. Se realizaron dos cortes sucesivos de sorgo a los 25 y 50 días de la siembra. Después del primer corte se aplicaron 200 ppm adicionales de N y de P. No se aplicó K en ninguno de los dos cortes. Las muestras foliares fueron secadas a 79°C y analizadas para K, como se describió anteriormente.

El análisis estadístico se efectuó de acuerdo a lo propuesto por Calzada (2). Adicionalmente se reali-

Cuadro 1. Algunas características de los perfiles y horizontes de suelos estudiados.

Horizonte	Prof.	Arena	Arcilla	pH	M.O.	Calcareao	CIC	Cambiable			CIC* de la
								Ca	Mg	Al	Arcilla
	cm	%	%	%	%	%		meq /100 g			
PERFIL 1. Sipa Alto (San Ramón). Rhodudult.											
A1	0 - 20	59	21	4.0	4.9	0.0	7.8	2.9	0.3	2.1	12
A3	20 - 35	56	25	4.9	1.4	0.0	4.6	2.7	0.1	2.1	11
B1 1	35 - 55	39	27	5.1	0.9	0.0	4.3	1.5	0.1	2.2	11
B2 1t	55 - 80	36	47	5.4	0.3	0.0	5.9	1.7	0.1	2.9	12
B2 2 t	80 - 100+	34	47	5.0	0.1	0.0	5.6	2.3	0.1	3.8	12
PERFIL 2 Sipa Bajo (San Ramón) Troporthent											
Ap	0 - 17	54	18	5.0	3.7	0.0	9.7	5.6	0.6	0.8	26
AC	17 - 60	58	20	5.1	1.6	0.0	6.2	4.6	0.2	1.6	20
C	60 - 100+	57	22	5.2	1.9	0.0	5.8	3.8	0.2	2.3	15
PERFIL 3. La Bretaña (San Ramón) Dystrocept.											
Ap	0 - 18	65	5	6.0	2.7	0.0	6.2	5.3	0.5	0.2	52
AC	18 - 25	64	7	5.2	0.8	0.0	3.6	2.9	0.1	0.6	36
C1	25 - 40	57	18	5.0	0.3	0.0	4.2	1.7	0.1	1.2	21
C2g	40 - 55	57	17	5.3	1.5	0.0	3.6	2.2	0.1	1.0	9
C3g	55 - 80+	51	25	4.9	1.3	0.0	4.1	2.4	0.2	1.2	9
PERFIL 4. Cumbre Pampa Walley (Pampa Silva) Rhodudalf.											
A1	0 - 15	54	13	6.3	3.1	0.0	7.0	5.5	0.1	0.0	22
A3	15 - 37	52	17	6.2	1.2	0.0	5.4	4.9	0.1	0.0	22
B1 1	37 - 70	50	20	6.2	0.6	0.0	8.2	4.0	0.3	0.0	37
B1 2	70 - 90	52	23	6.2	0.5	0.0	3.8	2.6	0.7	0.0	14
B2	90 - 120+	43	37	6.4	2.0	0.0	5.6	3.9	1.2	0.0	8
PERFIL 5 Pampa Silva Cafetal (Pampa Silva). Eutrocept.											
Ap	0 - 20	52	13	6.5	3.0	0.9	9.6	7.9	1.1	0.0	43
Cca	20 - 40	56	14	7.6	1.6	0.9	12.4	11.1	0.7	0.0	73
C2	40 - 70	54	16	6.7	1.7	0.1	8.4	7.0	0.8	0.0	38
C3	70 - 100+	57	16	6.8	0.8	0.1	7.6	6.6	0.5	0.0	41
PERFIL 6. Entaz Bajo (Villarrica). Rhodudalf.											
Ap	0 - 18	20	37	6.6	1.7	0.0	0.6	9.3	0.9	0.0	22
B2 1t	18 - 48	17	49	5.2	0.9	0.0	18.2	15.5	0.9	1.3	35
B2 2t	48 - 64	21	45	5.8	0.2	0.0	22.3	20.2	0.9	0.7	49
B3	64 - 84	26	35	5.9	1.3	0.0	26.0	22.9	0.7	0.4	69
Cca	84 - 100+	34	25	7.1	1.3	2.2	17.4	16.7	0.5	0.0	63
PERFIL 7. Pampa Silva Vertisol (Pampa Silva). Chromudert											
A1	0 - 8	31	26	6.4	5.1	0.0	28.0	26.0	1.1	0.0	81
B2 1	8 - 60	30	31	6.6	2.9	0.0	30.1	28.4	1.2	0.0	85
B2 2	60 - 80	38	33	6.4	1.3	0.0	30.6	28.6	1.3	0.0	87
C	80 - 100+	60	18	6.0	0.2	0.0	28.7	26.8	1.3	0.0	158

