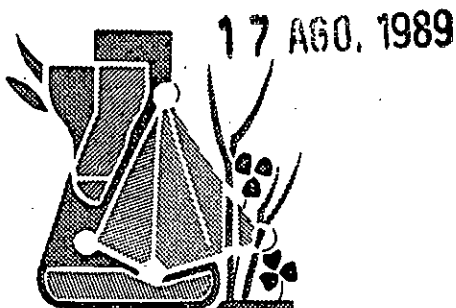




✓
Universidad de la República
FACULTAD DE AGRONOMIA



**CAPACIDAD DE SUMINISTROS
DE POTASIO EN SUELOS
DEL URUGUAY**

HERNANDEZ J. - CASANOVA O.N. - ZAMALVIDE J.P.

FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

BOLETIN DE INVESTIGACION N° 19

MONTEVIDEO

1988

URUGUAY

El **'Boletín de Investigación'** es una publicación seriada que recoge los resultados de las investigaciones realizadas por el personal académico de la Facultad de Agronomía, una vez que ellos fueron revisados y aprobada su publicación por la Comisión de Publicaciones Científicas. Las solicitudes de adquisición y de intercambio con este Boletín debe dirigirse al Departamento de Documentación, Facultad de Agronomía, Garzón 780, Montevideo - URUGUAY.

Comisión de Publicaciones Científicas:

Martín Buxedas, Primavera Azaguirre, Carlos Bentancourt (profesores),
Pablo Fernández (estudiante),
Roberto Malfatti (profesional).
Alicia Torres (comunicadora rural),

Capacidad de suministros de potasio en suelos del Uruguay/J.
Hernández, O.N. Casanova, J.P. Zamalvide. -- Montevideo :
Facultad de Agronomía, 1988. -- 20p. -- (Boletín de investiga-
ción; 19)

ARCILLA
FERTILIZANTES POTASICOS
FRACCIONES DE K DEL SUELO
Hernández, J.
Casanova, O.N., coaut.
Zamalvide, J.P., coaut.

CDU 631.4

CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE POTASIO EN SUELOS DEL URUGUAY

Hernández, J.*; Casanova, O. N.; Zamalvide, J.P.*****

RESUMEN

Se realizó un ensayo de invernáculo con trece suelos del Uruguay, que diferían en la mineralogía de su fracción arcilla y contenidos de K, evaluándose en cada suelo la capacidad de suministro y respuesta al agregado de K a través de 4 niveles: un tratamiento testigo y tres niveles de agregado de K equivalentes al 25, 75 y 150% del contenido inicial en forma intercambiable. Se evaluó la absorción de K por plantas de raigrás, en 4 cortes del mismo. Los niveles iniciales de K intercambiable oscilaron entre 0.11 y 1.5 meq/100 gr. de suelo, representando esta fracción entre un 2.6 y 21% del contenido en K total, con un promedio de 6.3%. La suma de los contenidos en las fracciones solución, intercambiable y no intercambiable oscilaron entre 8 y 32% del K total. Se observaron altas correlaciones entre los niveles de K en los suelos bajo diferentes formas con el contenido de arcilla y la presencia de illita en esta fracción. Los niveles mayores de K en todas las fracciones (total, no intercambiable e intercambiable) estuvieron asociados a suelos de textura pesada y mineralogía tipo mica. El suministro de K en función del tiempo mostró diferencias entre suelos, no solo en cuanto a las cantidades totales absorbidas, sino también a la distribución de la absorción en el tiempo. En suelos de texturas pesadas con mineralogía tipo mica, el suministro de K fue más alto y sostenido en el tiempo, en tanto que en suelos de texturas livianas y/o ausencia de minerales tipo mica en la fracción arcilla, el suministro de K fue más bajo, dándose el 80% de la absorción total en los dos primeros cortes. Sin embargo, en este último caso se observó que en suelos de textura pesada la energía de retención del K fue mayor, lo que determinó una distribución más uniforme de las cantidades absorbidas en los dos primeros cortes. La eficiencia de utilización del K agregado a los suelos fue mayor a medida que los suelos presentaban menores mecanismos de reposición de K a partir de formas no intercambiables (K en minerales tipo mica de la fracción arcilla). La disminución en los niveles de K en los suelos fue más acentuada en suelos de textura liviana y bajos contenidos en minerales tipo mica.

Palabras claves: Fracciones de K del suelo; Mineralogía de arcillas; K asimilable; Fertilización potásica.

Recibido el 13 de setiembre, 1988.

Aceptado el 15 de noviembre, 1988.

* Profesor Asistente en Fertilidad de Suelos.

** Profesor Adjunto en Fertilidad de Suelos.

*** Profesor Agregado en Fertilidad de Suelos

SUMMARY

A greenhouse experiment was carried out to assess the potassium supply of 13 soils of Uruguay which differed in the mineralogy of the clay fraction and in exchangeable K levels. Rates of K fertilizer equivalent to 0, 25, 75 and 150% of the initial exchangeable K were applied to each soil. Potassium absorption by ryegrass was measured in four harvests. The initial exchangeable soil-K levels ranged from 0.11 to 1.5 meq/100 g. This fraction represented from 2.6 to 21% of the total soil-K, with an average of 6.3%. The sum of K levels in solution, exchangeable, and nonexchangeable fractions ranged from 8 to 32% of the total soil K. High correlations were observed between the values of the different soil-K fractions with clay content and proportion of illite in the clay fraction. The highest soil K levels in all fractions (total, exchangeable and nonexchangeable) were found in soils having high clay content and mica-type mineralogy. The soils studied differed in the total K supply as well as in the pattern of K absorption over harvests. The K absorption was high in all harvests taken from soils with high proportion of clay which had mica-type mineralogy. In coarse textured soils and in those without mica-type mineralogy, K supply was low and 80% of the total K yield was observed in the first two harvests. In fine-textured soils which did not have mica-type mineralogy, the K retention energy was stronger resulting in a more uniform distribution of absorbed K over harvests. The utilization of applied K was higher in soils which had low K supply from the nonexchangeable fraction (K from minerals in the clay fraction with mica structure). The decrease in K levels with time was more marked in coarse-textured soils which had low proportion of mica-type minerals.

Key words: Soil K fractions; Clay mineralogy; Potassium availability; Potassium fertilization.

