

# Efecto de la acidez sobre la selectividad de intercambio Ca/K en dos suelos del sur de Chile<sup>1</sup>

I. Salazar\*, K. Faundez\*\*, H. Pinilla\*\*,  
M. Pino\*, M.L. Mora\*

## SUMMARY

The effect of acidity was studied on the exchange selectivity Ca/K in and Andisol (Pemehue) and Ultisol (Metrengo) homoionized in calcium so as to simulate a great level of whitening. The experimental procedure consisted in balancing the soil samples with solutions from different quantities of CaCl<sub>2</sub>/KCl into three levels of acidity but maintaining the electrolytic concentration of 0.05 mol/l; a soil ratio: a solution 1:40, and at a controlled temperature of 25°C. The Pemehue soil presented potassium selectivity in all the acidity levels studied, that is to say: at pH 4.5, it presented potassium selectivity for saturations in potassium between 0% and 82%; in higher saturations, it preferred calcium. At pH 5.0, it presented potassium selectivity for saturations in K between 0% and 60%, and for higher potassium saturations it prefers calcium. At pH 6.0, it presented potassium selectivity for saturations in potassium between 0% and 40%, and at higher potassium saturations Pemehue soil prefers calcium. The Metrengo soil is selective for potassium in all the pH readings and saturations in potassium that we have studied.

## RESUMEN

Se estudió el efecto de la acidez sobre la selectividad de intercambio Ca/K de un Andisol (Pemehue) y un Ultisol (Metrengo), homoionizados en Ca para simular un alto nivel de enclado. El procedimiento experimental consistió en equilibrar muestras de suelo con soluciones de diferentes proporciones de CaCl<sub>2</sub>/KCl con tres niveles de acidez, manteniendo la concentración electrolítica de 0.05 mol/l, a razón de suelo:solución a 1:40 y una temperatura constante de 25° centígrados. El suelo Pemehue presentó selectividad por K en los tres niveles de acidez estudiados, en la región de bajos porcentajes de K en solución; es así como, con un pH 4.5, prefiere K a saturaciones en K entre 0% y 82%, y a saturaciones mayores, Ca. Con un pH 5.0 es selectivo por K a saturaciones entre 0% y 60%, con saturaciones mayores prefiere Ca y con pH 6.0 es selectivo por K a saturaciones entre 0% y 40%, y entre 40% y 60% de saturación en K es selectivo por Ca. El suelo Metrengo mostró selectividad por K en todos los niveles de acidez y saturaciones estudiadas en potasio.

## INTRODUCCIÓN

Existe preocupación en el sector agrícola de la zona sur de Chile por los problemas asociados a las pérdidas de bases de intercambio y aumento de la acidez del suelo —fenómeno que acarrea grandes pérdidas en la producción agrícola. La acidificación de los suelos es un proceso natural que ocurre lentamente en suelos con alta pluviometría, como consecuencia de la lenta y constante pérdida de bases (Sadzawka 1991). Sin embargo, la principal causa de la acidificación es la práctica de una agricultura intensiva, extractiva y sin reposición de bases, o por la aplicación de elevadas dosis de fertilizantes amoniacales (Fassbender y Bornemisza 1980; Mora 1993).

En este contexto, se deben determinar los efectos causados por la acidez en suelos de la zona sur de Chile y su relación con la selectividad de intercambio Ca/K.

La selectividad del intercambio es determinante en la disponibilidad de bases en el suelo. Salazar *et al.* (1992) estudiaron el equilibrio de intercambio Ca/K en la fracción arcilla (< 2 μm) de un suelo Vilcún del sur de Chile, y encontraron que este suelo presenta selectividad por K en todo el rango de saturación en K, y el correspondiente suelo Osorno, sólo a bajas saturaciones en K, es selectivo por este ión.

Asimismo Salazar *et al.* (1993) encontraron que los coeficientes de selectividad por K determinados en suelos volcánicos de Chile a través de estudios de equilibrios de intercambio Ca/K, Ca/Na y Ca/Mg, decrecen al aumentar la saturación del suelo en K. Ello sugiere una creciente selectividad por K a medida que el porcentaje de saturación en K de la solución tiende a cero. Ogwada *et al.* (1986) estudiaron el intercambio Ca/K en horizontes Ap de una marga Chester y una marga arenosa Downer con bajos contenidos de materia orgánica y composición mineralógica similares, y encontraron que ambos suelos presentan selectividad por K.

