

CAMBIOS DE FERTILIDAD OBSERVADOS EN PERFILES DE SUELOS CHILENOS. IV. CON LA LIXIVIACION DE CINCO DOSIS DE SULFATO DE POTASIO EN UN SUELO PEMEHUE DE VILCUN¹

Fertility changes detected in Chilean soil profiles. IV. With the lixiviation of five potassium sulphate doses in a Pemehue soil of Vilcun

Gotardo Schenkel S.², Pedro Baherle V.³ y Mauricio Gajardo M.⁴

SUMMARY

The lateral and vertical movement of K is studied, when K₂SO₄ (analytical reagent) is added to the surface of a soil (Trumao Pemehue) of the Cautín Province.

Five doses (0, 16, 48, 160 and 480 kg) of K₂O/hectare were added, through a percolator inserted, under pressure, in a field previously occupied with a pasture never fertilized with K.

The pattern of the exchangeable K distribution curve, in the soil profile free from vegetation, is modified by the doses added and by factors pertaining to the soil. For the fertilized soil, the distribution follows a model that distinguishes three zones: a. one, of largest enrichment (0–30 cm), very dependent on the amount given by the fertilization; b. a second, of intermediate enrichment (30–110 cm), modified only till 70 cm, for the lower amounts of K supplied; and c. a third zone (110–200 cm), practically unaffected, except slightly with the two heavier doses of K₂O.

The highest exchangeable K concentration is detected for all treatments at the same depth (15 cm), being the distance from the surface independent of the K dose. However, the amount of exchangeable K present at 15 cm, as well as in the 0–30 cm depth, depends on the fertilization.

The same Pemehue soil, never fertilized with K, exhibits a remarkable uniformity, for the exchangeable and the accumulated K fractions, under seven successive extractions, from the top down to 200 cm depth. The comparison of both fractions indicates the existence of a strong K reserve in the whole profile.

Results obtained suggests that only very low K losses by lixiviation do exist, in this deep Pemehue soil without vegetation.

INTRODUCCION

Cuando Hurtado (1963) caracteriza a los suelos chilenos en relación con su disponibilidad de potasio (K) para las plantas, muestra que "su movilidad es apreciable y, por lo tanto, no habrá de contarse con problemas relativos a la forma de aplicación de los fertilizantes potásicos". Además, "la cantidad de potasio soluble en agua, es muy grande en relación con el potasio de intercambio" y, por lo tanto, un régimen excesivo de aguas lluvias o de riego, provocaría pérdidas considerables en los diferentes horizontes superiores,

¹ Recepción de originales: 13 de noviembre de 1985.

² Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.

³ Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 439, Correo 3, Santiago, Chile.

⁴ Estación Experimental Carilanca (INIA), Casilla 58–D, Temuco, Chile.

el que no podrá ser retenido a mayor profundidad, si a éstos los caracteriza una baja fijación. Esta opinión se contrapone a la de Perevalov y Poddubnyi (1977), según la cual las reservas de K soluble al agua y de K unido a la materia orgánica, no se alteran significativamente con el uso intensivo del suelo. Tal discrepancia puede explicarse porque "los cambios observados con las reservas potenciales de potasio y las utilizables en el futuro, dependen del tipo de suelo" (Quemener, 1976a).

En suelos trumaos de Cautín, pareciera confirmarse la interpretación de Hurtado (1963), con los resultados de Paillalef (1964), porque "cualquier sistema de explotación estudiado, disminuye notoriamente la disponibilidad de nutrientes en relación a los existentes en los suelos vírgenes, particularmente magnesio, calcio y también potasio". El apreciable descenso del K de intercambio, lo atribuye "al uso inmoderado de agua de riego, debiendo implicar la remoción de potasio desde el complejo coloidal un paulatino agotamiento del potasio total, lo que ya se logra apreciar". Basa su interpretación en que "la más profunda de todas las diferencias se observa con el magnesio, tanto asimilable como de intercambio, donde la influencia de la serie de suelo es muy escasa y reviste, en cambio, extraordinaria influencia el sistema de explotación. La mayor riqueza se determina siempre en las muestras vírgenes de las tres series de suelo trumao: Pitrufquén, Temuco y Vilcún".

Se admite, de un modo general, que las plantas se alimentan a partir del K presente en la solución del suelo (Schroeder, 1974). Por tanto, el fertilizante potásico agregado al suelo, se disuelve en ella, desde donde es atraída la mayor parte del catión por las cargas eléctricas de los coloides, dando lugar en un primer instante, al fenómeno de la adsorción de K. Una parte es retenido al exterior de los coloides (Schuffelen, 1973), donde permanece al estado intercambiable y por consiguiente, detectable con el análisis rutinario de suelo. El resto pasa al interior de las arcillas coloidales, no siendo más intercambiable, por lo cual se denomina K "fijado" o "retrogradado" (Quemener, 1976b) o simplemente "no intercambiable" (Montenegro, 1982). Esta fracción no se extrae con las soluciones químicas corrientemente elegidas en los métodos tradicionales de diagnóstico de deficiencia en el suelo.

El paso al estado no intercambiable de una parte del K añadido, está vinculado al grado de reversibilidad de su fijación, siendo ésta en general muy poco conocida. En todo caso, se reconoce que una parte del K no intercambiable puede contribuir a la nutrición vegetal (Rosolem y Nakagawa, 1985) y que hay un equilibrio entre las formas de K del suelo, soluble al

agua, intercambiable y poco aprovechable (Wiklander, 1965; Black, 1968). Por tal motivo, la propiedad de conversión del K intercambiable en no intercambiable, varía considerablemente de un suelo a otro, pudiendo fluctuar entre 4 y 98% del agregado (Quemener, 1976a). Una elevada fijación implica graves problemas para la nutrición potásica de los cultivos y va unida a la presencia abundante de minerales arcillosos secundarios, especialmente del grupo de la illita. Por el contrario, una escasa fijación le infiere al suelo la característica de permitir una fácil movilidad del K en el perfil, con el consiguiente rápido agotamiento por lixiviación o por absorción de las plantas.

Para Hurtado (1963), "el contenido de potasio de intercambio, se ve notoriamente controlado por la reacción de equilibrio entre esta fracción y las formas menos aprovechables que existen en el suelo". Fundamenta su afirmación en una significativa asociación, al nivel 10%, entre K de intercambio y total ($r = 0,696$) y una relación gráfica inversa, encontrada en Chile, entre K total y pluviometría. De acuerdo a este antecedente, las cantidades de K de intercambio alcanzan un valor mínimo para suelos procedentes de las provincias de Cautín a Llanquihue, en comparación con otras provincias chilenas. Tal resultado lo induce a pensar que "la medida de la disponibilidad de potasio del suelo para las plantas no queda bien representada por la cantidad de potasio de intercambio".