INTRODUCCION

El manejo de la fertilidad de los suelos del país se ha centrado en el ajuste de los niveles de nitrógeno y fósforo para el óptimo rendimiento, por ser estos nutrientes los que han mostrado ser en términos generales los más limitantes de la producción en la mayoría de los rubros. No obstante, la adecuación de los niveles de nitrógeno y fósforo y el aumento de los potenciales de producción, asociado con una agricultura continua con manejo extractivo de nutrientes, puede dar lugar a situaciones en las cuales otros nutrientes pasen a ser limitantes de los rendimientos. A esto se agrega la incorporación al uso agrícola intensivo de suelos de baja fertilidad natural. En los últimos años, en el país se han encontrado algunas situaciones en las cuales, bajo determinadas condiciones de suelos y cultivos, el potasio ha aparecido como una limitante más en la producción. Estas evidencias se han manifestado principalmente en cultivos como la caña de azúcar y viña sobre suelos de texturas variadas, y en citrus y cultivos hortícolas, principalmente sobre suelos de texturas livianas.

A los efectos de predecir la capacidad de suministro de potasio por parte de los suelos, varios autores en otros países han realizado estudios de las diferentes fracciones químicas de potasio, así como de las características asociadas de los suelos con dicho suministro. Hippy y Thomas (1967) trabajando con cuatro suelos de diferente constitución mineralógica y niveles de potasio en solución y bajo forma intercambiable concluyeron que, a los efectos de caracterizar la asimilabilidad del potasio, debe considerarse el nivel de potasio intercambiable del suelo y el tipo de arcilla. El

porcentaje de arcilla de los suelos y el tipo de mineral arcilloso predominante en dicha fracción determina, según los autores, la afinidad con la cual la arcilla retiene a los cationes y por consiguiente el desplazamiento del equilibrio potasio en solución-potasio intercambiable. En un trabajo posterior, Thomas y Hipp (1968) consideran que el equilibrio entre las formas intercambiable y solución toma gran importancia en la nutrición potásica de las plantas durante una estación de crecimiento, en tanto que para mantener niveles adecuados de absorción durante períodos largos de tiempo es de mayor importancia el nivel de equilibrio entre K intercambiable y K no intercambiable. Graley (1978), Oliveira et. al. (1971) y Pope y Cheney (1957) han puesto énfasis en el estudio de la absorción de potasio proveniente de formas no intercambiables, por el hecho de que no en todos los casos se observa una correlación entre el potasio absorbido por el cultivo y el potasio inicialmente intercambiable. Estudios realizados por Schmitz y Pratt (1953) comprobaron que el valor de potasio intercambiable en suelos poco alterados es un buen estimador del potasio liberado por el suelo durante varios años de cultivo. Sin embargo, en suelos medianamente a muy alterados, la correlación entre formas intercambiables y la liberación de K durante el mismo período de tiempo fue muy baja. La falta de correlación entre el potasio intercambiable y la liberación de potasio de la fase no intercambiable también fue comprobada por Pearson (1952), trabajando con ocho suelos muy meteorizados y lixiviados de Alabama.

Dada la importancia de los aspectos mencionados anteriormente, y tomando en cuenta los escasos estudios realizados en el país en relación con la evaluación del suministro de K, se realizó la caracterización de diferentes suelos de Uruguay desde dos puntos de vista:

1. Caracterización de las diferentes fracciones de K de los suelos y su relación con otros parámetros de los mismos.
2. Evaluación de la capacidad de suministro de K de los suelos frente a extracciones intensas (estudio macetero en invernáculo).

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un ensayo macetero en invernáculo con trece suelos del Uruguay, con diferentes niveles de K intercambiable, y desarrollados a partir de materiales madre que diferían en su composición mineralógica. Fundamentalmente se tomaron suelos con bajos contenidos en K, pero se incluyeron en forma comparativa algunos suelos con altos niveles, entre ellos un suelo desarrollado sobre materiales con altos contenidos de mica del Basamento Cristalino (Brunosol San Gabriel-Guaycurú). Las muestras de suelo fueron secadas al aire, molidas y tamizadas, colocando 2 kg. de

suelo en macetas de plástico, mezclando previamente con el suelo las dosis de potasio (como KCl), establecidas como un 25, 75 y 150% del contenido en K intercambiable (meq/100 g.) de cada suelo, incluyendo también un testigo sin agregado de potasio. Los diferentes tratamientos fueron asignados al azar en tres bloques, (diferentes posiciones en el invernáculo), adicionándose a cada tratamiento una solución conteniendo los otros macro y micronutrientes. Se sembró semilla de raigrás, dejando 20 plantas luego de la emergencia, manteniéndose la humedad de los suelos cercana a Capacidad de Campo. Se realizaron cuatro cortes de las plantas a lo largo del ciclo, secándolas en estufa y pesando, luego de lo cual se determinó su contenido en K.

Por otro lado, se realizó la caracterización química de K en los suelos: K en solución extractado a partir de una pasta saturada en agua; K intercambiable extractado con acetato de amonio 1N a pH 7.0; K no intercambiable extractado con ácido nítrico 1N en ebullición; y una estimación del K total del suelo mediante un ataque triácido (mezcla sulfonítrica y ácido clorhídrico; técnica analítica de la Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer). En todos los casos se determinó el K mediante fotometría de llama. La caracterización mineralógica de estos suelos fue realizada por J. Pazos (1981) mediante el análisis por difracción de Rayos X de la fracción arcilla menor a 2 micras. Los datos obtenidos se indican en los cuadros No. 1 y 2.

CUADRO No. 1

Análisis mecánico y caracterización química de los suelos estudiados

SUELO Y ASOCIACIÓN (MGAP-DSF)	ARCILLA	LIMO	ARENA	MATERIA ORGÁNICA	pH (H ₂ O)	meq/100 g				
						C.I.C.	Ca	Mg	K	Na
1. BRUNOSOL COLONIA PALMA	18.8	22.5	58.7	2.47	5.7	13.8	8.5	1.53	0.11	0.21
2. VERTISOL ITAPEBI-TRES ARBOLES	38.9	37.8	23.3	5.93	5.4	33.2	20.8	5.76	0.36	0.30
3. ARGISOL VERGARA	14.7	34.4	50.9	2.63	5.0	8.0	3.0	1.01	0.14	0.13
4. PLANOSOL RIO BRANCO	25.2	49.6	25.2	2.54	5.1	10.5	3.8	1.58	0.13	0.24
5. ACRISOL RIVERA	6.5	7.2	84.3	0.85	5.3	2.4	1.0	0.36	0.25	0.13
6. ACRISOL TACUAREMBO	10.3	9.2	80.4	1.96	4.9	4.5	1.3	0.53	0.16	0.19
7. ARGISOL ALBERTA	8.8	7.4	83.8	1.90	5.6	4.7	2.3	0.73	0.19	0.21
8. BRUNOSOL YOUNG	31.9	29.6	38.5	4.32	7.1	24.2	27.8	0.95	0.57	0.16
9. VERTISOL LA CAROLINA	40.4	49.2	10.4	8.25	5.7	39.9	32.5	4.77	0.28	0.45
10. ARGISOL SALTO	8.6	6.8	84.6	1.17	6.0	3.7	2.1	0.72	0.19	0.15
11. BRUNOSOL TOLEDO	32.7	57.4	9.9	3.67	5.8	17.5	11.0	3.07	0.89	0.31
12. BRUNOSOL SAN GABRIEL-GUAYCURU	19.2	18.7	62.1	4.18	4.7	14.6	6.0	2.56	0.45	0.15
13. BRUNOSOL QUEQUELO	41.5	37.7	20.8	5.18	6.6	34.8	27.0	1.90	1.50	0.22