Goulding *et al.* (1984) estudiaron el intercambio K/Ca en suelos ingleses con bajo contenido de materia orgánica y encontraron que la preferencia por K (Worcester > Andover = Hanslope > Clwyd > Newport) decreció con el incremento de la densidad de carga superficial; y Parfitt (1980) señaló que la

<sup>1</sup> Recibido el 8 de setiembre de 1994.

\* Departamento de Ciencias Químicas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

\*\* Facultad de Agronomía, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

disminución de la selectividad por K con el incremento del pH, trae consigo el aumento de la selectividad por Ca.

En la actualidad, debido al aumento creciente de la acidificación de los suelos del sur de Chile, es una práctica agrícola común el uso de enmiendas calcáreas para corregir la acidez y la saturación en Al de estos suelos. Sin embargo la acidificación como el encalado alteran la dinámica de fertilidad del suelo. Por esta razón, en esta investigación, se propuso estudiar la selectividad de intercambio Ca/K en suelos homoionizados en Ca para simular el encalado, y en tres niveles de acidez, en un Andisol y un Ultisol de la IX región de Chile.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dos familias de suelos cultivados, recolectados a una profundidad de 0 - 20 centímetros. Un Andisol perteneciente a la serie Pemehue (Ashy, mesic, Hydric Dystrandep), ubicado a 4 km al norte de Radal, IX Región, y un Ultisol de la Serie Metrenco (Fine, mesic, Palehumult), ubicado a 5 km al sur de Temuco, al lado de la carretera Panamericana, IX Región. Algunas propiedades de los suelos se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Algunas propiedades de los suelos Pemehue y Metrenco.

	Suelo	
	Pemehue	Metrenco
pH(H <sub>2</sub> O), 1:2.5	5.49	5.55
M.O.* (%)	20.00	6.00
K**, (cmol(+)/kg)	0.45	0.94
Ca**, (cmol(+)/kg)	0.96	8.44

### Notas:

\* Determinada por el método Walkley-Black.

\*\* Extraídos con acetato de amonio a pH=7.0

Se realizaron equilibrios de intercambio Ca/K con pH 4.5, 5.0 y 6.0 en suelos homoionizados en Ca, para simular diferentes niveles de acidez y encalado. El procedimiento experimental consistió en saturar el suelo con Ca<sup>++</sup>, usando CaCl<sub>2</sub> 0.5 M; eliminar el exceso del catión saturante mediante sucesivos lavados con agua desionizada y destilada, hasta obtener una prueba negativa con AgNO<sub>3</sub>; equilibrar los suelos con una razón suelo:solución 1:40 usando ocho soluciones diferentes, variando la relación CaCl<sub>2</sub>/KCl pero manteniendo una concentración electrolítica de 0.05 mol/l y una temperatura de 25°C; desplazar los cationes adsorbidos con una solución de NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 0.15 M (Ecsudey y Galindo 1988) y determinar K y Ca, adsorbidos por Espectrofotometría de Emisión y de Absorción Atómica, respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los valores de pH, contenidos de materia orgánica (MO), K y Ca intercambiables (cmol(+)/kg) de los suelos utilizados en este estudio. El suelo Pemehue tiene un pH inferior en 0.06 unidades respecto al suelo Metrenco y, por lo tanto, mayor grado de acidez.

En el suelo Metrenco, los niveles de K intercambiables, como una función del porcentaje de K en solución, son mayores que en el suelo Pemehue en los tres niveles de acidez estudiados. Así, con un pH 4.5, al aumentar el K en solución desde 0% hasta 100%, el K intercambiable se incrementa desde 0.0 hasta 7.2 cmol(K)/kg en suelo Metrenco (Cuadro 2) y desde 0.0 hasta 5.0 cmol(K)/kg en suelo Pemehue (Cuadro 3), respectivamente.