Para obtener las conclusiones anteriores, han servido muestras de suelo perturbadas durante la extracción y recolectadas en distintas épocas del año. Esto puede tener importancia, porque "el potasio intercambiable figura entre las características químicas que experimentaron una variación estacional a lo largo del período de muestreo" (Hun, 1971), independientemente de la forma de secado de la muestra (al aire o a 60°C) y de su ubicación en el perfil de suelo (hasta 60 cm). Liebhardt y Teel (1977) y Lambert y Arnason (1982), coinciden en considerar que el mes de la toma de muestra afecta significativamente el valor determinado con el análisis de K en el suelo. El valor fue máximo a fines de mayo (Hemisferio Norte) y disminuye a medida que avanza la estación de crecimiento. También, para el K intercambiable ocurren diferencias entre otoño y primavera (Nielsen, 1977). Hun (1977) encontró que, en los meses de diciembre y enero, con menor pluviometría, disminuyó bruscamente el K intercambiable de un suelo Arrayán de la provincia de Ñuble, para luego aumentar a su nivel inicial, en el mes de febrero. Similares resultados han sido obtenidos con suelos de otros países y han llevado a concluir que el K intercambiable disminuye en períodos secos y crece cuando aumenta el contenido de humedad (Van der Pauw, 1956 y 1962).

Entonces, el fenómeno de la fijación de K depende de las características climáticas del sitio del cual procede el suelo, o más propiamente, de las alteraciones del régimen hídrico. Es afectado, también, a consecuencia de las operaciones preliminares de preparación de la muestra de suelo, antes de su análisis. En particular, el secado al momento del acondicionamiento de la muestra, puede provocar importantes variaciones en la categoría de sitios ocupados por el K intercambiable, presente en la estructura laminar propuesta por Schuffelen (1973) (posiciones interlaminar, borde y cara plana). Para mayor complejidad, las alteraciones causadas por el secado (liberación o fijación) son una función directa de la riqueza del suelo en K intercambiable, independientemente de su capacidad de suministro (Dowdy y Hutcheson, 1963a y b). En efecto, bajo cierto valor, acompaña al secado una pérdida de K intercambiable, mientras hay una ganancia de éste, para contenidos superiores a dicho valor (Quemener, 1976a). Ciertamente, la existencia de este fenómeno se vincula a una concentración de equilibrio, para la cual no hay efecto del secado, esto es, ni fijación (pérdida) ni liberación (ganancia), como lo han encontrado De Turk, Wood y Bray (1943), Mathews y Sherrell (1960) y Attoe (1946). Esta circunstancia llevó a postular que cada suelo tiene un nivel de equilibrio natural de K intercambiable (Bray y De Turk, 1938).

Las curvas de enriquecimiento en K total obtenidas por Quemener (1976a) en un suelo francés (Verger d'Aspach), definen siempre más K de intercambio en las muestras húmedas que en las secas. No sucede lo mismo con la curva de agotamiento, pues para la muestra húmeda, la cantidad de K de intercambio supera al de la seca, únicamente para contenidos totales muy elevados, dándose la situación inversa para valores inferiores.

Así, desde un punto de vista práctico, el secado de la muestra perturba en forma variable la proporción en la cual disminuyen dichas fluctuaciones en el suelo, que reflejan el balance de la fertilización, porque son dependientes del contenido de K intercambiable en el suelo. Esta propiedad destruye el requisito fundamental del análisis de suelo, porque altera la existencia del equilibrio entre las formas de K en el mismo. Por tanto, se pierde la proporcionalidad entre el valor determinado analíticamente (K intercambiable) y la respuesta de las plantas a la fertilización potásica, condición básica suficiente para calificar como adecuado a cualquier programa de análisis de suelo (Bray, 1948; Van Lierop y Tran, 1985). La validez de esta hipótesis, aplicada al K de intercambio, se debilita aún más, por las siguientes razones adicionales:

1. Nunca se dimensiona la cantidad total del K disponible en el suelo, capaz de ser usada durante un período de crecimiento.

2. Las muestras de suelo proceden de la capa arable, omitiéndose la contribución que puede hacer a la nutrición el K situado a mayor profundidad.
3. Jamás interviene el tiempo en los diagnósticos de disponibilidad, por lo que se descansa esencialmente en un factor de intensidad, pero no de capacidad del K.
4. Se desconoce completamente la forma en la cual se distribuye, en el perfil del suelo, el K agregado con el fertilizante.

Algunas respuestas observadas a la fertilización potásica en diversos suelos chilenos (Peyrelongue, 1969; Schenkel y otros, 1972; Montenegro, 1982), no siempre se desprenden a partir de las determinaciones efectuadas en sus extracciones, obtenidas con diversas soluciones químicas. Por consiguiente, se ha considerado importante conocer el modelo de distribución del K de intercambio en el perfil de suelo, cuando se agregan cantidades crecientes de K₂SO₄ en la superficie, y son arrastradas con una misma cantidad de agua.

MATERIALES Y METODOS

Sirven a este trabajo un ensayo de campo y algunas determinaciones analíticas efectuadas a las diversas muestras de los perfiles de suelo ahí recolectadas. Todos los análisis se efectuaron en el Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Carillanca (INIA), Temuco.

Suelo: En la provincia de Cautín, se elige un sitio ocupado por más de diez años con una pradera, nunca fertilizada con K y constituida principalmente por trébol blanco, ballica, chépica y algo de pasto ovillo. Corresponde a un suelo de la serie Pemehue, ubicado en el fundo Loncovaca, de la comunidad Mege Rivas, a 4 km al norte del Paradero "El Manzano", en posición noroeste de Vilcún, por el camino a Carillanca.

Equipo de percolación: En cilindros de percolación de fierro, de 48 cm de diámetro, se estudia la movilidad lateral y vertical del K extractable, cuando se aplican 100 mm de agua a K₂SO₄, localizado en la superficie del suelo. El ensamble del equipo de percolación y su distribución geométrica en el terreno, han sido descritos anteriormente (Schenkel y Baherie, 1983).

Dosis de potasio agregada: La fuente es K₂SO₄, de pureza analítica (marca Fisher P-304). Para una sección transversal de 0,1808 m² de cada cilindro de percolación, se calculan las dosis equivalentes del Cuadro 1. Este cálculo se efectúa presumiendo que el K₂SO₄ se distribuye en toda la sección transversal del cilindro.

CUADRO 1. Dosis equivalentes de la fertilización potásica*, en El Manzano, Vilcún

TABLE 1. Equivalent amounts of the potassium fertilization applied to the soil, as K₂SO₄ (analytical reagent)

K ₂ O kg/ha	K ₂ SO ₄		K	
	kg/ha	g/percolador	kg/ha	mg/percolador
0	0	0	0	0
16	29,6	0,5354	13,3	240,3
48	88,8	1,6061	39,8	721,0
160	295,9	5,3536	132,8	2.403,3
480	887,6	16,0607	398,3	7.209,8

*Añadida como sulfato de potasio, p.a. (Fisher P-304; PM 174,266).

Cantidad de agua agregada: Por las razones dadas en otro trabajo (Schenkel y Baherle, 1983), se elige 100 mm de agua, lo que representa 18 lt por cilindro (Cuadro 2).