Nota:

La C.I.C. de los suelos fue determinada por extracción con Acetato de Amonio 1N a pH 7.0

CUADRO No. 2

Contenido de potasio en diferentes fracciones químicas, mineralogía de la fracción arcilla y material madre de los suelos estudiados

SUELO	meq/100g						MINERALOGIA DE FRACCION ARCILLA				
	K total	K total	K no int.	K int.	K soluc.	K int)2	DOM	ACC	MEN	INT	MATERIAL MADRE
1. BRUN. CP	0.057	1.47	0.13	0.11	0.0038	3.400	M	-	C	IM	Cuaternario
2. VERT. I-TA	0.177	4.54	0.52	0.36	0.0060	1.660	M	-	C	IM	Cuat. s/lasalto
3. ARG. VE	0.127	3.26	0.30	0.14	0.0232	16.560	M-C	-	I	2:1	Cuat. s/Cristalino
4. PLAN. RB	0.192	4.92	0.27	0.13	0.0083	6.350	M	C	I	-	F. Doiores
5. ACR. RV	0.105	2.69	0.25	0.35	0.0194	5.530	C	I	M-V	-	F. Tacuarembó
6. ACR. TA	0.082	2.11	0.22	0.16	0.0311	19.410	C	M	I-V	-	F. Tacuarembó
7. ARG. AL	0.072	1.15	0.21	0.39	0.0161	4.120	M	C	-	2:1	Cretácico
8. BRUN. YG	0.420	19.74	1.55	0.57	0.0096	1.680	M-I	-	C	-	F. Fray lentos
9. VERT. LC	0.242	6.20	0.76	0.28	0.0091	3.250	M	-	I-C	IM	Cuat. s/Cristalino
10. ARG. ST	0.062	1.60	0.29	0.19	0.0047	2.450	M-C	-	I	-	F. Salto
11. BRUN. TO	0.600	15.35	2.19	0.89	0.0180	2.020	I	-	C	2:1	F. Libertad
12. BRUN. SS-e	0.625	15.99	3.35	0.45	0.0089	1.940	I	M	Mh	-	Cristalino
13. BRUN. B2	0.687	17.58	2.50	1.50	0.0132	0.880	M	I	C	-	F. Fray Bentos

Nota: El valor de K no intercambiable no incluye al de K intercambiable

MINERALOG. DE FRACC. ARCILLA: DOM: dominante; ACC: accesoria; MEN: menores cantidades; INT: interestratificados. M: montmorillonita; I: illita; C: caolinita; V: vermiculita; Mh: metahalloisita; IM: interestrat. Illita-Montmorillonita; 2:1: interestrat. 2:1 no definidos

RESULTADOS Y DISCUSION

1. CARACTERIZACION DE LAS DIFERENTES FRACCIONES DE POTASIO EN LOS SUELOS

A. Contenido y relación entre las diferentes fracciones de potasio.

El contenido de K total en los trece suelos estudiados osciló entre 0.06 y 0.69% con una media de 0.27% (Cuadro No. 2). De los suelos estudiados se destacan cuatro, que mostraron los niveles más elevados de K, lo cual estaría asociado con la presencia de minerales ricos en K en la fracción arcilla (illita). La fracción K intercambiable de los suelos osciló entre 0.11 y 1.5 meq/100 grs., y en promedio representa un 6.3% del contenido en K total (Figura No. 1).

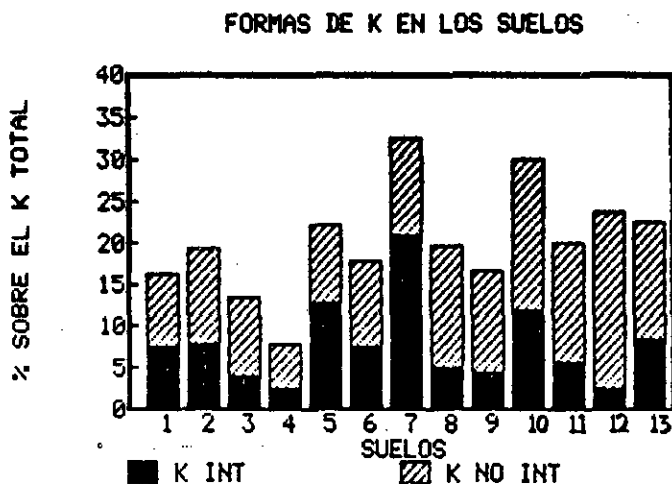


FIGURA No. 1: K intercambiable y K no intercambiable de los suelos, como porcentaje del contenido de K total.

Se encontraron estrechas relaciones entre la fracción K total con K intercambiable ($r = 0.82$; $P < 0.001$) y con K no intercambiable ($r = 0.96$; $P < 0.001$). Por otra parte, el análisis de regresión entre K intercambiable y la fracción no intercambiable mostró una alta relación entre ambas fracciones (Figura No. 2), siendo el coeficiente de correlación significativo al 0.7%. Tomando como referencia la regresión ajustada, la distribución de puntos permite identificar un grupo de suelos con niveles bajos de K en ambas fracciones, y que se ubican por debajo de la recta de mejor ajuste. Esto indicaría que el equilibrio entre las dos formas de K en dichos suelos estaría más desplazado hacia la fase intercambiable. Por otra parte, uno de los suelos estudiados (Brunosol San Gabriel-Guaycurú) mostró niveles elevados de K en formas no intercambiables en relación con el correspondiente valor de K intercambiable, lo que indicaría que el equilibrio se encuentra más desplazado hacia la forma no intercambiable. Esto estaría asociado a la presencia importante de minerales tipo mica (illita) en la fracción arcilla del suelo.

