

USO DEL ANÁLISIS QUÍMICO DEL K DEL SUELO COMO INDICADOR DE LA NUTRICIÓN POTÁSICA EN LA VID Y MODIFICACIÓN POR LA FERTILIZACIÓN POTÁSICA¹

Use of chemical analysis of soil potassium as an indicator of potassium in vines and modification by potassium fertilization¹

Rafael Ruiz S.^{2*} y Angélica Sadzawka R.²

ABSTRACT

In 11 profiles of alluvial soils of the V Region, Chile, different chemical indicators of soil K (K-CaCl₂, K-NH₄Ac, K-HNO₃, K at equilibrium, labil K, specific K adsorption sites, K retention, buffer capacity and potential buffer capacity of K) were evaluated as biological indicators of K deficiency. To this end, ryegrass (*Lolium perenne*) growing in pots with or without K and vines (*Vitis vinifera* L.) growing under field conditions. The pot experiments indicated that K-NH₄Ac y K-HNO₃, were the parameters that best correlated with total K extraction and foliar K concentration. A positive biological response to the addition of K, in terms of dry matter production, occurred with soil values between 0.09-0.26 cmol+ kg⁻¹ of K-NH₄Ac and 0.25-0.50 cmol+ kg⁻¹ of K-HNO₃. Vines under field conditions showed K deficiency with values under 0.26 cmol+ kg⁻¹ of K-NH₄Ac or 0.50 cmol+ kg⁻¹ of K-HNO₃. The K sufficiency level (without visible symptoms in the foliage and foliar K concentration of 1.5% or higher) was 0.54 cmol+ kg⁻¹ for K-NH₄Ac and 1.13 cmol+ kg⁻¹ for K-HNO₃. Potassium fertilization and the irrigation method (furrow or drip) affected the different chemical forms of K throughout the soil profile, so a soil serie naturally K deficient became well supplied after 3 years of K fertilization.

Key words: soil potassium index, vine fertilization.

RESUMEN

En 11 perfiles de suelos aluviales de la V Región, Chile, se evaluaron diferentes indicadores químicos de K (K-CaCl₂, K-NH₄Ac, K-HNO₃, K en el equilibrio, K lábil, sitios específicos para la adsorción de K, retención de K, capacidad tampón de K y capacidad tampón potencial de K) como indicadores biológicos de la deficiencia de K. Para estos efectos se trabajó con ballica (*Lolium perenne*) cultivadas en macetas con y sin adición de K y con vides (*Vitis vinifera*) cultivadas bajo condiciones de campo. Los experimentos en macetas indicaron que el K-NH₄Ac y el K-HNO₃ fueron los parámetros que mejor correlacionaron con la extracción de K por las plantas y con la concentración foliar de K. Una respuesta biológica positiva a la adición de K, en términos de producción de materia seca, se produjo con valores en el suelo entre 0,09 y 0,26 cmol+ kg⁻¹ de K-NH₄Ac y entre 0,25 - 0,50 cmol+ kg⁻¹ de K-HNO₃. Las vides cultivadas en condiciones de campo mostraron deficiencia de K con valores en el suelo inferiores a 0,26 cmol+ kg⁻¹ de K-NH₄Ac o 0,50 cmol+ kg⁻¹ de K-HNO₃. El nivel de suficiencia de K (sin síntomas visibles en el follaje y concentración foliar de K de 1,5% o superior) fue 0,54 cmol+ kg⁻¹ para el K-NH₄Ac y 1,13 cmol+ kg⁻¹ para el K-HNO₃. La fertilización potásica y el método de riego (surco o goteo) afectan las diferentes formas químicas del K a través del perfil del suelo, de modo que una serie de suelo naturalmente deficiente deja de serlo después de 3 años de fertilización potásica.

Palabras claves: índices del potasio del suelo, fertilización de parronales

¹ Recepción de originales: 25 de abril de 2002 (reenviado)

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Casilla 439/3, Santiago, Chile. E-mail: rruiz@platina.inia.cl, asadzawk@platina.inia.cl. *: Autor para correspondencia.

INTRODUCCIÓN

El valle de Aconcagua presenta menores contenidos de K disponible en el suelo, respecto de los valles ubicados al norte y también respecto del valle del Maipo (Ruiz y Araos, 1978), siendo frecuente observar valores deficitarios en pleno valle, en localidades como San Esteban, Los Andes, San Rafael, etc.