\* Calculada asumiendo una CIC de 1.34 meq/g de materia orgánica.

zaron correlaciones múltiples y ecuaciones de regresión lineal y cuadrática utilizando las computadoras del Centro de Cómputo de la Universidad Nacional Agraria - La Molina.

## Resultados y discusión

### Formas de K en el suelo

Los resultados de las determinaciones de las formas de K en los suelos antes del cultivo con sorgo se presentan en el Cuadro 2. El K total promedio por perfil estuvo en el rango de 1761 ppm (Perfil 2) a 4548 ppm (Perfil 7). Los bajos contenidos de K en el Entisol y en el Ultisol (Perfiles 1 y 2) se explican por la naturaleza común del material original consistente en granito con predominancia de feldespato sódico (C. A. Villachica, Comunicación Personal). La diferencia en posición fisiográfica, Perfil 1 en ladera alta del cerro y Perfil 2 en la base del mismo cerro, condiciona la diferencia en pedogénesis entre ambos suelos. En cambio, el contenido de K total varió notablemente entre los Inceptisoles, ya que en el Distropept (Perfil 3, material madre lutita) el K total disminuyó con la profundidad, mientras que en el Eutropept (Perfil 3, material madre calcáreo) el K total aumentó con la profundidad. Este resultado refleja la diferencia en meteorización y en material madre entre ambos suelos. Los resultados del contenido del calcáreo y de la CIC presentados en el Cuadro 1 apoyan esta hipótesis. Los mayores contenidos de K total encontrados en los Perfiles 6 y 7 (Alfisol y Vertisol, respectivamente) con respecto al Perfil 4 (Alfisol), pueden estar asociados en parte al mayor contenido de arcilla, probablemente del tipo 2:1 (Cuadro 1). De lo expuesto se deduce que los contenidos más bajos de K total están en los suelos más meteorizados y en los de textura más arenosa. Sin embargo, en los materiales recientemente depositados y que no han sido muy afectados por la pedogénesis, el contenido de K total estará determinado por el material original.

El K soluble representó en promedio de 0.11 al 0.43% del K total y del 4 al 32% del K cambiante (Cuadro 2). Sin embargo, no existió una relación definida entre el K soluble y las demás formas de K en el suelo, como lo sugirió la falta de correlación entre el K cambiante, total o residual (15).

El K cambiante promedio por perfil estuvo en el rango de 24 ppm (Perfil 2) a 136 ppm (Perfil 7, Cuadro 2), correspondiendo las mayores cantidades a aquellos suelos con mayor contenido de arcilla y con las arcillas de mayor CIC (Cuadro 1). El K fijado estuvo presente en menores cantidades

(88 ppm) en los Perfiles 2 y 3 y en cantidades más altas (166 ppm) en los Perfiles 5 y 6. Con base en la relación K fijado/K cambiante, promedio por perfil, los suelos podrían ser reunidos en tres grupos. El primer grupo estará conformado por el Vertisol, con una cantidad de K fijado equivalente a la cantidad de K cambiante (razón 1:1). El segundo grupo estará conformado por los Alfisoles, el Ultisol y el Inceptisol eutrófico (Eutropept), con 1.2 a 2.3 veces el K fijado en relación al K cambiante. El tercer grupo estará formado por el Inceptisol distrófico (Dystropept) y el Entisol (Troporthent) con más de tres veces K fijado con respecto al K cambiante. Es posible explicar estas diferencias en función del tipo de arcilla predominante en cada suelo. Por ejemplo, la montmorillonita, arcilla predominante en los Vertisoles, se caracteriza por presentar una baja fijación relativa del K. La alta fijación observada en el Entisol y en el Inceptisol distrófico, con respecto al K cambiante, así como aquella observada en el Ultisol, presumiblemente se debe a la presencia de illita y montmorillonita mal cristalizada en cantidades altas en estos suelos (11, 13). Es de esperar que la presencia de caolinita en el Ultisol (13) disminuya la fijación del K. Las cantidades medias de K fijado en los Alfisoles sugiere la presencia de caolinita y de arcillas fijadoras de K de tipo 2:1 (18).