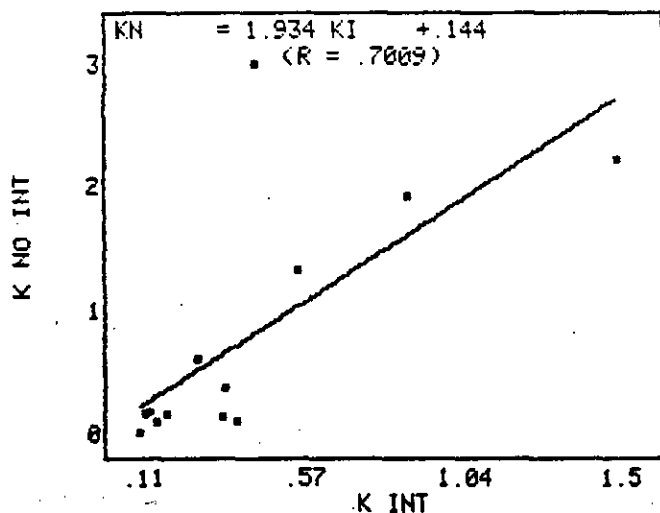


FIGURA No. 2: Relación entre los contenidos de K en forma intercambiable y no intercambiable de los suelos (meq/100 g.)

El K en la solución del suelo constituye en general menos del 10% del K intercambiable (Cuadro No. 2), con la excepción de dos suelos de textura liviana, que mostraron contenidos elevados de K en la solución, asociado con niveles bajos de la fracción intercambiable. No fue encontrada correlación significativa entre esta fracción y el K en formas intercambiables y no intercambiables, lo cual indicaría la incidencia de otros factores de suelo en esta parte del equilibrio.

La suma de los contenidos de K en las fracciones solución, intercambiable y no intercambiable oscilan entre un 8 y un 32% del K total de los suelos. Sin embargo, estos porcentajes tienen un significado diferente, en términos absolutos, según los suelos. Para el Argisol de la Asociación Salto fue del 30%, en tanto que para el Brunosol de la Asociación Bequeló fue del 10%; no obstante, este 10% representa una cantidad de 4 meq/100 gr. de suelo bajo forma rápida y lentamente disponible, lo cual equivaldría a 8 veces lo encontrado para el suelo de Salto.

B. Relación entre las diferentes fracciones de K del suelo con la textura y mineralogía de la fracción arcilla.

Se realizaron correlaciones entre las diferentes fracciones granulométricas de los suelos y las distintas fracciones químicas del K, encontrándose cierto grado de relación solamente con el porcentaje de arcilla de los suelos. Los valores de correlación fueron significativos para K total y K intercambiable, no encontrándose

correlación significativa con K no intercambiable, tal como se indica en el Cuadro No. 3. Por otra parte, se estudió la relación existente entre las diferentes fracciones químicas de K y el porcentaje de minerales tipo mica (illita) de la fracción arcilla (tomando como base el área bajo los picos de 10 angstroms del difractograma de Rayos X de cada suelo), encontrándose correlaciones significativas para K total y K no intercambiable. La correlación con K intercambiable no fue significativa. Esto indicaría que en el K intercambiable hay una fuerte influencia del porcentaje de arcilla, en tanto que las correlaciones con K no intercambiable indicarían una incidencia importante del tipo de minerales arcillosos en los contenidos de K de esta fracción.

CUADRO 3

Análisis de regresión entre las diferentes fracciones de K en el suelo con el porcentaje de arcilla y contenido en minerales tipo mica de dicha fracción

	K total		K no interc.		K interc.	
	r	Prob	r	Prob	r	Prob
% Arcilla	0.60	0.030	0.45	0.123	0.56	0.045
% Illita	0.64	0.047	0.69	0.025	0.27	---

2. EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE SUMINISTRO DE POTASIO DE LOS SUELOS EN CONDICIONES DE ALTA EXTRACCION DE NUTRIENTES.

A. Evaluación de la materia seca producida.

Los datos correspondientes a la producción de materia seca de los suelos no serán comentados, en virtud de no brindar información adicional diferente a la comentada posteriormente respecto a la evaluación del suministro de K con el tiempo a través del K absorbido por las plantas. Por otra parte, el índice rendimiento en materia seca suele estar afectado por otros factores diferentes al suministro de nutrientes por parte del suelo, aun en condiciones controladas como las de estudios maceteros en invernáculo. Es importante destacar, sin embargo, que hacia el final del ciclo del cultivo (tercer y cuarto corte), se observaron diferencias importantes en los rendimientos del raigrás en cada suelo, asociados al suministro de K, encontrándose sintomatología de deficiencias de K en las plantas que crecían sobre algunos suelos.

B. Evaluación del K absorbido en los diferentes cortes en los tratamientos sin agregado de K.

En el Cuadro No. 4 se indican los valores de K absorbido por el raigrás en los cuatro cortes, para los trece suelos estudiados. La observación de los datos permite comprobar una gran variabilidad en las cantidades totales absorbidas, así como la diferente evolución de la absorción en los distintos cortes.

CUADRO No. 4

Absorción de potasio en los cuatro cortes y absorción total (mg/maceta)
Tratamientos sin agregado de potasio

SUELO Y ASOCIACION (NGAP-DSF)	PRIMER CORTE	SEGUNDO CORTE	TERCER CORTE	CUARTO CORTE	TOTAL DE CORTE

1. BRUNDSOL COLONIA PALMA	59.8	27.0	12.6	10.6	110.0
2. VERTISOL ITAPEBI-TRES ARBOLES	102.9	68.7	27.1	21.6	220.3
3. ARGISOL VERGARA	116.0	37.2	11.0	6.4	170.6
4. PLANOSOL RIO BRANCO	115.3	49.3	19.3	15.0	198.9
5. ACRISOL RIVERA	147.6	79.0	33.8	24.0	284.4
6. ACRISOL TACUAREMBO	94.5	23.6	7.2	6.4	131.7
7. ARGISOL ALGORTA	130.0	80.3	19.3	27.2	256.8
8. BRUNDSOL YOUNG	150.0	150.6	67.2	109.4	477.2
9. VERTISOL LA CAROLINA	84.6	84.1	25.9	22.6	217.2
10. ARGISOL SALTO	84.4	30.9	11.0	15.5	141.8
11. BRUNDSOL TOLEDO	184.1	124.3	103.0	126.5	537.9
12. BRUNDSOL SAN GABRIEL-GUAYCURU	157.4	152.5	117.7	140.4	568.0
13. BRUNDSOL BEQUELO	173.8	123.2	84.3	115.4	496.7