Con un pH 5.0, el K intercambiable se incrementa desde 0.6 hasta 7.5 cmol(K)/kg en suelo Metrenco y desde 0.0 hasta 5.6 cmol(K)/kg en suelo Pemehue, y con pH 6.0, el K intercambiable aumentó desde 0.0 hasta 11.9 cmol(K)/kg en suelo Metrenco (Cuadro 2) y desde 0.0 hasta 6.5 cmol(K)/kg en el suelo Pemehue (Cuadro 3).

Cuadro 2. K y Ca intercambiables, como función del porcentaje de K en solución a tres niveles de acidez en un suelo Metrenco.

K (%) en solución	pH					
	4.5		5.0		6.0	
	K(int)	Ca(int)	K(int)	Ca(int)	K(int)	Ca(int)
	----- cmol(+)/kg -----					
0	0.0	3.6	0.6	4.1	0.0	6.2
15	1.4	4.2	1.7	3.7	1.5	5.2
33	2.4	3.2	3.1	3.4	2.7	4.7
50	3.4	2.9	4.0	3.2	4.1	4.2
69	3.7	2.7	4.3	2.9	8.5	4.0
82	4.8	2.4	4.8	2.4	8.6	3.6
93	6.2	1.3	6.5	1.5	9.4	3.1
100	7.2	0.0	7.5	0.0	11.9	0.0

Cuadro 3. K y Ca intercambiables, como función del % de K en solución a tres niveles de acidez en un suelo Pemehue.

K % en solución	pH					
	4.5		5.0		6.0	
	K(int)	Ca(int)	K(int)	Ca(int)	K(int)	Ca(int)
	----- cmol(+)/kg -----					
0	0.0	5.1	0.0	6.1	0.0	9.9
15	1.0	4.2	0.6	5.7	0.5	8.4
33	1.9	3.9	1.1	5.3	1.3	7.8
50	2.1	3.8	1.7	4.7	1.8	7.4
69	2.2	3.2	2.3	4.1	3.6	6.7
82	2.7	3.0	3.2	3.5	4.6	6.1
93	3.7	2.2	4.6	2.2	5.6	3.7
100	5.0	1.5	5.6	1.4	6.5	2.0

Estas diferencias se atribuyen a la composición mineralógica de los suelos, pues el suelo Metrenco (Ultisol) es geológicamente más antiguo y con estructura más ordenada que el suelo Pemehue (Andisol) (Besoian 1981), y a los contenidos de

materia orgánica (Talibudeen 1981). Los grupos carboxílicos de la materia orgánica del suelo con valores de pKa entre 3 y 5 se ionizan progresivamente cuando el pH sube y, por lo tanto, aumenta la carga negativa, fenómeno que favorece la interacción del

suelo Pemehue con  $\text{Ca}^{++}$  y no con  $\text{K}^+$ , por su alto contenido de materia orgánica.

Las magnitudes de Ca intercambiable contra el porcentaje de K en solución, y a igual pH, son mayores en el suelo Pemehue que en el Metrenco. En los cuadros 2 y 3 se observa que al aumentar el K en solución desde 0% hasta 100%, con pH 4.5, el Ca intercambiable va desde 3.6 hasta 0.0  $\text{cmol}(\text{Ca})/\text{kg}$  de suelo Metrenco y desde 5.1 hasta 1.5  $\text{cmol}(\text{Ca})/\text{kg}$  en suelo Pemehue, respectivamente.

Con un pH 5.0 se observa que al aumentar el K en solución desde 0% a 100%, el Ca intercambiable va desde 4.1 hasta 0.0  $\text{cmol}(\text{Ca})/\text{kg}$  de suelo Metrenco y desde 6.1 hasta 1.4  $\text{cmol}(\text{Ca})/\text{kg}$  de suelo Pemehue, respectivamente. Con un pH 6.0 al aumentar el K en solución desde 0% a 100%, el Ca intercambiable va desde 6.2 hasta 0.0  $\text{cmol}(\text{Ca})/\text{kg}$  de suelo Metrenco y

desde 9.9 hasta 2.0  $\text{cmol}(\text{Ca})/\text{kg}$  de suelo Pemehue, respectivamente. Las diferencias entre estos dos suelos se explicarían por el mayor contenido de materia orgánica del suelo Pemehue y, por ende, la mayor disociación de los grupos carboxílicos y que, por densidad de carga, hay mayor interacción con el catión divalente ( $\text{Ca}^{++}$ ).