### Extracción química del K disponible

Al comparar las cantidades de K extraídas por los diferentes reactivos, se observa (Cuadro 3) que el ácido sulfúrico extrajo de 60 a 200% más K que el acetato de amonio en el Ultisol, el Entisol y en los Inceptisoles. En uno de los Alfisoles (Perfil 4) las extracciones con ácido sulfúrico fueron 30 a 50% mayores que aquellas del K cambiante. En el otro Alfisol (Perfil 6) y en el Vertisol no existió mayor diferencia entre las cantidades medidas con ambos extractantes, lo que probablemente se explique por la existencia de una mayor cantidad de minerales de arcilla expansible. La correlación entre el K extraído con ácido sulfúrico y el K cambiante fue significativa sólo para el ácido sulfúrico 8 N, con un coeficiente de determinación de 0.96 (15), lo cual sugiere que las diferentes ubicaciones del K absorbido en el complejo de cambio de estos suelos son igualmente accesibles para ambos reactivos.

En el Cuadro 3 también se observa que la primera extracción con ácido clorhídrico liberó cantidades de K similares a las del K cambiante, excepto en un Alfisol (Perfil 6) y en el Vertisol. La segunda extracción con ácido clorhídrico removió aproximadamente la mitad de lo extraído la primera vez. Este resultado indica que en los primeros cinco perfiles la primera

Cuadro 2. Formas del potasio en el suelo antes del cultivo.

Horizonte	Forma de Potasio			
	Total	Soluble	Cambiable	Fijado
ppm				
PERFIL 1 Sipa Alto (Rhodudult)				
A1	1 613	7	41	109
A3	1 950	3	16	103
B1 1	1 462	4	16	129
B2 1t	2 219	4	86	158
B2 2t	3 120	4	133	170
PERFIL 2. Sipa Bajo (Troporthent)				
Ap	1 657	6	47	103
AC	1 821	8	14	62
C	1 804	9	12	100
PERFIL 3. La Bretaña (Dystropept).				
Ap	4 664	10	65	98
AC	4 926	7	16	62
C1	2 072	4	23	84
C2g	2 365	2	16	94
C3g	1 487	4	20	97
PERFIL 4 Cumbre de Pampa Walley (Rhodudalf)				
A1	3 169	15	118	166
A3	2 291	8	59	184
B1 1	3 388	6	68	158
B1 2	4 097	5	74	166
B2	4 266	5	152	156
PERFIL 5. Pampa Silva Cafetal (Eutropept)				
Ap	2 486	7	82	179
Cca	3 754	6	51	191
C2	3 705	7	70	146
C3	5 094	9	74	133
PERFIL 6. Entaz Bajo (Rhodudalf)				
Ap	4 485	2	63	142
B2 1t	4 069	6	86	98
B2 2t	4 662	4	98	115
B3	4 248	12	90	99
Cca	4 440	8	76	196
PERFIL 7. Pampa Silva Vertisol (Chromudert).				
A1	4 973	6	177	123
B2 1	4 661	7	121	127
B2 2	4 217	3	117	103
C	4 339	3	129	121

Cuadro 3. Cantidad de potasio extraída del suelo por diferentes métodos y antes del cultivo (promedio por perfil).

Método de extracción	Perfil No.						
	1	2	3	4	5	6	7
	Rhodudult	Troporthent	Dystropept	Rhodudalf	Eutropept	Rhodudalf	Chromudert
	ppm K						
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N	92	72	66	124	107	74	127
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4N	93	84	79	136	111	97	141
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6N	100	71	68	142	120	87	160
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 8N	102	50	53	140	124	90	133
NH <sub>4</sub> OAc pH 7.0	58	24	28	94	68	87	134
HCl 1a ext.	62	32	39	94	70	49	100
HCl 2a ext.	26	17	16	42	36	32	38
HCl Total	86	49	55	135	105	81	143
NaOAc pH 4.8	35	13	19	51	34	18	35