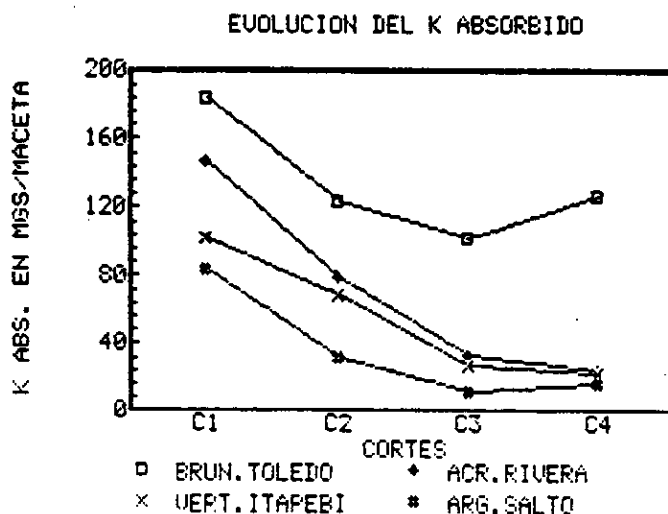
Dias luego de la siembra	48	86	121	162	

En la Figura No. 3 se muestra la evolución del K absorbido en los diferentes cortes para cuatro de los suelos estudiados. Dentro de los suelos de texturas livianas (ArF-FAr), el Argisol formado a partir de areniscas de la Formación Salto, con montmorillonita y caolinita como minerales dominantes en la fracción arcilla, presentó una absorción total de K muy reducida, dándose el 80% de la misma en los dos primeros cortes. Otro suelo de textura similar (Acrisol Rivera), con caolinita e illita en la fracción arcilla, mostró valores superiores de absorción total de K, y al igual que el anterior, el 80% de la cantidad total absorbida se dio en los dos primeros cortes. Entre

los suelos de textura pesada (AcL), el Vertisol desarrollado a partir de sedimentos cuaternarios derivados de la alteración de basalto (con montmorillonita en su fracción arcilla) mostró una absorción total baja. Al igual que los suelos de textura liviana, aproximadamente el 80% de la cantidad total absorbida se dio en los dos primeros cortes. La distribución en los cortes 1 y 2 fue del 47 y 31% de la absorción total, respectivamente, en tanto que para el Argisol de la Asociación Salto fue del 60 y 22%.

FIGURA No. 3

Evolución de la absorción de K en los cuatro cortes, para cuatro suelos, en el tratamiento testigo.



En suelos de texturas medias y pesadas con mineralogía tipo mica, los valores de absorción de K por el raigrás fueron superiores. En el Brunosol de la Formación Libertad, el 57% de la absorción total de K se dio en los dos primeros cortes, en tanto que el 43% restante se absorbió en los dos últimos.

El comportamiento observado en los distintos suelos permite constatar diferencias en el suministro de K por parte de los mismos. En suelos livianos, los escasos mecanismos de retención del K determinarían que el K presente en la fase sólida del suelo pase con mayor facilidad a la solución, y sea absorbido en mayor proporción en el primer corte. En suelos de textura pesada, la energía de retención del K es mayor, lo que determina que la velocidad de liberación a la solución sea más lenta y por

consiguiente, más sostenida en el tiempo. En suelos de texturas medias y pesadas con mineralogía tipo mica, el suministro de K permanece en niveles más elevados y constantes en los distintos cortes, lo que estaría asociado a procesos de liberación lenta a partir de formas no intercambiables (relacionado con el tipo de mineral presente en la fracción arcilla).

Relación entre la absorción de K y diferentes parámetros en el suelo.

A los efectos de evaluar la incidencia de las diferentes formas de K del suelo en la absorción por la planta a lo largo del tiempo, se realizó el análisis de regresión múltiple para K absorbido en función de los niveles de K intercambiable y K no intercambiable, para sumas parciales de cortes y el total, obteniéndose los modelos siguientes:

Y(1)	= 104.08 + 38.42 (K int) + 11.59 (K no int)	R ² = 0.7103
	T = 1.81 T = 1.51	F = 8.58
	P = 0.1108 P = 0.1733	P = 0.0134
Y(1+2)	= 131.01 + 62.44 (K int) + 46.51 (K no int)	R ² = 0.7558
	T = 1.39 T = 2.86	F = 15.47
	P = 0.1916 P = 0.0163	P = 0.001
Y(3+4)	= 8.75 + 23.75 (K int) + 74.60 (K no int)	R ² = 0.9400
	T = 0.95 T = 8.24	F = 78.32
	P = 0.367 P < 0.001	P < 0.001
Y(tot)	= 139.76 + 86.19 (K int) + 121.12 (K no int)	R ² = 0.8796
	T = 1.32 T = 5.10	F = 36.54
	P = 0.216 P < 0.001	P < 0.001

donde Y(1), Y(1+2), Y(3+4) e Y(tot) son las cantidades absorbidas (mg. K/maceta) en los cortes 1, 1 y 2, 3 y 4 y el total de cortes, respectivamente; y K int y K no int son los meq/100 gr de suelo de K intercambiable y K no intercambiable.

Los valores de los coeficientes de las ecuaciones y su significación indicarían que las formas de K no intercambiables explicarían mayoritariamente las diferencias en la absorción de K, en condiciones de extracción muy intensa del nutriente, en tanto que el K intercambiable explicaría parte de la variación en los dos primeros cortes, aunque a niveles bajos de significación. El análisis de regresión múltiple para el primer corte permite confirmar esta tendencia.

C. Respuesta al agregado de potasio

En el Cuadro No. 5 se indican los valores de absorción total de K para los diferentes suelos y niveles de K, y en las Figuras 4 a 7 se grafica la evolución de las cantidades absorbidas por corte en cuatro suelos.