Las tendencias en las cantidades de K y Ca intercambiables observadas con respecto al porcentaje de K en solución, fueron similares para cada pH estudiado (Fig. 1). Los aumentos crecientes en las magnitudes de K y Ca intercambiables con los aumentos de pH se pueden atribuir a aumentos también crecientes en la carga negativa de estos suelos con el pH (Fassbender y Bornemisza 1980; Carrasco y Sadzawka 1985; Rue y Mansell 1988; Talibudeen 1981).

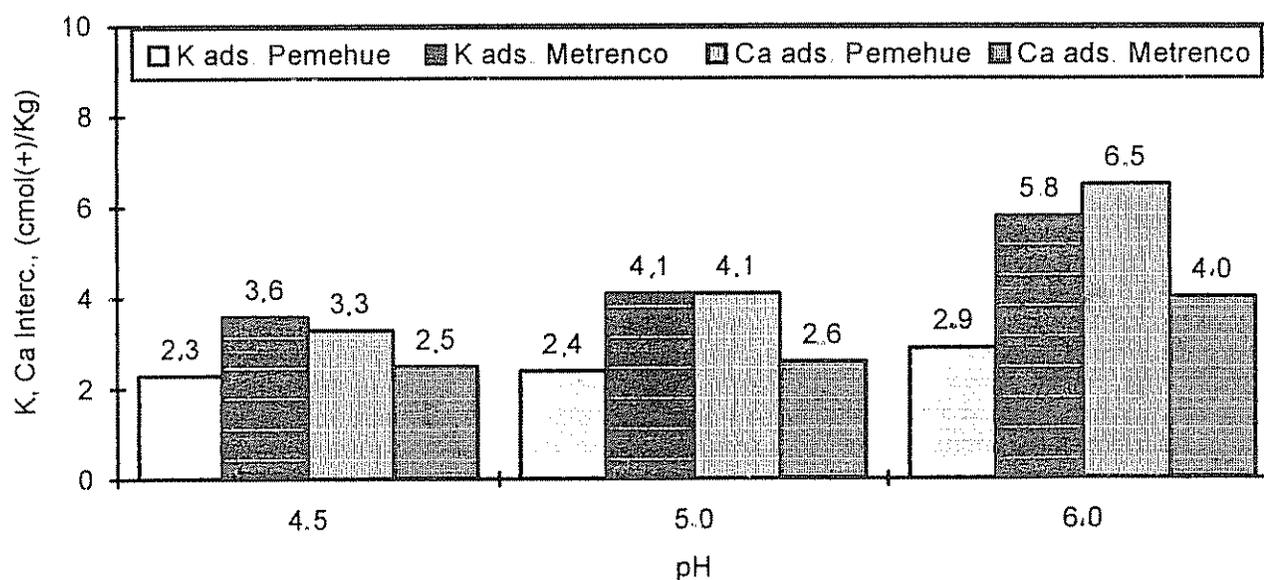


Fig. 1. Valores en promedio de K y Ca intercambiables a pH 4.5, 5.0 y 6.0 en el suelo Pemehue y Metrenco.

Un incremento en 0.5 unidades de pH, desde 4.5 a 5.0 ( $\Delta\text{pH}=0.5$ ), implicó un aumento del 4% en el K intercambiable y un aumento del 8% en una unidad

de pH, desde 5.0 a 6.0, ( $\Delta\text{pH}=1.0$ ), en el K de intercambio en el suelo Pemehue (Fig. 2).