Estos menores niveles de K en el suelo y la mayor capacidad de retener el K de los suelos del valle de Aconcagua (Ruiz y Sadzawka, 1986) explicarían en parte la alta frecuencia de niveles deficitarios de K en vides. Sin embargo, cabe señalar que además existe una interacción entre la expresión del déficit de K y la especie e incluso de la variedad. La vid (*Vitis vinifera*) muestra síntomas de déficit de K donde otras especies tales como nectarinos (*P. persica* var. nectarina), durazneros (*Prunus persica* (L) Batsch), ciruelos (*Prunus domestica*) y nogales (*Juglans regia*), pocas veces lo manifiestan. Por otra parte, en el caso de vides se presentan importantes diferencias varietales; algunas variedades serían más eficientes para absorber K que otras, al punto que en el mismo sitio y con igual manejo las sensibles o ineficientes señalan síntomas de déficit (Ruiz *et al.*, 1991).

Los indicadores tradicionales del status de K del suelo se han basado en la determinación del K disponible (K-NH₄Ac) en la capa arable. Para el caso de especies como la vid, esta determinación en superficie no resulta muy eficiente, pero sí lo es al considerar el subsuelo (Valenzuela y Ruiz, 1984). Aún así las correlaciones en base a perfiles puntuales no siempre guardan relación clara con la presencia-ausencia de problemas en las parras, ya que fuera de las condiciones varietales antes indicadas (Ruiz *et al.*, 1991), existen factores de manejo (riego especialmente), del suelo (compactación) y de la sanidad de la planta (nematodos, virus) que están afectando la absorción del K en los parronales (Ruiz y Massa, 1992).

La problemática del K en las vides reviste gran interés, ya que puede condicionar aspectos tales como tamaño de bayas y “palo negro” (Ruiz, 1993), apareciendo también relacionado al problema del “decaimiento” prematuro de los parronales (Ruiz *et al.*, 1995). La técnica tradicional para el diagnóstico nutricional de K en vides ha sido el análisis foliar y/o en peciolo durante la floración. Sin embargo la correlación entre sintomatología carencial de K en el follaje y niveles de K foliar no es muy satisfactoria, ya que síntomas idénticos pueden ser provocados por excesos de putrescina (Adams *et al.*, 1990; Ruiz y Moyano, 1992).

De allí que resulta importante contar con algún nuevo indicador químico del suelo, además del análisis foliar, que permita evaluar la situación potásica del mismo, pero teniendo en consideración su significado en plantas de vides. La estrategia utilizada para estos efectos consistió esencialmente en medir las diferentes formas químicas y físico-químicas del K del suelo y evaluar su significado, en términos de la respuesta biológica en plantas indicadoras de fácil manejo, como ballicas cultivadas en macetas. La innovación en este tipo de experiencia es que se introduce como comparación básica la situación con/sin adición de K. En segundo lugar, esta evaluación biológica se efectuó midiendo el status nutricional potásico de los parrones de los cuales proceden las muestras para los ensayos en macetas. El objetivo de esta doble evaluación biológica fue tener, por una parte, la certeza de que existe una deficiencia real de K en los suelos, evaluado en ensayos en macetas con todos los factores bajo control y eliminando factores no nutricionales (compactación, nemátodos, etc.) y luego verificar como se compatibiliza con la situación de déficit en las vides.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los años 1996 a 1997 se colectaron muestras de suelo y subsuelo a varias profundidades en perfiles correspondientes a las siguientes series de suelo del Valle de Aconcagua: Pocuro, Jahuel, Hijuelas, Cristo Redentor, Catemu, Curimón, Santa María y Tapihue, esta última en el valle de Casablanca. Seis de estos perfiles corresponden a sitios plantados con vides con historial conocido de fertilización debido a

experimentos previos. El resto son parronales específicos ubicados de manera de cubrir todas las series de suelo de la parte alta del Valle de Aconcagua. En el **Cuadro 1** se indica la clasificación según Soil Taxonomy y la ubicación geográfica de las series de suelos consideradas.

Cuadro 1. Clasificación y ubicación geográfica de los sitios estudiados.

Table 1. Soil classification and geographical location of the studied sites.