Riego, extracción de cilindros de percolación y toma de muestras: Los procedimientos empleados para ejecutar cada una de estas operaciones, han sido descritos detalladamente por Schenkel y Baherle (1983).

Potasio de intercambio o extractable: Su extracción se practica con una solución neutra de acetato de amonio 1 Normal, en muestras de suelo húmedo, no secadas previamente. El K se analiza por fotometría de llama y se le denomina, indistintamente de intercambio o extractable, en este trabajo.

Potasio de extracciones sucesivas: El suelo residual, obtenido después de efectuar la extracción necesaria para la determinación del K de intercambio, se recupera por centrifugación y se vuelve a extraer con una solución 1 N de acetato de amonio, pH 7,0. Esta operación se repite siete veces. Las cantidades de K determinadas en cada extracto, se adicionan y dan los valores representados en la Figura 1, para las extracciones sucesivas, en los diversos estratos de suelo.

RESULTADOS

En la Figura 1 se muestra la distribución del K de intercambio con la profundidad, después de añadir 100 mm de agua a los distintos tratamientos de fertilización potásica agregados en la superficie del suelo. En todas las curvas de distribución, aunque preferentemente en las que corresponden a las mayores aplicaciones, se distinguen tres zonas: una de máximo enriquecimiento, que se ubica invariablemente entre 0 y 30 cm de profundidad; otra de un aumento sólo moderado de K intercambiable, que alcanza desde 30 hasta 110 cm, para las dosis 480 y 160 kg/ha, pero no sobrepasa los 70 cm de profundidad, a las demás dosis; y una prácticamente no afectada por las adiciones superficiales, salvo a dosis superiores de 160 kg de K₂O/ha.

Una característica muy peculiar de todas las curvas, es la de presentar una máxima concentración de K extractable en la profundidad 10-15 cm. No sucede así para el tratamiento testigo (sin K), aunque su mayor

CUADRO 2. Fechas y cantidades de agua destilada aplicadas a los tratamientos de fertilización potásica. Vilcún (serie Pemehue)

TABLE 2. Time schedule and amounts of distilled water applied to the K fertilization treatments. Vilcún (Pemehue series)

Fecha	Cantidades de agua (lt/percolador) agregadas					Inicial*	
	K ₂ O, kg/ha:	0	16	48	160		480
10.02.73		2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	0
13.02.73		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
15.02.73		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
18.02.73		2	2	1,5	2	1,5	0
20.02.73		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
22.02.73		0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
24.02.73		2	0,5	1,5	1,5	1,5	0
26.02.73		0,5	0,5	0,5	0	0,5	0
28.02.73		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
03.03.73		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
06.03.73		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0
09.03.73		1,5	1,5	1,5	1,5	1	0
10.03.73		0,25	0,75	0,25	0,25	0,75	0
Total		18	18	18	18	18	0

*El tratamiento inicial corresponde al instante de comenzar la experiencia y no recibe agua de percolación.

cantidad de K intercambiable (18 mg/100 g suelo seco; estrato 5–25 cm) se localiza también en la profundidad 0–30 cm.

Los resultados comentados, muestran que el K agregado a la superficie del suelo desnudo, se mueve verticalmente. Además, la profundidad hasta la cual se moviliza, cuando se lixivía con 100 mm de agua, depende fundamentalmente de la dosis a la cual se aplica. También, la Figura 1 permite sostener que, para este suelo de Vilcún, solamente una muy pequeña proporción del K agregado en cantidades de 160 kg de K_2O/ha o superiores, penetra hasta dos metros de profundidad. Como tal dosis supera en mucho las corrientemente usadas por el agricultor, debe reconocerse que, para las condiciones reales y contando con 100 mm de aguas lluvias o de riego, hay un arrastre mucho menos profundo. En efecto, con las dosis de 16 y 48 kg de K_2O/ha , se modifica la concentración de K únicamente hasta una profundidad de 50 y 70

cm, respectivamente. Esta característica debe considerarse favorable, porque las profundidades de traslocación de K en el perfil en estudio y la de penetración de las raíces de las especies forrajeras, pueden considerarse similares, cuando se trata de especies poco profundizadoras. Pero la distribución del K de intercambio en el suelo Pemehue podría variar substancialmente en presencia de una cubierta vegetal activa, capaz de absorber buena parte del K intercambiable. De ser así, no habría pérdidas de K por lixiviación, a las dosis normalmente usadas.

La modalidad experimental elegida, conlleva a la localización del K_2SO_4 en el punto donde la superficie del suelo intersecta al eje vertical del cilindro percolador. De aquí surge la necesidad de conocer la distribución lateral del K aplicado, medida desde dicho punto. Para perfeccionar esta interpretación, se establecen arbitrariamente tres distancias laterales, válidas a cualquier profundidad del perfil, y todas ellas contadas siempre desde el eje vertical del percolador hacia su pared externa: 0–8 cm (central), 8–16 cm (intermedia) y 16–24 cm (externa). Los resultados experimentales se proporcionan en la Figura 2 y confirman exactamente lo observado en la Figura 1. En efecto, se determina separadamente para cada una de las tres distancias laterales, que la mayor riqueza en K intercambiable, después de arrastrar con 100 mm de agua

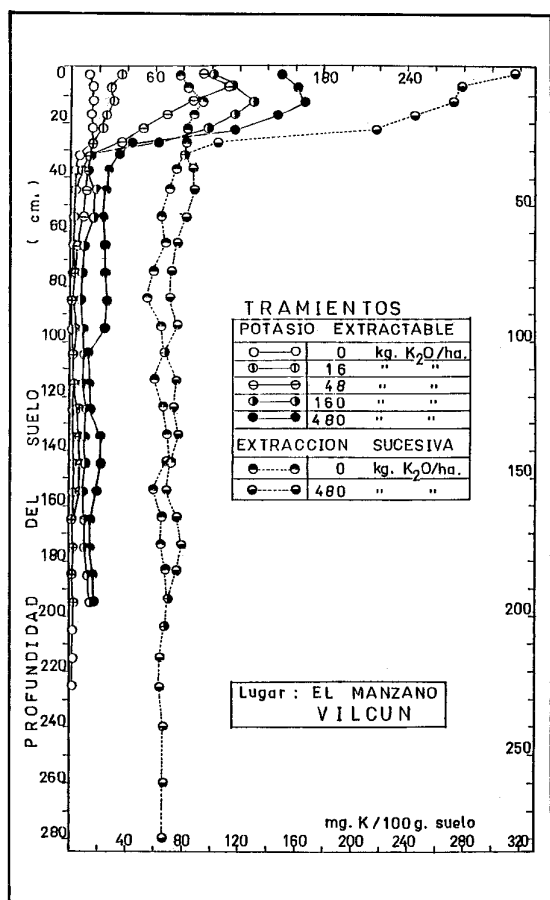


FIGURA 1. Influencia de la dosis de K sobre su distribución en el perfil.