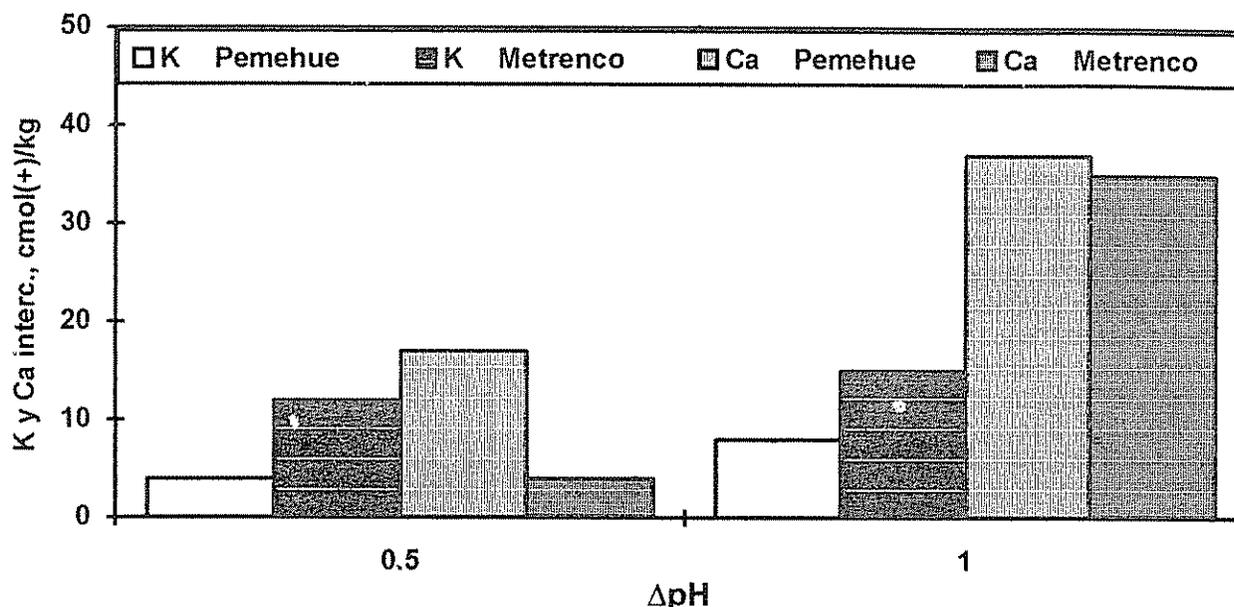


Fig. 2. K y Ca intercambiable como una función del incremento de pH (4 pH) en el suelo Pemehue y Metrenco.

En cuanto al Ca intercambiable en el suelo Pemehue, al aumentar el pH en 0.5 unidades (4.5 a 5.0), se incrementó un 17% y al elevar en una unidad de pH (5.0 a 6.0) subió un 37 por ciento. Los cambios de pH indican que tanto el K como Ca intercambiables en el suelo Pemehue sufrieron incrementos proporcionales al aumento de pH en las mismas condiciones de concentración de K y Ca en la solución suelo.

En el suelo Metrenco (Fig. 2), el aumento en 0.5 unidades de pH (4.5 a 5.0) incrementó el K intercambiable en 12% y el Ca en cuatro por ciento. En tanto, la variación en una unidad de pH (5.0 a 6.0) conlleva un 15% de aumento en el K intercambiable y un 35% en el Ca intercambiable.

De los valores de K y Ca intercambiables en el suelo Pemehue, se infiere que cuando el incremento de pH fue de una unidad ( $\Delta\text{pH}=1.0$ ), se duplicaron los porcentajes de K y Ca intercambiables con

respecto a  $\Delta\text{pH} 0.5$ , no así en el suelo Rojo Arcilloso, Metrenco, donde el K intercambiable experimentó un leve aumento. En cambio, el Ca aumentó prácticamente en un factor 9, al subir el pH. Estos fenómenos tienen directa relación con el aumento de la carga negativa al incrementar el pH en estos suelos de carga variable, derivados de cenizas volcánicas. Así se explica la alta capacidad de adsorber  $\text{Ca}^{++}$ , ión divalente, que por su densidad de carga es preferido ante un ión monovalente (Delvaux *et al.* 1989).