Sitios	Serie	Clasificación según Soil Taxonomy	Latitud (S)	Longitud
Pocuro 1	Pocuro	Haploxeroll	32° 45'	70° 38'
Pocuro 2	Pocuro	Haploxeroll	32° 45'	70° 38'
Pocuro 3	Pocuro	Haploxeroll	32° 52'	70° 39'
Jahuel 1	Jahuel	Xerochrept	32° 42'	70° 38'
Jahuel 2	Jahuel	Xerochrept	32° 42'	70° 38'
Hijuelas	Hijuelas	Haploxeroll	32° 53'	71° 14'
Cristo Redentor	Cristo Redentor	Haploxeroll	32° 51'	70° 33'
Catemu	Catemu	Haploxeroll	32° 46'	70° 58'
Curimón	Curimón	Haploxeroll	32° 46'	70° 42'
Santa María	Santa María	Haploxeroll	32° 44'	70° 38'
Santa Amalia	Tapihue	Haploxeroll	32° 17'	71° 24'

Los parrones analizados eran de la variedad Thompson Seedless, en plena producción, con edades entre 8 y 13 años, excepto el de Santa Amalia, que era de la variedad Sauvignon. Los de historial conocido se detallan a continuación:

- Pocuro 1: Parrón no fertilizado con K en los últimos 3 años, regado tradicionalmente por surcos. Con síntomas de deficiencia de K.
- Pocuro 2: Parrón fertilizado con K en dosis de 600 kg ha⁻¹ de K₂O cada 2 años. Riego tradicional por surcos (muestreado 2 años después de la aplicación). Con síntomas visuales de déficit de K.
- Pocuro 3: Parrón fertilizado con K en las últimas tres temporadas (455 kg ha⁻¹ de K₂O al año). Riego por goteo. Sin síntomas visuales de déficit de K.
- Jahuel 1: Parrón sin fertilización potásica, y con riego por goteo en los últimos 4 años. Con síntomas de déficit de K.
- Jahuel 2: Parrón con fertilización potásica los últimos 4 años (300 kg ha⁻¹ de K₂O al año), riego por goteo. Sin síntomas visuales de déficit de K.
- Santa Amalia: Viña vinífera (Sauvignon). Sin fertilización potásica últimos 3 años. Con síntomas severos de déficit de K.

En estos parrones se descartó previamente la presencia de nemátodos parásitos en número significativo (nivel severo), considerándose sin embargo parrones con infestación "moderada" de nemátodos, que es lo usual en el valle de Aconcagua.

Los 11 perfiles de suelo fueron muestreados durante el invierno, 3 meses después de la última aplicación de fertilizantes, y luego se prepararon para los ensayos en macetas (1,2 kg) con una fórmula completa, de acuerdo a Schenkel y Baherle (1971). A la mitad de las macetas se les omitió la fertilización potásica (2 g K₂SO₄ por maceta). Todas las macetas fueron sembradas con ballica (*Lolium perenne*) cultivar H-1 de rotación corta y regadas con agua destilada. Cada 15 días se agregaron 50 mL de solución de nitrato de amonio 0,25 mol L⁻¹. El régimen hídrico consistió en reponer agua cada vez que se agotó el 50% del agua aprovechable. Las macetas se mantuvieron bajo sombreado durante los tres meses que duraron las evaluaciones (septiembre a noviembre).

En las muestras de suelos se realizaron las determinaciones de K extraíble con CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ (K-CaCl₂) (Houba *et al.*, 1994), con acetato de amonio 1 mol L⁻¹ a pH 7,0 (K-NH₄Ac) (Sadzawka, 1990) y con HNO₃ 1 mol L⁻¹ a ebullición (K-HNO₃) (Knudsen *et al.*, 1982); fijación de K (Houba *et al.*, 1988) y las curvas Q/l, donde Q = capacidad y l = intensidad (Sparks y Liebhart, 1981), las cuales permiten estimar el K en equilibrio, el K lábil, los sitios específicos para la adsorción de K, el grado de disponibilidad de K en el equilibrio, la capacidad tampón de K y la capacidad tampón potencial de K.

Las evaluaciones en las macetas consistieron en determinación de la materia seca (MS) de tres cortes y las concentraciones respectivas de K en la parte aérea.