FIGURE 1. Influence of the K doses added on its profile distribution.

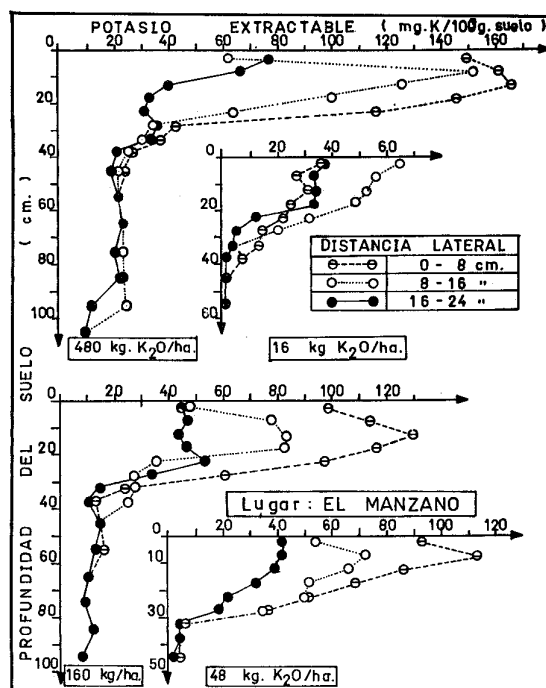


FIGURA 2. Movilidad vertical y lateral del K cuando se lixivian 4 dosis de K_2SO_4 con 100 mm de agua.

FIGURE 2. Vertical and horizontal K mobility, when four doses of K_2SO_4 are lixiviated with 100 mm of water.

el K agregado en la superficie, se encuentra en la profundidad 0-30 cm del perfil. Esta realidad se cumple al margen de las notables diferencias existentes en las concentraciones de K analizadas, para el suelo que se ubica en las posiciones central, intermedia o externa del percolador. Invariablemente, tiene una mayor riqueza la posición central que la externa, correspondiéndole una intermedia al suelo situado a la distancia lateral 8-16 cm. Además, se ratifica que la mayor concentración de K se ubica alrededor de los 10 a 20 cm, con un máximo promedio de 15 cm, cuando se contemplan las cuatro dosis aplicadas y las tres distancias laterales.

De la Figura 2 se excluye el tratamiento testigo, porque su distribución de K de intercambio corresponde al dado en la Figura 1. La circunstancia especial que la profundidad del suelo a la cual se determina la concentración máxima de K intercambiable, sea independiente de la dosis aplicada y de la distancia lateral a la cual se extrae la muestra, significa que esta característica refleja una propiedad intrínseca al perfil del suelo. Para que ello ocurra, es posible pensar en dos mecanismos probables:

- Una mayor compactación y/o tal vez un ligero sellamiento del suelo, alrededor de los 15 cm de profundidad, asociado a un pie de arado.
- Un cambio textural importante a los 15 cm, situándose un estrato más fino sobre otro más grueso. Tal condición podría explicarse, considerando la génesis de los suelos derivados de cenizas volcánicas recientes, cuando un estrato permeable es cubierto por otro menos permeable. Cabe admitir, además, la presencia (variable en constitución y contenido) de minerales arcillosos secundarios.

Los antecedentes experimentales reunidos a la fecha, no permiten dilucidar sobre la importancia relativa de uno u otro factor.

Para finalidades prácticas de nutrición vegetal, reviste gran interés que las aplicaciones potásicas representen un aumento efectivo en la concentración de K intercambiable en los horizontes superiores del perfil, más densamente explorados por las raíces. Considerando que en las figuras 1 y 2 se delimita gráficamente la zona de máximo enriquecimiento a los 30 cm de profundidad, se cree útil asociar la dosis de K con la concentración promedio encontrada en el suelo hasta ahí, en cada uno de los tres sectores definidos del percolador.

La Figura 3 muestra la existencia de una estrecha dependencia entre dosis de K aplicada en forma puntual en la superficie del suelo y concentración promedio de K intercambiable encontrada en todo el volumen

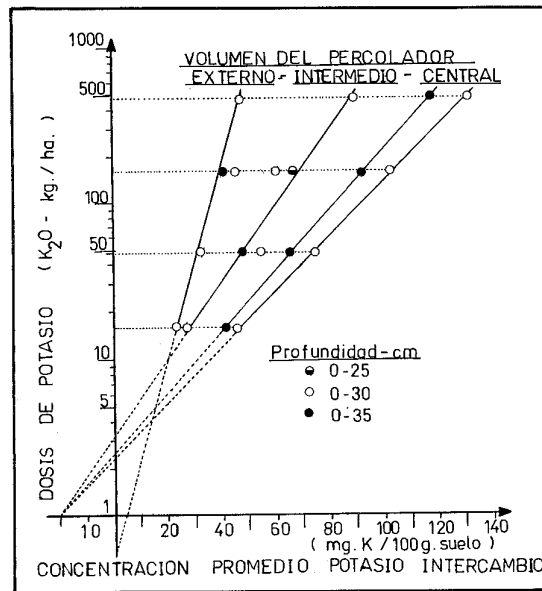


FIGURA 3. Relación entre dosis de K y fracción intercambiable en la primera zona de enriquecimiento del perfil.

FIGURE 3. Relationship between doses of potassium and its exchangeable fraction, in the first enrichment zone of the profile.

de suelo de la primera zona del perfil, definida según la curva de distribución de la Figura 1. La cantidad de dicha fracción de K del suelo, calculada hasta 30 cm de profundidad, varía con el logaritmo de la dosis agregada. Tal enriquecimiento no es uniforme en el suelo contenido dentro del cilindro, pues depende de la distancia lateral a la cual se ubica el suelo con respecto al eje del percolador. La asociación anterior, representada en Figura 3, es muy buena para el volumen de suelo definido por el cilindro central de 8 cm de radio hasta 30 cm y, también, cuando se extiende a 35 cm de profundidad.

El volumen de suelo delimitado por la distancia lateral externa, ofrece una leve dispersión únicamente para la dosis 160 kg de K₂O/ha. Su corrección es posible por el simple expediente de usar el valor promedio de K de intercambio determinado hasta 35 cm de profundidad. Ello indicaría que el descenso de K se detuvo a los 30 cm, no enriqueciendo suficientemente al suelo subyacente. Tal situación podría estar provocada por varias causas, entre las cuales estarían: un impedimento físico al movimiento del agua en el suelo del volumen periférico del percolador; un error en la determinación de distancia lateral y/o profundidad de muestreo medida; o bien una modificación del flujo de K descendente, intensificando su flujo lateral. La última interpretación parece confirmarse cuando se hace intervenir una profundidad de sólo 25 cm en el

volumen intermedio de suelo del mismo percolador, porque así se obtiene un buen ajuste entre los valores teóricos y experimentales, para la dosis de 160 kg de K_2O/ha . Entonces, la excesiva acumulación de K intercambiable en el suelo que ocupa el volumen externo del percolador hasta 30 cm de profundidad, se ve compensada con la menor cantidad para el respectivo volumen intermedio de suelo. Mientras el frente rico de K se desplazó hasta 25 cm en el suelo del volumen intermedio, para la dosis 160 kg, alcanza hasta 35 cm en el respectivo volumen externo.