En la Fig 3ab se muestra que, en ambos suelos, la selectividad por K disminuye con el aumento de la concentración de K en la solución. Esto coincide con lo encontrado por Salazar *et al.* (1993) al estudiar equilibrios de intercambio Ca/K en suelos volcánicos. Según estos autores, los valores de los coeficientes de selectividad decrecen al aumentar la saturación del catión en equilibrio, K, sugiriendo una selectividad creciente por este catión a medida que el porcentaje de saturación en K tiende a cero.

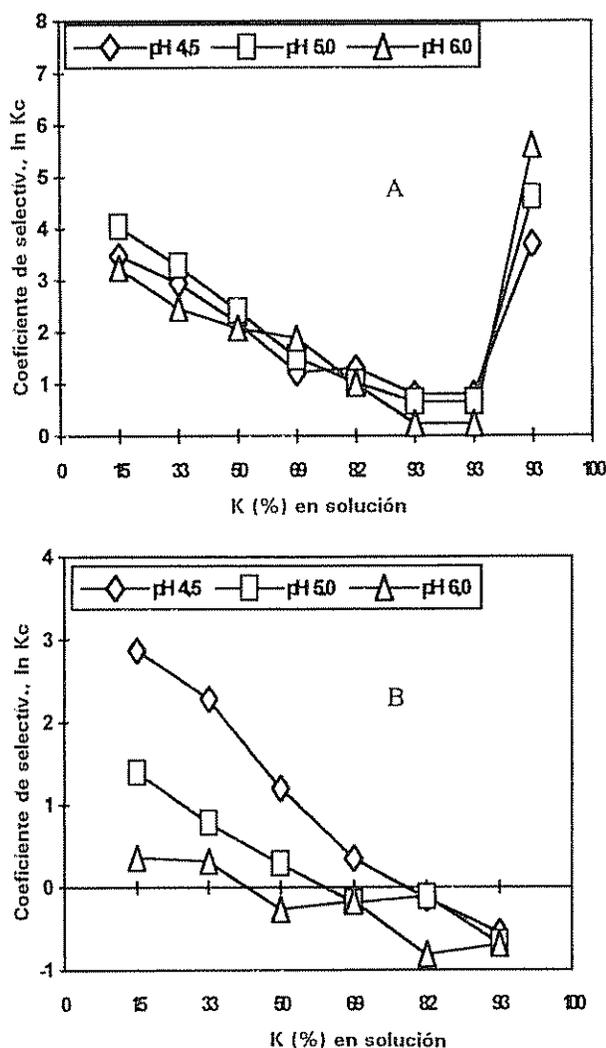


Fig. 3. Coeficiente de selectividad,  $\text{Ln Kc}$ , como una función del porcentaje de K en solución en pH 4.5, 5.0 y 6.0 en el suelo Metrenco (a) y Pemehue (b).

El suelo Metrenco (Fig. 3a) mostró selectividad por K (valores positivos de  $\text{Ln Kc}$ ) en el rango de concentración de K en solución, a los tres niveles de acidez estudiados, observándose un cambio de pendiente a aproximadamente un 93% de K en solución, debido a la diferente naturaleza de los sitios que adsorben K. Goulding (1986), Rue *et al.* (1988) y Salazar *et al.* (1992) informan que los suelos prefieren K frente a Ca a bajos valores de K adsorbido; por lo tanto, la selectividad por K disminuye con el aumento de K adsorbido por el suelo. Según Parfitt (1980), la disminución de la selectividad por K con el incremento de pH trae consigo el aumento de la selectividad por Ca, lo que se produciría por la aparición adicional de sitios de

carga variable negativa, conocidos por exhibir una gran selectividad por el catión con mayor valencia, en este caso  $\text{Ca}^{++}$ .

El suelo Pemehue (Fig. 3b) presentó selectividad por K hasta cierto rango de K en solución, dependiendo de la acidez de este suelo. Es así que, con un pH 6.0, la selectividad por K se extiende entre 0% y 40% (valores positivos de  $\text{Ln Kc}$ ) de K en solución y, con concentraciones mayores que 40% en K, la preferencia es por Ca (valores negativos de  $\text{Ln Kc}$ ). Con un pH 5.0 entre 0% y 60% de K en solución, hubo preferencia por K y a porcentajes mayores lo fue de Ca. Con un pH 4.5, entre 0% y 78% de K en solución en equilibrio con los coloides del suelo, presentó selectividad por K y por Ca a valores mayores que 78% de saturación en K.