El cálculo estadístico consideró una matriz de correlaciones entre la MS de cortes individuales y del total, la concentración de K en la parte aérea y la extracción total de K vs. las determinaciones químicas. La comparación de los tratamientos con/sin K se efectuó mediante un test de "t" caso a caso. En los parronales se determinaron los niveles de K en hojas completas (lámina más pecíolo) por calcinación y espectrometría de emisión (E.E.A). Las muestras fueron colectadas en plena flor determinándose la presencia de sintomatología carencial en las plantas.

La evaluación se hizo con ballica, aunque la eficiencia de absorción de la vid puede ser diferente; en la ballica se determinó la materia seca producida y en las parras la sintomatología carencial del déficit.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características químicas del K en los suelos (**Cuadro 2**) mostraron un amplio rango de variación en las diferentes formas de K, pero con tendencia a la disminución en profundidad. La capacidad tampón de K, como una estimación de la resistencia del suelo a una variación del K en la solución de suelo, es alta, con un promedio de 0,51, y tendió a aumentar con la profundidad. La retención de K fue en promedio 24%, lo cual sugiere que del K que se agrega a los suelos, la mitad permanece en la solución de suelo, la cuarta parte se adsorbe en forma intercambiable, y la otra cuarta parte se retiene en forma no intercambiable. Una excepción la constituye el suelo Santa Amalia, con bajos valores de retención y capacidad tampón de K, lo cual sugiere una mayor probabilidad de lixiviación del K agregado como fertilizante.

En las **Figuras 1 y 2** se muestran las relaciones significativas entre las formas de K en los suelos y la concentración de K foliar y extracción de K por la ballica, respectivamente. De ellas, el K-NH₄Ac (K disponible) el K-HNO₃ y el K intercambiable (K-NH₄Ac – K-CaC₂) presentaron los mayores coeficientes de regresión. La buena relación entre K-HNO₃ y la absorción de K por plantas de ballica, ya había sido señalada anteriormente por otros investigadores nacionales (Rodríguez *et al.*, 1974).

De estas relaciones no es posible deducir el rango en el cual se sitúa el nivel de déficit o suficiencia. Una estrategia para estimar cuáles son estos rangos, es deducir a partir del efecto diferencial en crecimiento al adicionar K a las macetas en comparación con macetas sin adición, bajo el siguiente considerando: una respuesta significativa positiva a la adición de K puede interpretarse como una situación de real déficit, mientras que la ausencia de respuesta sería indicativa de una situación de suficiencia. Los resultados obtenidos sobre estos considerandos para todos los suelos y horizontes del perfil se presentan en el **Cuadro 3**.

Cuadro 2. Características químicas del K en los suelos del Valle Aconcagua utilizados en el estudio en macetas.
Table 2. Chemical characteristics of K in the Aconcagua Valley soils used in the pot study.

Profundidad	K extraído con			K interc.	K No interc.	K lábil	K Equilibrio	Capacidad tampón de K	Retención de K
	CaCl ₂	NH ₄ Ac	HNO ₃						
cm	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	%
Pocuro 1									
0-20	0,13	0,45	0,91	0,32	0,46	0,19	0,32	0,41	18
20-40	0,07	0,34	0,62	0,27	0,28	0,03	0,13	0,53	29
40-60	0,08	0,23	0,50	0,15	0,27	0,03	0,12	0,68	33
Pocuro 2									
0-20	0,24	0,66	1,04	0,42	0,38	0,29	0,51	0,47	16
20-40	0,20	0,58	0,84	0,38	0,26	0,10	0,36	0,55	21
40-60	0,10	0,34	0,71	0,24	0,37	0,11	0,20	0,51	27
Pocuro 3									
0-20	0,55	1,56	2,19	1,01	0,63	0,90	1,28	0,43	15
20-40	0,34	0,94	1,50	0,60	0,56	0,49	0,67	0,51	17
40-60	0,21	0,53	0,97	0,32	0,44	0,39	0,38	0,56	24
Jahuel 1									
0-20	0,13	0,42	0,85	0,29	0,43	0,19	0,31	0,42	11
20-40	0,12	0,21	0,56	0,09	0,35	0,16	0,22	0,54	23
40-60	0,05	0,18	0,56	0,13	0,38	0,06	0,10	0,48	33
Jahuel 2									
0-20	0,39	0,94	1,57	0,55	0,63	0,69	0,83	0,47	21
20-40	0,14	0,40	0,98	0,26	0,58	0,17	0,29	0,49	25
40-60	0,12	0,27	0,81	0,15	0,54	0,25	0,19	0,62	30
Hijuelas									
0-20	0,18	0,39	0,89	0,21	0,50	0,29	0,41	0,44	16
20-40	0,10	0,23	0,76	0,13	0,53	0,17	0,23	0,43	31
40-60	0,10	0,19	0,55	0,09	0,36	0,20	0,18	0,55	40
Cristo Redentor									
0-20	0,23	0,57	1,07	0,34	0,50	0,41	0,48	0,48	21
20-40	0,25	0,34	0,96	0,09	0,62	0,44	0,50	0,50	22
40-60	0,10	0,14	0,31	0,04	0,17	0,22	0,17	0,60	30
Catemu									
0-20	0,29	0,71	1,21	0,42	0,50	0,43	0,62	0,47	20
20-40	0,10	0,22	0,40	0,12	0,18	0,24	0,18	0,57	33
40-60	0,05	0,10	0,25	0,05	0,15	0,11	0,09	0,58	35
Curimón									
0-20	0,11	0,31	0,73	0,20	0,42	0,20	0,22	0,50	17
20-40	0,07	0,19	0,43	0,12	0,24	0,15	0,11	0,62	29
40-60	0,07	0,20	0,50	0,13	0,30	0,16	0,10	0,69	36
Santa María									
0-20	0,25	0,58	1,18	0,33	0,60	0,40	0,60	0,42	15
20-40	0,14	0,41	0,86	0,27	0,45	0,25	0,30	0,47	24
40-60	0,12	0,35	0,79	0,23	0,44	0,22	0,18	0,66	30
Santa Amalia									
0-30	0,11	0,26	0,38	0,15	0,12	0,11	1,38	0,08	10
30-60	0,10	0,09	0,30	0,00	0,21	0,17	0,23	0,43	17