CUADRO No. 5

Absorción total de potasio en los diferentes suelos para el testigo y las tres dosis en función del K agregado en mg/maceta

SUELO Y ASOCIACIÓN (MEAP-DSF)	TESTIGO	Dosis de K agregado					
		25		75		150	
		K agreg.	K absor.	K agreg.	K absor.	K agreg.	K absor.
1. BRUNOSOL COLONIA PALMA	110.0	21.5	128.9	64.5	171.9	129.0	226.1
2. VERTISOL ITAPEBI-TRES ARBOLES	220.3	63.4	265.1	190.0	324.3	350.0	472.7
3. ARGISOL VERGARA	170.6	27.4	162.8	82.1	240.3	164.2	324.6
4. PLANOSOL RIO BRANCO	198.9	25.4	223.0	76.2	250.8	152.5	338.6
5. ACRISOL RIVERA	284.4	68.4	357.2	205.3	458.6	410.5	533.4
6. ACRISOL TACUAREMBO	131.7	31.3	153.1	93.8	198.9	187.7	311.0
7. ARGISOL ALGORTA	256.8	76.2	306.8	228.7	437.7	457.4	609.7
8. BRUNOSOL YOUNG	477.2	111.4	473.2	334.3	551.9	668.5	560.7
9. VERTISOL LA CAROLINA	217.2	49.2	262.8	147.8	351.5	295.6	500.5
10. ARGISOL SALTO	141.8	37.1	182.4	111.4	243.1	222.9	356.0
11. BRUNOSOL TOLEDO	537.9	174.0	549.2	521.9	592.5	1043.9	573.9
12. BRUNOSOL SAN GABRIEL-GUAYCURU	568.0	88.0	566.0	263.3	670.1	527.8	711.5
13. BRUNOSOL SEQUELDO	495.7	293.2	587.2	880.0	592.1	1759.3	618.0

NOTA: En los suelos 2 y 9 se trabajó con 1.8 kgs. de suelo por maceta, calculándose el K a agregar en función del contenido de K en forma intercambiable en esta cantidad de suelo.

ACR. TACUAREMBO-K ABSORB.

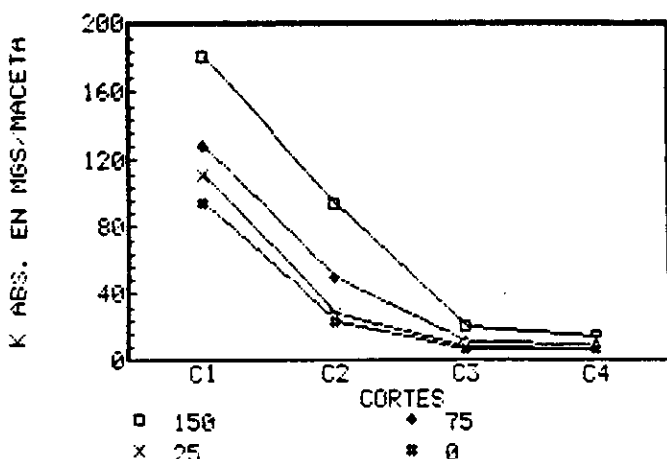


FIGURA No. 4: Evolución de la absorción de K en los cuatro cortes para los cuatro niveles de K en el Acrisol de la Asociación Tacuarembó.

En suelos de texturas medias y livianas se observa una elevada absorción de K en el primer corte, con una disminución acentuada en la absorción en los cortes siguientes (Figura No. 4). A medida que los niveles de K agregado son mayores, la absorción permanece en niveles elevados durante más tiempo (Figura No. 5).

ARG. ALGORTA-K ABSORBIDO.

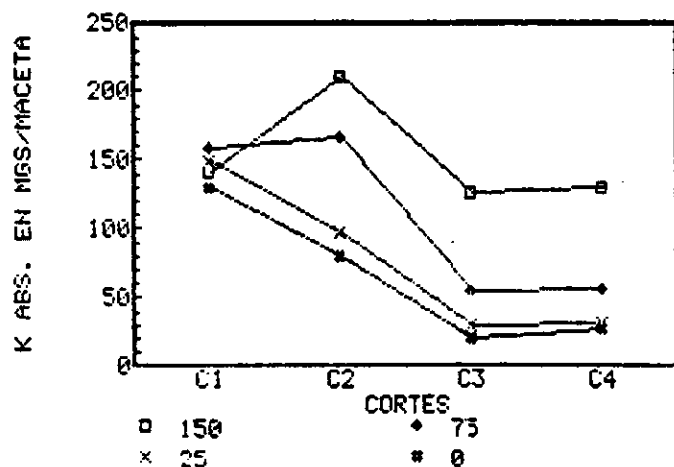


FIGURA No. 5:

Evolución de la absorción de K en los cuatro cortes para los cuatro niveles de K en el Argisol de la Asociación Algorta.

En suelos de textura pesada y mineralogía de tipo montmorillonítico (Figura No. 6), si bien a lo largo del tiempo la absorción de K va disminuyendo para todas las dosis, la tasa de descenso se mantiene similar para todos los niveles de K agregado, poniendo de manifiesto una mayor incidencia de los mecanismos de retención.

VERT. ITAPEBI-K ABSORBIDO

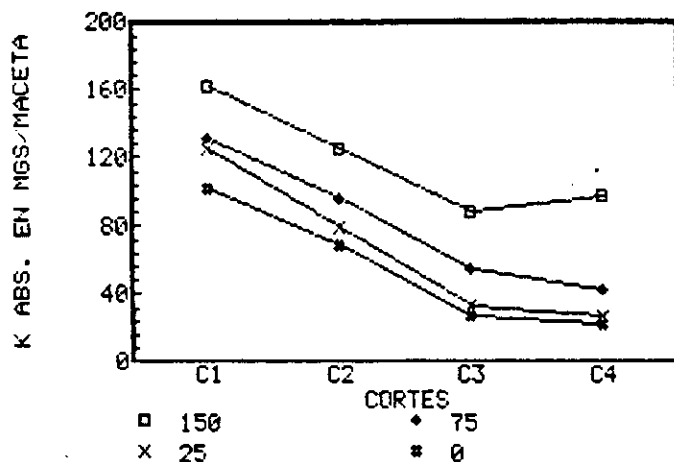


FIGURA No. 6:

Evolución de la absorción de K en los cuatro cortes para los cuatro niveles de K en el Vertisol de la Asociación Itapebí-Tres Arboles.

En suelos de texturas medias y pesadas con predominancia de minerales tipo mica (Figura No. 7), la evolución de la absorción de K con el tiempo en los diferentes tratamientos no muestra diferencias de importancia respecto al testigo, en virtud de los altos niveles naturales de suministro, de manera que no es posible determinar una tendencia clara entre las diferentes dosis.