Estos fenómenos están relacionados con la mineralogía de los suelos, existiendo sitios específicos de adsorción para las distintas bases de intercambio. Los Andisoles están constituidos principalmente por arcillas amorfas que poseen escasos sitios específicos de intercambio, pues sus cargas son sólo superficiales y, por lo tanto, fácilmente intercambiables con el K de la solución del suelo, es decir, estos suelos tienen una baja capacidad tampón (Rodríguez 1993). Los Ultisoles tienen predominio de arcillas 1:1, las que también carecen de sitios específicos de intercambio para K; sin embargo presentan arcillas con sitios específicos, como los minerales micáceos 2:1 interestratificados, vermiculita, illita o esmectitas, donde el K queda retenido en las hendiduras de las capas y entre estas mismas con mayor intensidad de carga que en los sitios planares o de las esquinas (Goulding 1986). Los Ultisoles presentan mayor capacidad tampón para K.

Según los valores de K adsorbido y la selectividad por K encontrados en este estudio, el suelo Metrenco (Fig. 4a) presentó mayor capacidad tampón de K que el suelo Pemehue (Fig. 4b), lo que sugiere que el suelo Metrenco ofrece mayor resistencia para variar los niveles de K en la solución, que el suelo Pemehue. Un suelo con elevada capacidad tampón para K, permite una nutrición adecuada de los cultivos con una baja fertilización potásica; en cambio, las dosis de fertilización potásica en un suelo con baja capacidad tampón con K, como es el caso del suelo Pemehue, deben ser más altas para recuperar el nivel de deficiencia y cumplir con los requerimientos de las plantas.

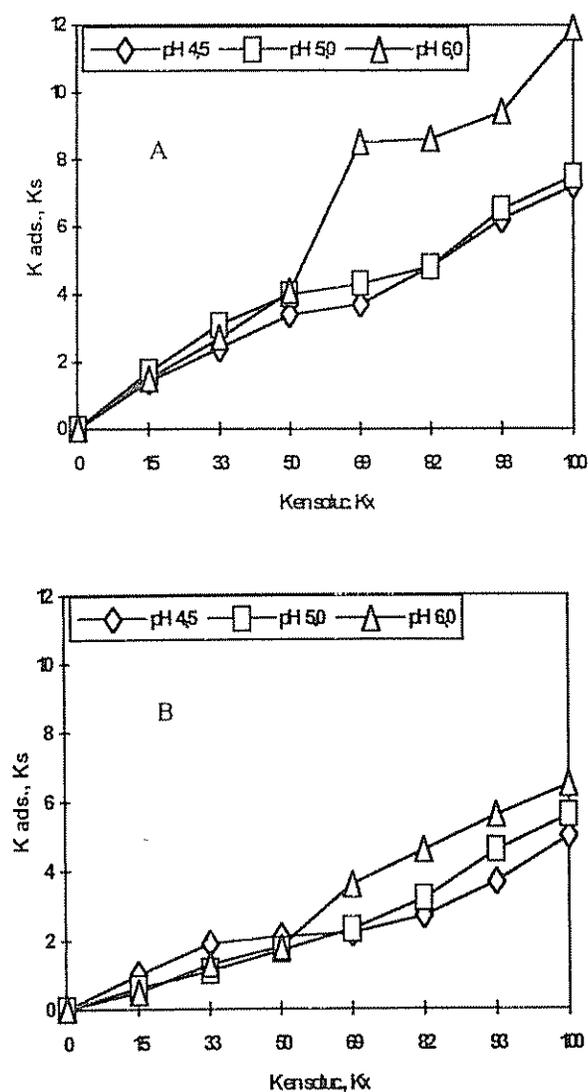


Fig. 4. K absorbido por el suelo,  $K_s$ , como función del K en solución,  $K$ , en tres niveles de acidez en suelo Metreco (a) y Pemehue (b).