extracción con ácido clorhídrico desplazó mayormente el K cambiante, mientras que en la segunda oportunidad se desplazó otras formas de K. En el Alfisol de Entaz y en el Vertisol se necesitaron dos extracciones sucesivas con ácido clorhídrico para desplazar una cantidad de K similar al K cambiante. En este sentido, el alto coeficiente de determinación obtenido al correlacionar las cantidades de K cambiante y aquel medido en la primera extracción con ácido clorhídrico ( $R^2 = 0.94^{**}$ ) apoya la hipótesis de que la primera extracción con ácido clorhídrico desplaza mayormente al K cambiante (Cuadro 3). El acetato de sodio extrajo entre 20 y 68% del K cambiante y tuvo una baja correlación con el K cambiante ( $R^2 = 0.23^{**}$ ) y con el K fijado ( $R^2 = 0.38^{**}$ ). Luego, se concluye que el ácido sulfúrico 8 N y el ácido clorhídrico en primera extracción son los que desplazan la mayor cantidad de K cambiante en los suelos estudiados, concordando con los resultados obtenidos por otros investigadores (3, 7, 10).

#### Absorción del K por las plantas

El K total absorbido por dos cortes de sorgo en cada muestra estuvo en el rango de 3 a 124 ppm (Cuadro 4). Las muestras de los Perfiles 1, 2 y 3, que tuvieron las menores cantidades de K cambiante, presentaron una absorción menor a 12 ppm de K, en promedio de cada perfil. En cambio, la absorción del K fue media (37 ppm) en los perfiles 5 y 6 correspondiendo con el nivel medio de K cambiante en estos suelos. Las mayores absorciones promedio de K se produjeron en los suelos de los perfiles 4 y 7

(54 y 78 ppm de K, respectivamente), lo que estuvo de acuerdo con su mayor contenido de K cambiante (Cuadro 2).

Los resultados presentados en los Cuadros 2 y 4 evidencian que el K limitó el desarrollo del sorgo al primer corte en las muestras del Ultisol y en las muestras subsuperficiales del Entisol y del Inceptisol distrófico. Para el segundo corte, los rendimientos obtenidos en las muestras de los perfiles 1 al 4 fueron notoriamente menores que aquellos obtenidos al primer corte, mientras que en las muestras de los perfiles 5 a 7 la disminución en el rendimiento no fue tan espectacular. Los menores rendimientos observados en el Ultisol probablemente también se explican parcialmente por una mayor saturación con Al en este suelo (Cuadro 1). En el Alfisol de Pampa Walley, el Inceptisol eutrófico y en el Vertisol, el rendimiento de materia seca al segundo corte fue del orden 60, 78 y 73%, respectivamente, de aquel obtenido al primer corte (Cuadro 4). En el Alfisol y en Inceptisol esto correspondió a una disminución en la absorción de K al segundo corte a niveles de 66 y 85% del K absorbido al primer corte (Cuadro 4). En el Vertisol (Perfil 7), la reducción en la absorción del K al nivel de 44% de lo absorbido al primer corte, pudo deberse a un consumo de lujo durante los primeros 25 días de crecimiento del sorgo, ya que el rendimiento de materia seca al segundo corte solo disminuyó al nivel de 74% con respecto al primer corte.

El K absorbido al primer corte correspondió aproximadamente al 30% del K cambiante inicial, excepto en los Perfiles 1 y 7 (Cuadro 2 y 4). En las muestras de los Perfiles 1 y 7, la relación fue del orden de

Cuadro 4. Rendimiento de materia seca (mg) por maceta y cantidad promedio de potasio acumulado en la parte aérea del sorgo (mg de de K por kg de suelo).