En consecuencia, es posible sostener (Figura 3) que la primera zona de máxima acumulación de K intercambiable delimita en 30 cm de profundidad, cuando se trabaja en las condiciones experimentales indicadas, cualquiera sea la dosis agregada desde 16 hasta 480 kg de K_2O/ha y se arrastra con 100 mm de agua. Al repetir el cálculo y graficar para 35 cm de profundidad con los correspondientes valores de los volúmenes de suelo externo e intermedio (no se incluye en esta publicación), se produce una mayor dispersión de los puntos experimentales, indicando con ello que el límite de la zona enriquecida queda mejor definido por 30 que por 35 cm de profundidad. Sin embargo, los valores experimentales obtenidos, son igualmente satisfactorios para el suelo del volumen cilíndrico central, indistintamente a que se considere una profundidad de 30 ó 35 cm (Figura 3). Las distintas concentraciones determinadas a partir desde el punto de aplicación, según que intervengan distancias horizontales o verticales, son seguramente la resultante de las correspondientes diferencias en el flujo de agua que disuelve al K_2SO_4 agregado.

La representación gráfica dada en la Figura 1, entrega resultados obtenidos con siete extracciones sucesivas del K presente en el suelo, de las muestras correspondientes a las dosis máxima y mínima. Las concentraciones así obtenidas, se distribuyen de un modo diferente que el K extractable, aunque es siempre más rico el suelo fertilizado. Las zonas de distribución anteriormente señaladas, encuentran una réplica en el K proveniente de las siete extracciones sucesivas. Además, acusan un enriquecimiento hasta 190 cm, para la dosis máxima, situación ésta que merece ser estudiada en el futuro, por su gran trascendencia práctica. A su vez, el tratamiento testigo llama la atención, por la extraordinaria uniformidad que tiene la concentración de K hasta 280 cm de profundidad. En forma aproximada, puede decirse que la cantidad de K analizada con siete extracciones sucesivas, quintuplica a la determinada como K de intercambio, en cualquier lugar del perfil no fertilizado, hasta 230 cm de profundidad. La relación se hace menor en el suelo fertilizado. En consecuencia, el suelo del lugar El Manzano tiene fuertes reservas de K.

DISCUSION

El mayor enriquecimiento en K de intercambio hasta 30 cm de profundidad, sigue un comportamiento general, observado con numerosos suelos de textura franca de otros países. En efecto, la aplicación anual prolongada por 9 a 12 años, de hasta 240 kg de K_2O/ha , a la forma de KCl, aumenta el contenido de K hasta 40 cm de profundidad de diversos suelos de textura arenosa y franca, pero sólo tiene un efecto despreciable en este contenido de suelos aluviales, arcillosos pesados y de loess (Pondel y Gosek, 1982).

El perfil del suelo procedente del fundo Loncovaca, se caracteriza por poseer un alto contenido de limo, superior a 52% hasta 118 cm de profundidad, unido a un bajo contenido de arcilla (menor de 26%), lo cual le confiere una propiedad retentiva de K, que no debería significarle pérdidas considerables por lixiviación, menos aún si está cubierto con especies vegetales. Así lo demostró McLean (1977), cuando no pudo obtener evidencia alguna de lixiviación del K agregado en cantidades excesivas (2.232 kg K/ha), durante tres años de experimentación de campo, en suelos franco y franco arenosos canadienses, cubiertos con diversas gramíneas. Por el contrario, en un suelo latosólico rojo oscuro del Brasil, aplicaciones superiores a 300 kg de K_2O/ha , se traducen en grandes pérdidas por lixiviación, lo que atribuyen Souza y otros (1977), a su baja capacidad de intercambio de cationes, como lo reconocieron antes Munson y Nelson (1963).

La intensidad con la cual se mueve el K en el perfil estudiado, debería cambiar al aumentar la cantidad de agua aplicada, tal cual lo observaron Reddy y Shastry (1984), cuando detectaron una mayor acumulación a la profundidad 30–45 cm. Sin embargo, cuando 650 cm de agua se mueven hasta 150 cm de profundidad en el perfil de un suelo forestal australiano, prácticamente todo el K agregado se retuvo en los 60 cm superiores (Talsma, Mansell y Hallam, 1980).

Las principales fracciones de K que aumentan significativamente como consecuencia de la fertilización potásica, son el K soluble al agua, el intercambiable y el disponible (Hudcová y Fürst, 1982; Hudcová y Voplokal, 1982; Buniak, 1978; Prudnikov, 1981). En suelos polacos, que recibieron 0, 66, 132 ó 264 kg de K/ha, sólo aumentaron el K soluble al agua y el de intercambio, en la capa arable, no afectándose ambas formas presentes en el subsuelo (Buniak, 1978), por lo que con el empleo de altas dosis de fertilizante potásico, este nutriente se almacena principalmente en el horizonte superficial (Hudcová, 1980).

El modelo de enriquecimiento en K del perfil, puede modificarse substancialmente, en especial la profundidad hasta la cual desciende este catión, como conse-

cuencia de ciertas prácticas de manejo, no utilizadas en el predio Loncovaca. El encalado disminuye la profundidad hasta la cual desciende el K (Munson y Nelson, 1963); igual efecto tiene el Mg (Best y Drover, 1979). En la experiencia de Gomonova y Pannikova (1984), aplicaciones anuales de KCl, desde 1950 hasta 1984, a razón de 100 kg de K/ha, sólo enriquecen en K de intercambio los 20 cm superficiales del suelo encalado, frente a 40 cm del suelo sin encalar.

Del mismo modo, suelos más ricos en materia orgánica, aumentan la retención de K (Kamprath y Welch, 1962). Análogamente, los tratamientos que incluyen estiércol o encalado tendrían, según Prudnikov (1981) la propiedad de impedir que el K aplicado se convierta en K no intercambiable y permitirían entender que en el suelo de Loncovaca, rico en materia orgánica, casi todo el K aplicado con el K_2SO_4 , se recupere a la forma intercambiable. Esta interpretación se ve reforzada con los resultados entregados por Munn y Mc Lean (1981), según los cuales el K añadido con el fertilizante se acumuló mayoritariamente a la forma intercambiable, en un suelo franco limoso, pero no así en uno arcilloso, donde se fijó y sólo una muy escasa cantidad se convirtió en K intercambiable. Antecedentes similares inducen a Villar, Eleizalde y Montañés (1979), a sostener que el K intercambiable y el K fijado en la capa arable de suelos españoles, es marcadamente influenciado por la fertilización, tal como ocurre con el suelo Pemehue (Figura 1).