De los resultados de esta investigación se concluye que:

- Las magnitudes de K y Ca intercambiables son función de la concentración de K en la solución suelo, del pH, del contenido de materia orgánica y de la composición mineralógica del suelo.

El suelo Pemehue presentó selectividad por K influenciada por el pH (a mayor pH menor selectividad por K) y el suelo Metreco mostró

selectividad por K en todos los niveles de acidez y rangos de K en la solución suelo estudiados.

## LITERATURA CITADA

- BESOAIN, E. 1981. Mineralogía de arcillas y suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, C.R. Serie de Libros y Materiales Educativos no. 60. 1205 p.
- CARRASCO, M.; SADZAWKA, M. 1985. Intercambio iónico: Suelos volcánicos de Chile. 1a. ed. Santiago, INIA, Ministerio de Agricultura. p. 724.
- DELVAUX, B.; DUFÉY, J.; VIELROYE, L.; HERBILLON, A. 1989. Potassium exchange behaviour in a weathering sequence of volcanic ash soils. *Soil Science Society of America Journal* 53:1679-1684.
- ESCUDEY, M.; GALINDO, G. 1988. Potassium-calcium exchange on inorganic clay fractions of Chilean Andepts. *Geoderma* 41:275-285.
- FASSBENDER, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, IICA. Colección de Libros y Materiales Educativos no. 81. 420 p.
- GOULDING, K. W. T. 1984. Thermodynamics of K/Ca exchange in soils. II. Effects of mineralogy, residual K and pH in soils from long-term ADAS experiments. *Journal of Soil Science* 35:409-420.
- GOULDING, K. W. T. 1986. Thermodynamics applied to potassium exchange in aluminosilicate minerals and soils. In *Congress of the International Society of Soil Science* (12.). Hamburg p. 1133-1143.
- MORA, M. 1993. Nivel de fertilidad de los suelos de la IX Región y su relación con la acidificación. *Frontera Agrícola* (Chile) 1(1).
- OGWADA, R. A.; SPARKS, D. L. 1986. A critical evaluation on the use of kinetics for determining thermodynamics of ion exchange in soils. *Soil Science Society of America Journal* 50:300-305.
- PARFITT, R. 1980. Chemical properties of variable charge. *New Zealand Society Soil Science, Lower Hutt*.
- RODRIGUEZ, J. 1993. Flujos de potasio en el sistema suelo: La fertilización de los cultivos. 1a. ed. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. p. 921.
- RUE, R. D.; MANSELL, R. S. 1988. The effect of pH on sodium-calcium and potassium-calcium exchange selectivity for Cecil soil. *Soil Science Society of America Journal* 52:641-642.
- SADZAWKA, A. 1991. Acidez y enclavado de los suelos en la Región de los Lagos. Osorno, INIA. Serie Remahue (Chile) 15:9-21.

- SALAZAR, I.; ESCUDEY, M.; GOULDING, K.W.T. 1992. Heterogeneidad superficial de un suelo Osorno. *Agricultura Técnica (Chile)* 52(4):376-380.
- SALAZAR, I.; ESCUDEY, M.; GOULDING, K.W.T. 1992. Status of Chilean soil potassium to related Ca/K exchange. In *International Crop Science Congress (1)*. Ames, Iowa State University.
- SALAZAR, I.; GONZALEZ, L.; GUAJARDO, J. 1993. Selectividad de intercambio Ca-K, Ca-Na y Ca-Mg en un Andisol de la Serie Vilcún. In *Congreso Latinoamericano de Ciencias del Suelo (12)*. Salamanca, Esp v 1, p 386-394.
- SCHALSCHA, E.B.; PRATT, P.F.; ANDRADE, L. 1975. Potassium-calcium exchange equilibria in volcanic-ash soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 39:1069-1072.
- SRIVASTAVA, A.; SRIVASTAVA, O. 1991. Cation exchange capacity in relation to pH in salt affects soil. *Journal of Indian Society of Soil Science* 39:355-357.
- TALIBUDEEN, O. 1981. Cation exchange in soils. In *The Chemistry of Soil Processes*. D.J. Greenland, M.H.B. Hayes (Eds). cap. 4, p. 115-177.