Horizonte	Materia seca/corte		K acumulado/corte		
	1°	2°	1°	2°	Total
PERFIL 1. Sipa Alto (Rhodudult)					
A1	503	76	9.3	2.0	11.3
A3	275	10	3.7	0.1	3.8
B1 1	213	10	2.7	0.1	2.8
B2 1t	208	10	5.7	0.1	5.8
B2 2t	241	10	6.7	0.1	6.8
PERFIL 2. Sipa Bajo (Troporthent)					
Ap	790	272	18.4	6.1	24.5
AC	438	10	7.4	0.1	7.5
C	273	10	3.4	0.1	3.5
PERFIL 3. La Bretaña (Dystropept)					
Ap	857	487	19.1	8.4	27.5
AC	499	172	4.5	2.6	7.1
C1	316	283	7.2	5.1	12.3
C2g	277	10	5.5	0.1	5.6
C3g	315	10	6.6	0.1	6.7
PERFIL 4. Cumbre de Pampa Walley (Rhodudalf)					
A1	995	479	48.7	25.4	74.1
A3	729	469	25.3	27.4	52.7
B1 1	861	485	36.4	16.3	52.7
B1 2	663	405	32.0	21.7	53.7
B2	458	408	20.3	16.2	36.5
PERFIL 5. Pampa Silva Cafetal (Eutropept)					
Ap	940	811	20.7	16.5	37.1
Cca	844	606	15.5	15.1	30.6
C2	676	492	19.4	16.1	35.5
C3	535	425	27.8	14.6	42.4
PERFIL 6. Entaz Bajo (Rhodudalf)					
Ap	806	746	22.3	14.9	37.2
B2 1t	603	596	40.0	15.5	55.5
B2 2t	477	619	25.9	17.5	43.4
B3	626	519	20.5	11.8	32.3
Cca	531	485	8.7	10.8	19.5
PERFIL 7. Pampa Silva Vertisol (Chromudert)					
A1	1.093	867	87.8	35.9	123.7
B2 1	967	682	43.5	20.8	64.3
B2 2	930	655	31.6	18.6	50.2
C	916	677	55.7	19.7	75.4

10% y de 45%, respectivamente, debido a los ya mencionados factores de la acidez cambiante y del consumo de lujo, respectivamente.

El K total absorbido por las plantas correlacionó muy bien con el K extraído con acetato de amonio (K cambiante). con ácido sulfúrico 8 N y con ácido

clorhídrico 0.5 N primera extracción (Cuadro 5). Las correlaciones fueron menores cuando se sumaron las cantidades obtenidas en las dos extracciones sucesivas con ácido clorhídrico, lo que indicó la eficiencia de la primera extracción con ácido clorhídrico en predecir la disponibilidad del K para el sorgo. También se observaron correlaciones menores cuando se usó ácido sulfúrico 6 N o acetato de sodio. No se obtuvo correlación significativa entre las cantidades de K determinadas en ácido sulfúrico 2 N y 4 N y aquellas absorbida por el sorgo. Los resultados evidencian que aquellos métodos que miden el K cambiante son los que proveen un mejor estimado del K del suelo absorbido por las plantas de sorgo. Por ejemplo, cerca del 92% de la variación en la absorción de K al primer corte y del 97% de la absorción total fue predecida por las variaciones en el K cambiante extraído con acetato de amonio. Una respuesta similar es obtenida con el ácido sulfúrico 8 N. Resultados concordantes fueron observados por Nelson (10) en diferentes suelos de Mississippi donde el K extraído con acetato de amonio también fue un buen índice del K absorbido por las plantas de girasol.

#### Fuentes de K disponible para la planta

Los análisis de las muestras de suelos tomadas antes y después del cultivo con sorgo indican que, en el Entisol, el Inceptisol eutrófico, los Alfisoles y el Vertisol, se puede atribuir la mayor parte del K cambiante (Cuadro 6) En el Inceptisol distrófico, el K absorbido pudo provenir de cantidades equivalentes de K cambiante y de K residual. Es probable que algún factor, presumiblemente el Al, limitó la absorción del K por las plantas en el Ultisol, lo que permitió la acumulación del K cambiante al

segundo corte. De los resultados presentados en los Cuadros 4 y 6 se puede deducir que el K absorbido por las plantas de sorgo provino en 80 a 100% del K cambiante en los suelos con más de 70% de saturación de bases y en 50% del K cambiante y 50% del K fijado en el Inceptisol de baja saturación de bases (Perfil 3).

Los resultados del Cuadro 6 indican que en todos los suelos, excepto el Inceptisol eutrófico (Perfil 5), los cambios en el K cambiante estuvieron acompañados de cambios en el K residual y muy poco en el K fijado. Este resultado no debe interpretarse como que el K fijado no varía, puesto que es bien conocido el equilibrio que existe entre las formas de K en el suelo. La explicación que se asume en este caso es de que probablemente el equilibrio estuvo dirigido a mantener los niveles de K cambiante y fijado en el suelo, a partir del K residual

La disminución en el K total en el suelo con el cultivo (Cuadro 6) explica en todas las muestras las cantidades de K absorbidas por las plantas de sorgo (Cuadro 4). Es interesante resaltar la baja cantidad del K absorbido por los dos cortes de sorgo en relación al K total del suelo (máximo 1.7% en el Vertisol, Cuadro 6). Los porcentajes de K absorbido por las plantas en relación al K total son menores que aquellos informados por otros investigadores (12), debido a que en el presente experimento sólo se pudo obtener dos cortes de sorgo en los suelos que tenían menos de 5.4 de pH (Perfiles 1, 2 y 3).