El aumento del K intercambiable en los 30 cm superiores del suelo Pemehue, es proporcional a las cantidades de fertilizante aplicadas (Figura 3). Semejante proporcionalidad también ha sido encontrada por Terelak y Sadurski (1980), con aplicaciones potásicas efectuadas durante 13 años en dosis de 40 a 240 kg de K_2O/ha , y la fracción intercambiable de K fue almacenada en el horizonte superficial, por la escasa migración descendente del K en el perfil (Munson y Nelson, 1963). Sin embargo, la fertilización potásica no aumenta únicamente el contenido de K intercambiable, sino además, en una mayor proporción, el K disponible, particularmente en el suelo superficial, pero también débilmente en el subsuelo (Hudcová, 1980). Esta situación acusa la presencia de una segunda zona de enriquecimiento, en la curva de distribución del K dentro del perfil, confirmando el resultado encontrado aquí y, también, dado a conocer con suelos de otros países (Jackson y Thomas, 1960).

La cantidad de K aplicada, se considera fundamental, por algunos autores, para definir el modelo de distribución y la profundidad de enriquecimiento. Varios años de aplicación de 50 y 100 lb de K/acre, a un suelo franco limoso cubierto con especies forrajeras, se traducen sólo en pequeñas acumulaciones de K en el

estrato 0—2,5 cm. En cambio, adiciones de 398 lb de K/acre, al mismo suelo, aumentan dicha fracción de K en el estrato 0—15 cm (Doll, Hatfield y Todd, 1959). En otro suelo franco limoso, sólo hay una escasa acumulación, bajo 30 cm de profundidad, después de agregar durante 16 años 166 y 332 lb de K/acre, anualmente (Wells y Parks, 1961). Pratt y Goulben (1957) concluyen que, para dosis de hasta 400 lb de K/acre anuales, aplicadas durante 28 años a un suelo franco arenoso regado y con huerto de citrus, se puede asumir que todo el K permaneció en los 60 cm superiores, mientras para dosis mayores, se circunscribe a los 90 cm superficiales. Por lo tanto, es fundado sostener que la profundidad de 30 cm constituye para el suelo Pemehue el límite que separa la zona de máximo enriquecimiento en K intercambiable de otra más pobre, por ser esta última menos afectada por la fertilización, especialmente a dosis mayores de 160 kg de K_2O/ha .

El suelo no fertilizado disminuye ligeramente su fracción de K de intercambio con la profundidad (Figura 1), tal cual lo han encontrado Kadrekar (1979) y Shanmuganathan y Loganathan (1980), al igual que las reservas de K, medidas con las siete extracciones sucesivas. A este respecto, se hace notar que las muestras procedentes de los diferentes estratos del perfil, fueron analizadas en húmedo, sin secado previo, antes de su extracción con acetato de amonio, para ajustarse a la convención utilizada como definición del K de intercambio (Black, 1968). Tal modalidad, a diferencia de la muestra seca al aire, puede introducir cambios apreciables en el modelo de su distribución con la profundidad, como lo han encontrado Stanford y otros, citados por Black (1968).

La distribución relativa del K, medida desde su punto de localización, es compleja (Munson y Nelson, 1963), por lo cual la proporcionalidad encontrada para su enriquecimiento, depende también de la distancia lateral, aparte de la cantidad agregada (Doll y otros, 1959). Por esta razón, no son coincidentes ni paralelas las rectas dibujadas en la Figura 3, cuando se limita la profundidad a 30 cm y su utilidad como un índice de disponibilidad de K no resulta convincente. Otra razón que mueve a usar con cautela esta fracción de K para predecir su disponibilidad para las plantas, proviene de considerar que el pool total de K lábil es mayor que la cantidad extraída con acetato de amonio, la cual a su vez, supera a la de K fácilmente intercambiable (Alias y otros, 1980; Montenegro, 1982; Peyrelongue, 1969). Por esta razón, se argumenta que el K de intercambio en el suelo no refleja su disponibilidad para las plantas (Avakyan, 1983; Simonis, 1983; López, 1980; Claasen y Jungk, 1983).

Tampoco debe desconocerse que la discontinuidad en la fertilización potásica disminuye de un modo varia-

ble el contenido de K intercambiable. Así lo demuestran los resultados de Bucher y Bihler (1983), donde en los 8 a 10 años iniciales, disminuyen fuertemente su contenido de K de intercambio las parcelas sin fertilización potásica, siguiéndole después un marcado descenso del K no intercambiable nativo del suelo. Sin embargo, con alta dosis, casi no disminuye el K no intercambiable. Finalmente, durante un período de 8 años sin fertilización potásica, 73% del K absorbido por las plantas proviene de los 25 cm superficiales del perfil, mientras para un período de 21 años sin K, sólo un 39% del K absorbido procede de esta profundidad.

Los antecedentes discutidos muestran que las relaciones de equilibrio entre las formas intercambiables y no intercambiables del K no son constantes, tienen una complejidad mayor de la generalmente supuesta y comprometen la utilidad del K de intercambio como un método de diagnóstico de la disponibilidad en el suelo para las plantas (Bray, 1948 y 1937). Los resultados dados a conocer por Montenegro (1982), con Ultisoles y Andosoles de la IX Región, así lo ilustran y actualizan el planteamiento de Hurtado (1963), que "el contenido de potasio de intercambio, se ve notoriamente controlado por la reacción de equilibrio entre esta fracción y las formas menos aprovechables que existen en el suelo". Por tanto, se abren dos interrogantes importantes por aclarar en el futuro: ¿Qué efecto tienen los principales cambios ambientales sobre el K intercambiable de diversos suelos chilenos? ¿El contenido de K intercambiable en el suelo, en cualquier instante, refleja realmente su capacidad de suministro de K, durante el extenso período de crecimiento de un cultivo?

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, bajo las condiciones del ensayo, permiten sacar las siguientes conclusiones:

1. La curva de distribución del K de intercambio en el perfil, sigue un modelo que permite definir tres zonas:
 - Una primera (0–30 cm), de máximo enriquecimiento.
 - Otra (30–110 cm), de enriquecimiento intermedio, para las dosis 480 y 160 kg de K_2O/ha , pero que no sobrepasa los 70 cm de profundidad, para las dosis inferiores empleadas.
 - Una zona, prácticamente no afectada con las aplicaciones superficiales, salvo ligeramente a las dosis 480 y 160 kg de K_2O/ha .
2. La intensidad con la cual se distribuye el K de intercambio dentro de las dos zonas de enriquecimiento, depende fundamentalmente de la dosis agregada.
3. La zona superior del perfil es siempre la más rica en K intercambiable, cualquiera sea la cantidad de K_2SO_4 añadida, manifestándose el límite inferior como una propiedad dependiente del suelo.
4. La máxima concentración de K intercambiable se sitúa siempre a los 15 cm de profundidad, para todos los tratamientos. Por tanto, es independiente de la dosis agregada, dependiendo en cambio de propiedades intrínsecas al suelo mismo.
5. La forma de la curva de distribución del K de intercambio es función, por tanto, de factores propios del suelo y de la dosis aplicada del fertilizante potásico.
6. El enriquecimiento observado con la fracción intercambiable de K en los 30 cm superiores, es afectado por la distancia lateral, medida desde el punto de aplicación en el cual se localiza el fertilizante, en la superficie del suelo.
7. La curva de distribución de K de intercambio correspondiente al suelo sin fertilizar, tiene una notable uniformidad en todo el perfil, hasta 200 cm, y con mucha probabilidad puede extenderse hasta 280 cm, cuando se consideran las cantidades de K medidas por extracciones sucesivas (Figura 1).
8. La concentración promedio del K de intercambio determinada para el suelo contenido en los distintos volúmenes del percolador en la zona 0–30 cm de mayor enriquecimiento, es una función logarítmica de la dosis de K aplicada en forma puntual a la superficie del suelo. La pendiente de estas rectas no es constante (Figura 3) y muestra que las relaciones de equilibrio entre las distintas formas del K se modifican.
9. El K agregado a la superficie del suelo desnudo, se mueve vertical y lateralmente, cuando se riega con 100 mm de agua.