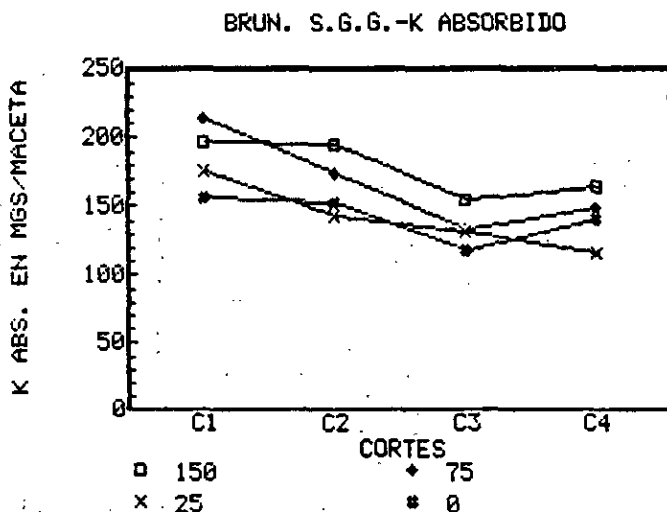


FIGURA No. 7: Evolución de la absorción de K en los cuatro cortes para los cuatro niveles de K en el Brunosol de la Asociación San Gabriel-Guaycurú

Eficiencia de utilización del potasio agregado

Se calculó la eficiencia de utilización del K agregado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Efic. utilización} = \frac{K(x) - K(0)}{K(A)} * 100$$

donde K (X) es el K absorbido por la planta para la dosis considerada, K (0) es el K absorbido por el testigo, y K (A) es el K agregado para la dosis respectiva. Los resultados de este análisis, para cuatro suelos, se indica en la Figura No. 8. En suelos de texturas livianas y bajos niveles iniciales de K intercambiable, (Argisol de la Asociación Salto), los porcentajes de utilización del K agregado fueron elevados,

principalmente en los primeros cortes, y sobre todo a dosis bajas de K agregado. En suelos de texturas livianas y mayores niveles iniciales de K intercambiable (Argisol de la Asociación Algorta), la tendencia observada es hacia la disminución de la eficiencia de utilización a medida que las cantidades agregadas se incrementan; esta disminución es más acentuada cuando se consideran los dos primeros cortes. Al aumentar la dosis de K agregado, la eficiencia de utilización tiende a ser mayor en los dos últimos cortes.

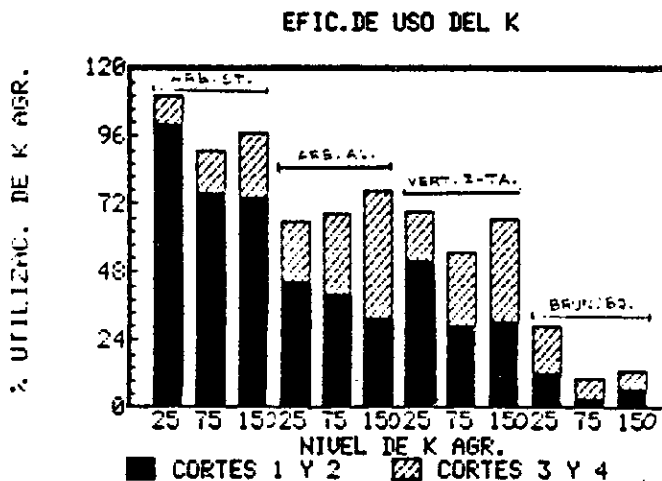


FIGURA No. 8: Eficiencia de utilización del K agregado en diferentes dosis, para sumas parciales de cortes, en cuatro de los suelos estudiados.

En suelos de texturas pesadas como el Vertisol de la Asociación Itapebí-Tres Arboles, los porcentajes de utilización del K agregado fueron menores, en términos generales, a los correspondientes a los suelos previamente comentados. Cuando el agregado de K es bajo, la mayor eficiencia de uso se da en los dos primeros cortes, en tanto que para niveles mayores de K agregado, la utilización del mismo mostraría una mejor distribución en los diferentes cortes. Este comportamiento indicaría que en suelos de texturas medias y livianas, los escasos mecanismos de retención, asociado a una baja reposición de K de la fase sólida, estarían determinando porcentajes de utilización elevados, sobre todo en las primeras etapas. En suelos de texturas pesadas dichos mecanismos serían más relevantes, además de mostrar una mayor reposición de K a la fase sólida, lo que llevaría a una distribución de las cantidades absorbidas en el tiempo.

En suelos con alto suministro natural de K, la eficiencia de utilización es baja, debido a que el suelo es capaz de reponer K de formas no intercambiables y/o a que los mecanismos de retención determinan una reducción relativa en la disponibilidad de K en el período considerado.

D. Evolución del nivel de potasio intercambiable y no intercambiable de los suelos.

La determinación del contenido de K en las fracciones intercambiable y no intercambiable luego del cultivo, para los diferentes niveles de K agregado, correspondientes a cuatro de los trece suelos estudiados, se indican en el Cuadro No. 6, en comparación con el nivel inicial presente antes de la siembra del raigrás. En general se observa una disminución diferencial de los niveles naturales de K en los suelos, en relación con diferencias en los mecanismos de retención del K, así como en la velocidad de reposición a partir de formas no intercambiables. Esto indicaría una influencia de la textura y la mineralogía de la fracción arcilla en dicho comportamiento. La disminución, en términos relativos, de los niveles de K no intercambiable presenta menor variabilidad que para K intercambiable.

CUADRO No. 6

Niveles iniciales y finales de K intercambiable y K no intercambiable en meq/100 grs de suelo para el testigo y diferentes dosis de K.
El nivel inicial corresponde solo al suelo sin agregado de K.

SUELOS	meq K intercambiable/100 grs.					meq K no intercambiable/100 grs.				
	FINALES					FINALES				
	INICIAL	0	25	75	150	INICIAL	0	25	75	150
ARG. ST	0.19	0.05	0.05	0.05	0.06	0.29	0.19	0.23	0.19	0.20
ACR. 2V	0.35	0.05	0.06	0.06	0.12	0.25	0.15	0.16	0.17	0.18
VERT. I-TA	0.36	0.19	0.20	0.19	0.22	0.52	0.47	0.45	0.43	0.58
BRUN. TD	0.99	0.52	0.64	0.87	1.22	2.19	2.02	2.05	2.10	1.98

En los tratamientos con agregado de K, las diferencias observadas se relacionan con la textura de los suelos: en suelos livianos, la disminución en los niveles de K es superior respecto a suelos de textura pesada, donde los niveles finales alcanzados son mayores, presentando también cierta variación según la dosis de K agregada. Dicho comportamiento se observa comparando el Acrisol Rivera y el Vertisol Itapebí-Tres Arboles, con niveles iniciales de K intercambiable similares (y por lo tanto, similares dosis de K agregado). Esto guarda relación con la energía de retención del K agregado a los suelos y su liberación hacia formas más disponibles para la planta.