Luego, los resultados indican que el K estuvo presente en cantidades deficientes al primer corte en el Ultisol, el Entisol y el Inceptisol distrófico. En los otros suelos el K disponible estuvo en un nivel adecuado, pero empezó a limitar los rendi-

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre el potasio disponible por diferentes extractantes químicos y el absorbido por las plantas.

Extractante	K absorbido 1° corte	K absorbido 2° corte	K absorbido total
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N	0.146	0.007	0.327
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4N	0.106	-0.329	0.097
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6N	0.307	0.151	0.505**
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 8N	0.938**	0.957**	0.845**
NH <sub>3</sub> OAc pH 7.0	0.953**	0.948**	0.879**
HCl 1°	0.951**	0.982**	0.826**
HCl 2°	0.651**	0.553**	0.781**
HCl Total	0.331	0.180	0.533**
NaOAc pH 4.8	0.378	0.283	0.481**

\*\* Significativo al 1%.



Cuadro 6. Cambio de las formas de potasio en el suelo y potasio absorbido por el sorgo (promedio por perfil).

Perfil No.	Suelo	No. de horiz.	Forma de K <sup>1</sup>			K absorbido
			Cambiable <sup>2</sup>	Fijado	Resid.	K total suelo
				ppm		%
1	Rhodudult	5	+ 18.8	-14.4	-32.1	0.3
2	Troporthent	3	- 9.7	+27.7	-104.7	0.7
3	Distropept	5	- 6.1	+ 2.2	- 6.2	0.4
4	Rhodudalf	5	- 59.8	-18.0	-84.2	1.6
5	Eutropept	4	- 37.8	-30.4	+18.7	1.0
6	Rhodudalf	6	- 29.6	+13.4	-78.9	0.9
7	Chromudert	4	-93.2	-30.2	-188.6	1.7

1 Los signos indican aumento (+) o disminución (-) con respecto al contenido inicial.

2 Incluye al K soluble

mientos al segundo corte, excepto en el Alfisol serie Entaz. Tentativamente se puede sugerir que el nivel crítico entre los suelos deficientes y adecuados en K disponible esta alrededor de 0.15 meq K/100 de suelo. A partir de 0.30 meq K/100 g de suelo se observa el consumo de lujo del K por las plantas. Resultados similares fueron encontrados por Sobulo (16) en diferentes suelos de Nigeria. En vista de que la agricultura de la Selva peruana esta orientada principalmente hacia el establecimiento de plantaciones de especies exigentes en K, tales como el café y los frutales, se hace evidente la importancia de la capacidad de suministro de K a largo plazo en estos suelos. Los resultados indican que en muchos de los suelos ácidos, la fertilización potásica será una práctica obligada para obtener buenos rendimientos en los cultivos.

### Resumen

En 31 horizontes de suelos de los órdenes Entisol, Inceptisol, Alfisol, Ultisol y Vertisol del trópico húmedo peruano se caracterizaron las formas de K y su disponibilidad para las plantas de sorgo (*Sorghum vulgare* L.). El K disponible también se extrajo con ácido sulfúrico 2, 4, 6 y 8 N; ácido clorhídrico 0.5 N en dos extracciones sucesivas; acetato de sodio N, pH 4.8 y acetato de amonio N, pH 7.0.