RESUMEN

Se estudia el movimiento vertical y lateral del K añadido, como K_2SO_4 , de pureza analítica, a la superficie del suelo trumao Pemehue, ubicado cerca de Vilcún, provincia de Cautín.

En percoladores, insertados a presión en un sitio ocupado anteriormente por una pradera jamás fertilizada con K, se colocan cinco dosis: 0, 16, 48, 160 y 480 kg de K_2O/ha .

La forma que asume la curva de distribución del K de intercambio en el perfil de suelo libre de vegetación, es modificada por la dosis y por factores propios del suelo. Para el suelo fertilizado, el K de intercambio se distribuye en el perfil según un modelo que permite distinguir tres zonas: una de máximo enriquecimiento (0–30 cm), muy afectada por la dosis aplicada; otra de enriquecimiento intermedio (30–110 cm), modificada sólo hasta 70 cm, para las menores dosis agregadas; y otra (110 y 200 cm), que prácticamente no fue

alterada por la fertilización potásica, salvo ligeramente a las dosis de 480 y 160 kg de K_2O/ha .

La concentración máxima de K de intercambio se ubica, en todos los tratamientos, a 15 cm de profundidad, siendo esta distancia independiente de la cantidad agregada. Sin embargo, tanto la cantidad de K de intercambio presente a dicha profundidad, como dentro de la primera zona, son la resultante de la dosis aplicada.

El mismo suelo, nunca fertilizado con K, manifiesta una notable uniformidad, para las fracciones de K intercambiable y la acumulada, con siete extracciones sucesivas hasta 200 cm bajo la superficie. Por comparación entre ambas cantidades, se miden fuertes reservas de K en todo el perfil.

Los resultados encontrados descartan la posibilidad de pérdidas de K por lixiviación, en este suelo Pemehue profundo.

LITERATURA CITADA

- ALIAS, L.; BOLARIN, M.; CARO, M. y FERNANDEZ, F. 1980. Relaciones entre los parámetros Q/I de potasio y otras propiedades del suelo en Aridisoles del Sureste español. *Anales Edaf. y Agrob.* 39 (3/4): 593–609.
- ATTOE, O. 1946. Potassium fixation and release in soils occurring under moist and dry conditions. *Soil Sci. Soc. of Am. Proc.* 11: 145–149.
- AVAKYAN, N. 1983. On optimum nutrition of plants and application of potassium fertilizer. *Soils Fert.* 46 (9): 907 Abstract 8694.
- BEST, E. and DROVER, D. 1979. The downward movement of surface applied potassium ions in a Papua soil. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 10 (12): 1469–1479.
- BLACK, C. 1968. *Soil-plant relationships*. 2nd. ed. New York. John Wiley. 792 p.
- BRAY, R. 1948. Requirements for successful soil tests. *Soil Science* 66 (1): 83–89.
- BRAY, R. 1937. New concepts in the chemistry of soil fertility. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 2: 175–179.
- BRAY, R. and De TURK, E. 1938. The release of potassium from non replaceable forms in Illinois soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 3: 101–106.
- BUCHER, R. and BIHLER, E. 1983. Results of two long-term potassium fertilizing experiments in the North Bavarian loess region. Part 2. Change in potassium reserves of the soil with and without fertilizing. *Soils Fert.* 46 (1): 15. Abstract 145.
- BUNIAK, W. 1978. Effect of fertilizer level on potassium forms in soil. *Soils Fert.* 41 (6): 327. Abstract 3099.
- CLAASEN, N. and JUNGK, A. 1983. Potassium dynamics in rhizosphere soil in relation to potassium uptake by maize plants. *Soils Fert.* 46 (10): 1036. Abstract 10042.
- De TURK, E.; WOOD, L.; and BRAY, R. 1943. Potash fixation in corn belt soils. *Soil Science* 55 (1): 1–12.
- DOLL, E.; HATFIELD, A.; and TODD, J. 1959. Vertical distribution of topdressed fertilizer phosphorus and potassium in relation to yield and composition of pasture herbage. *Agron. J.* 51 (11): 645–648.
- DOWDY, R. and HUTCHESON, T. 1963a. Effect of exchangeable potassium level and drying on release and fixation of potassium by soils as related to clay mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27 (1): 31–34.
- DOWDY, R. and HUTCHESON, T. 1963b. Effect of exchangeable potassium level and drying upon availability of potassium to plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27 (5): 521–523