Considerando las cantidades de K absorbidas por el raigrás en los tratamientos sin agregado de K, más del 50% del K absorbido por el cultivo en los suelos con altos niveles de suministro de K, se explica por liberación de K no intercambiable, en tanto que en los suelos de texturas livianas y bajo nivel de K intercambiable solo se liberó el 35%. Frente al agregado de K, la mayor parte de los suelos liberaron K a la fase intercambiable en todos los tratamientos, aunque no hubo relación entre las cantidades

agregadas y las cantidades liberadas, en tanto que en otros (por ejemplo en el Vertisol de la Asociación Itapebí-TresArboles) hubo una disminución en las cantidades de K liberadas a la fase intercambiable a medida que aumentaban las cantidades agregadas.

CONCLUSIONES

El análisis del comportamiento general observado en los suelos estudiados, frente a extracciones sucesivas e intensas como las que se dan en condiciones de invierno (equivalentes a varios años de cultivos extractivos en condiciones de campo), permiten constatar diferencias importantes en la capacidad de suministro de K en el corto y largo plazo por parte de distintos suelos. Estas diferencias se refieren, no solamente a la capacidad potencial de los suelos de suministrar K, sino también a la velocidad de reposición de K a formas intercambiables y en solución con el tiempo, comprobándose una incidencia importante del contenido de arcilla de los suelos y la mineralogía de dicha fracción en estos aspectos.

Los suelos con mineralogías de tipo mica determinaron un suministro más sostenido de K en los diferentes cortes, en tanto que en suelos con mineralogía de tipo montmorillonítico o caolínítico, la absorción de K disminuyó en forma importante en los últimos cortes, siendo ésta más acentuada a medida que el porcentaje de arcilla era menor.

Frente al agregado de K, en los suelos de texturas livianas los escasos mecanismos de retención determinaron una rápida absorción de K, siendo el porcentaje de utilización del mismo elevado. A medida que la textura del suelo va siendo más pesada, los mecanismos de retención pasan a ser más importantes, evidenciándose una cierta distribución de la absorción de K en los diferentes cortes, lo que determina menores porcentajes de utilización del K agregado.

Suelos con mineralogía tipo mica presentan bajos porcentajes de utilización como consecuencia de una alta reposición a partir de formas no intercambiables y/o altos mecanismos de retención.

La disminución de los niveles de K en los suelos es menos acentuada en suelos con mineralogía tipo mica, donde la fase sólida es capaz de mantener niveles de equilibrio más elevados. En suelos con mineralogía de tipo montmorillonítico o caolínítico, la disminución en los niveles es más marcada, sobre todo cuando los tenores de arcilla son bajos.

A los efectos de predecir la evolución en el suministro de K por parte de los suelos en el largo plazo, es importante tener en cuenta, además del tipo de suelo (en cuanto a aspectos vinculados a la dinámica de K), el tipo de cultivo o sistema de cultivos a realizar. En nuestro país existen situaciones de producción en las cuales se encuentran asociados cultivos que efectúan extracciones muy intensas (como caña de azúcar y

tomate en invernáculo), sobre suelos de escaso poder de suministrar K (Brunosoles de la Asoc. Colonia Palma, Argisoles de la Asoc. Salto y Vertisoles de la Asoc. Itapebí-Tres Arboles, estudiados en el presente trabajo). La cosecha de un cultivo de caña puede extraer cantidades del orden de los 300 kg. de K/Há en 4 años. Esto equivale, expresado en unidades de suelo, a cantidades del orden de los 0.3 meq K/100 grs., considerando el espesor de la capa arable (20 cm.) y una densidad aparente promedio de 1.25 grs./cc. En tales situaciones, el suministro de K por parte de los suelos mencionados mostrará diferencias, no solo en cuanto a su capacidad total (Kg. de K absorbidos por el cultivo en un período de tiempo dado), sino también en cuanto a la eficiencia de uso del K disponible nativo en los suelos con el tiempo, y a la velocidad de reposición de K a partir de formas no intercambiables. En suelos de texturas livianas, como el Argisol de la Asoc. Salto, el suministro de K sería elevado al comienzo, luego de roturar el suelo, pero descenderá en forma importante con los años de un cultivo extractivo. En suelos de textura pesada, como el Vertisol de la Asoc. Itapebí-Tres Arboles, si bien con los años de cultivos se dará un descenso en el suministro de K, éste será más lento, por tener el suelo mayores mecanismos de reposición.

En otras situaciones de producción de alta extracción de K (cultivo de alfalfa para heno), pero asociadas a suelos con alto poder de suministro de K (Brunosoles del sur del país, desarrollados sobre lodolitas de la Formación Libertad, como el Brunosol de la Asoc. Toledo), los mecanismos de reposición de K de los suelos permitirían un suministro alto y sostenido en el tiempo (la disminución en los niveles de K intercambiable observados en el ensayo macetero fueron menores a los correspondientes a suelos de bajo poder de suministro). Esto traería como consecuencia una muy baja eficiencia de utilización del K agregado al suelo. En tales situaciones de producción es de esperar un suministro alto más prolongado en el tiempo por parte de estos suelos que para los considerados anteriormente para el cultivo de caña de azúcar.

Finalmente, en situaciones de producción con cultivos que realizan una escasa extracción de K en la parte cosechada, y donde existe un reciclaje importante del mismo (a través de la incorporación de rastrojos), el suministro de K se mantendrá bastante estable en el tiempo. El K extraído por un cultivo de trigo es reciclado en su mayor parte con el rastrojo, estimándose que el contenido de K en la parte cosechada es del orden de los 5 Kg./há.

BIBLIOGRAFIA

1. GRALEY, A.M. 1978. The use of chemical extractions and continuous cropping to measure the potassium status of soils. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 1247-1261.
2. HIPPI, B.W. and THOMAS, G.W. 1967. Influence of soil clay type on potassium availability. Texas A & M University. MP-829.
3. OLIVEIRA, V., LUDWICK, A. E. and BEATY, M. T. 1971. Potassium removed from some southern brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extractions methods. *Soil Science Society of America Proceedings* 35 (5): 763-767.
4. PAZOS, J. 1981. Identificación de los minerales arcillosos de los suelos utilizados en un ensayo de dinámica de potasio. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía.
5. PEARSON, R. W. 1952. Potassium supplying power of eight Alabama soils. *Soil Science* 74: 301-309.
6. POPE, A. and CHENY, H. B. 1957. The potassium supplying power of several Western Oregon soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 21 (1): 75-79.
7. SCHMITZ, E. W. and PRATT, P. F. 1953. Exchangeable and non exchangeable potassium as indexes to yield increases and potassium absorption by corn in the greenhouse. *Soil Science* 76 (5): 345-353.
8. THOMAS, G.W. and HIPPI, B.W. 1968. Soil factors affecting potassium availability. In Kilmer, v.j. et al, eds. *The role of potassium in agriculture*. Madison, Wis., American Society of Agronomy, pp 269-291.