El K total varió entre 1761 y 4548 ppm, encontrándose las menores cantidades en los suelos ácidos y en los arenosos. No se encontró relación entre el K soluble y las otras formas de K. En cambio, la relación K fijado/K cambiable fue un buen índice para agrupar los suelos. Esta relación fue mayor en los suelos más ácidos. Por el contrario, el K cambiable

estuvo presente en mayores cantidades en los suelos menos meteorizados y con mayor contenido de arcilla. El ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico extrajeron de 30 a 50% más K que el acetato de amonio (K cambiable), excepto en aquellos suelos con arcillas 2:1 expandibles. El acetato de sodio extrajo sólo de 20 a 65% del K cambiable. La disminución en el K cambiable con el cultivo explica en 80 a 100% la absorción de este nutrimento por el sorgo en los suelos con más de 70% de saturación de bases, mientras que esta disminución sólo puede explicar el 50% del K absorbido por las plantas en los suelos con menos de 50% de saturación de bases. Tentativamente se propone que los suelos deficientes en K tuvieron menos de 0.15 meq de K/100 g de suelo, mientras que sobre 0.30 meq de K/100 g de suelo existió consumo de lujo.

### Literatura citada

1. ATTOE, O. J. y TRUOG, E. Exchangeable and acid soluble potassium as regards to availability and reciprocal relationships. Soil Science Society American Proceedings 10:81-86 1945.
2. CALZADA, J. Métodos estadísticos para la investigación. Ed. Jurídica, 3a ed. Lima. 643 p. 1970.
3. CONVERS, E. S. y McLEAN, E. O. Plant uptake and chemical extractions for evaluating potassium release characteristics of soils. Soil Science Society American Proceedings. 33:226-230. 1969.

4. CHAPMAN, H. D. y PRATT, P. F. Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Riverside, California. 1961. 309 p.
5. DAVELOUIS, J. R. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de la zona de Satipo. Universidad Nacional Agraria "La Molina". Lima 1974. 14 p. (Mimeografiado).
6. DURAND, P. Capacidad de liberación y evaluación del potasio en diversos suelos del Perú. Tesis Ing. Agro Universidad Nacional Agraria - La Molina, Lima. 1966. 66 p.
7. EKPETE, D. M. Comparison of methods of available potassium assesment for eastern Nigeria soils. Soil Science. 113:213-221. 1972.
8. HUNTER, A. H. International soil fertility evaluation and improvement program laboratory procedures. Dep. of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh 1974. 14 p.
9. HUNTER, A. H. y PRATT, P. F. Extraction of potassium from soils by sulfuric acid. Soil Science Society American Proceedings. 21:595-598. 1957.
10. NELSON, L. E. A comparison of several methods for evaluating the potassium status of some Mississippi soils. Soil Science Society American Proceedings. 23:313-316. 1959.
11. OELSLIGLE, D. D., DOLL, E. C. y VALVERDE, C. Potassium release characteristics of selected peruvian soils. Soil Science Society American Proceedings. 39:891-896. 1975.
12. OLIVEIRA, V., LUDWICK, A. E. y BEATTY, M. T. Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. Soil Science American Proceedings. 35:763-767. 1971.
13. ORE, D. Distribución del potasio en algunos suelos representativos de la Costa, Sierra y Selva del Perú. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria - La Molina. Lima, 1978. 110 p.
14. PEECH, *et al* Methods of soil analysis for soil fertility investigations Circular 757 USDA in cooperation with the New York and North Carolina Agric. Exp. Sta. Washington, D. C. 1974.
15. SEMINARIO C. Evaluación de métodos para la determinación de potasio disponible en perfiles de suelos del valle de Chanchamayo. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria - La Molina. Lima, 1973. 87 p.
16. SOBULO, R. A. Evaluation of analytical methods for determining potassium status of Nigerian soils. Proc. of the 10th Collogium of the International Potash Institute. Abidjan Ivory Coast. 1973. pp. 119-129.
17. TOSSI, J. Zonas de vida natural en el Perú. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico del Perú. Bol. Tec. No. 5 IICA. Lima, 1960. 271 p.
18. TYLER, E. J., BUOL, S. W. y SANCHEZ, P. A. Genetic association of properties of soils of an area in the upper Amazon Basin of Peru. Soil Science Society American Journal 42:771-776. 1978.
19. VILLACHICA, H. Maintenance of soil fertility under continuous cropping in an Ultisol of the Amazon basin of Peru. Tesis Ph.D. Soil Sci. Dept. North Carolina State University, Raleigh, 1978. 269 p.
20. VILLACHICA, H., y QUEVEDO, F. Efecto del encalado en el rendimiento y la concentración de nutrimentos en el sorgo. Turrialba 22:11-18. 1972.
21. WOOD, L. K., y DE TURK, E. E. The absorption of potassium in soils non-replaceable forms. Soil Science Society American Proceedings 5:152-161. 1940.