- GOMONOVA, M. and PANNIKOVA, I. 1984. Effect of long-term application of mineral fertilizers and lime on the content of various potassium forms in the one meter layer of a dernopodzolic soil. *Soils Fert.* 47 (1/3): 28. Abstract 271.
- HUDCOVA, O. 1980. Changes and migration of potassium in soil. *Soils Fert.* 43 (3): 214. Abstract 1931.
- HUDCOVA, O. and FURST, Z. 1982: Relationship between applied potassium, soil potassium and plant potassium. *Soils Fert.* 45 (7): 628. Abstract 7996.
- HUDCOVA, O. and VOPLOKAL, K. 1982. The effect of high rates of fertilizer application on potassium in soil. *Soils Fert.* 45 (2): 126. Abstract 1742.
- HUN, E. 1971. Variación estacional de nutrientes en un suelo con pradera natural y establecida. Chillán, Chile. U. de Concepción, Esc. de Agronomía. 53 p. y 18 cuadros anexos. (Tesis mimeografiada).
- HURTADO, R. 1963. Potasio, nitrógeno y materia orgánica en suelos dedicados al cultivo de la alfalfa. Chillán, Chile. U. de Concepción, Esc. de Agronomía. 296 p. (Tesis mimeografiada).
- JACKSON, W. and THOMAS, G. 1960. Effects of KCl and dolomitic limestone on growth and ion uptake of the sweet potato. *Soil Science* 89 (6): 347–352.
- KADREKAR, S. 1979. Vertical distribution of soil potassium. *Soils Fert.* 42 (4): 220. Abstract 2174.
- KAMPURATH, E. and WELCH, C. 1962. Retention and cation – exchange properties of organic matter in Coastal Plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36 (3): 263–265.
- LAMBERT, J. and ARNASON, J. 1982. Nitrogen distribution in hybrid and local corn varieties and its possible relationship to a declining soil nitrogen pool under shifting agriculture at Indian Church, Belize. *Plant Soil* 67 (1/3): 119–127.
- LIEBHARDT, W. and TEEL, M. 1977. Fluctuation in soil test values for potassium as influenced by time of sampling. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 8 (7): 591–597.
- LOPEZ, G. 1980. Potassium in the soils of Apulia. *Potash Review*, Subject 4, Suite 69, Nº 8/9. 5 p. También en: *Soils Fert.* 44 (11): 1028. Abstract 9588.
- MATTHEWS, B. and SHERRELL, C. 1960. Effect of drying on exchangeable potassium of Ontario soils and the relation of exchangeable potassium to crop yield. *Can. J. Soil Sci.* 40 (1): 35–41.
- McLEAN, A. 1977. Soil retention and plant removal of potassium added at an excessive rate under field conditions. *Can. J. Soil Sci.* 57 (3): 371–374.
- MONTENEGRO, A. 1982. Poder de suministro de potasio de Andosoles y Ultisoles en la Región de la Araucanía. Santiago, Chile. U. Católica de Chile. Fac. de Agronomía. 146 p. (Tesis Magister).
- MUNN, D. and McLEAN, E. 1981. Potassium relationships of three Ohio soils. *Soils Fert.* 44 (7): 617. Abstract 5514.
- MUNSON, R. and NELSON, W. 1963. Movement of applied potassium in soils. *J. Agric. Food Chem.* 11 (3): 193–201.
- NIELSEN, J. 1977. Potassium release in uncultivated soil. *Soils Fert.* 40 (4): 169. Abstract 1605.
- PAILLALEF, N. 1964. El problema indígena de Cautín y la fertilidad del suelo. Chillán, Chile. U. de Concepción, Fac. de Agronomía. 198 p. (Tesis Ing. Agr.).
- PEREVALOV, M. and PODDUBNYI, N. 1977. The reserves and distribution of potassium in dernopodzolic and chernozemic soils. *Soils Fert.* 40 (12): 689. Abstract 6862.
- PEYRELONGUE, A. 1969. Poder de suministro de potasio de 14 suelos aluviales del Valle Central. Santiago, Chile. U. Católica de Chile, Fac. de Agronomía. 46 p. (Tesis Ing. Agr.).
- PONDEL, H. and GOSEK, S. 1982. Effect of potassium fertilization on the potassium content in soil. *Soils Fert.* 45 (2): 126. Abstract 1741.
- PRATT, P. and GOULBEN, B. 1957. Potassium fixation in soil of a long-term fertility trial with citrus. *Soil Science* 84 (3): 225–232.
- PRUDNIKOV, V. 1981. Effect of long-term application of potassium fertilizers on potassium forms in dernopodzolic loamy soil. *Soils Fert.* 44 (7): 617. Abstract 5519.
- QUEMENER, J. 1976a. Analyse du potassium dans les sols. Dossier K2O Au Service de l'Agriculture Nº 1, février. 26 p.
- QUEMENER, J. 1976b. Le conseil de fumure potassique tiré de l'analyse de sol á la SCPA. Dossier K2O Au Service de l'Agriculture Nº 6, novembre. 24 p.
- REDDY, M. and SHASTRY, W. 1984. Effect of irrigation levels on P and K movement in a red sandy soil of Andhra Pradesh. *Soils Fert.* 47 (1/3): 27. Abstract 257.
- ROSOLEM, C. and NAKAGAWA, J.L. 1985. Potassium uptake by soybean as affected by exchangeable potassium in soil. *Com. Soil Sci. Plant Anal.* 16 (7): 707–726.
- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1983. Cambios de fertilidad observados en perfiles de suelos chilenos. III. Con la lixiviación de cinco dosis de nitrato de sodio en un suelo Vilcún. *Agricultura Técnica (Chile)* 43 (2): 105–119.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T. y GAJARDO, M. 1972. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. VIII. Macronutrientes, provincia Valdivia. *Agricultura Técnica (Chile)* 32 (1): 37–48.
- SCHROEDER, D. 1974. Relationship between soil potassium and the potassium nutrition of the plant. *Proc. 10th. Congress Int. Potash Inst.*: 53–63.
- SCHUFFELEN, H. 1973. Potassium in soil. *Proc. 9th. Colloquium Int. Potash Inst.*: 75–88.
- SHANMUGANATHAN, P. and LOGANATHAN, P. 1980. Potassium status of some coconut growing soils of Sri Lanka. *Soils Fert.* 43 (11): 978. Abstract 8923.
- SIMONIS, A. 1983. Studies on potassium in northern Greece soils. Determination of nonexchangeable potassium of soils and its importance for crop production. *Soils Fert.* 46 (8): 799. Abstract 7612.

- SOUZA, D.; RITCHEY, K.; LOBATO, E.; and GOEDERT, W. 1979. Potassium in a Cerrado soil. II. Equilibrium in the soil. *Soils Fert.* 43 (3): 214. Abstract 1930. También, *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 3 (1): 33–36.
- TALSMA, T.; MANSELL, R.; and HALLAM, P. 1980. Potassium and chloride movement in a forest soil under simulated rainfall. *Aust. J. Soil Res.* 18 (3): 333–342.
- TERELAK, H. and SADURSKI, W. 1980. Influence of graded potassium fertilizer levels on static and dynamic indices of the content of this element in soil. *Soils Fert.* 43 (5): 408. Abstract 3696.
- VAN DER PAAUW, F. 1962. Periodic fluctuations of soil fertility, crops, yields, and of response to fertilization as affected by alternating periods of low or high rainfall. *Plant Soil* 17 (2): 155–182.
- VAN DER PAAUW, F. 1956. Calibration of soil test methods for the determination of phosphates and potash status. *Plant Soil* 8 (2): 105–125.
- VAN LIEROP, W. and TRAN, T. 1985. Comparative potassium levels removed from soils by electro-ultrafiltration and some chemical extractants. *Can. J. Soil Sci.* 40 (1): 35–41.
- VILLAR, E.; ELEIZALDE, B. y MONTAÑES, L. 1979. Distribución de las formas químicas del potasio a lo largo del perfil en algunos grandes grupos de suelos del Valle del Ebro. *Soils Fert.* 42 (6): 368. Abstract 3585.
- WELLS, K. and PARKS, W. 1961. Vertical distribution of Soil phosphorus and potassium in several established alfalfa stands that received various rates of annual fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25 (2): 117–120.
- WIKLANDER, L. 1965. Cation and anion exchange phenomena. En: F. Bear (ed.) *Chemistry of the soil*. New York. Reinhold. p: 163–205.