(1) $K\text{-CaCl}_2 = K$ soluble; (2) $K\text{-NH}_4\text{Ac} = K$ disponible = K soluble + K intercambiable; (3) $K\text{-NO}_3 = K$ soluble + K intercambiable + K no intercambiable; (4) K intercambiable = $K\text{-NH}_4\text{Ac} - K\text{-CaCl}_2$; (5) K no intercambiable = $K\text{-HNO}_3 - K\text{-NH}_4\text{Ac}$; (6) K en la solución estimado de las curvas Q/I ; (7) K agregado que no provoca cambios en el K del suelo; (8) Fracción del K agregado que desaparece de la solución de suelo.

Figura 1. Relación entre diferentes formas de K de suelos del Valle de Aconcagua y el porcentaje de K en la parte aérea del 1er. corte de ballicas cultivadas en macetas.

Figure 1. Relation between different forms of K in soils of the Aconcagua Valley and the percentage of K in the aerial part of the first cut of ryegrass cultivated in pots.

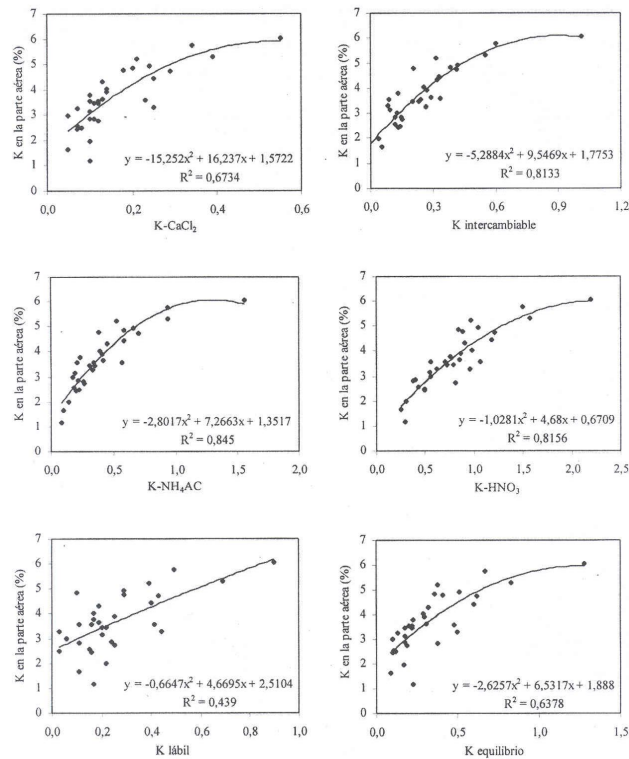
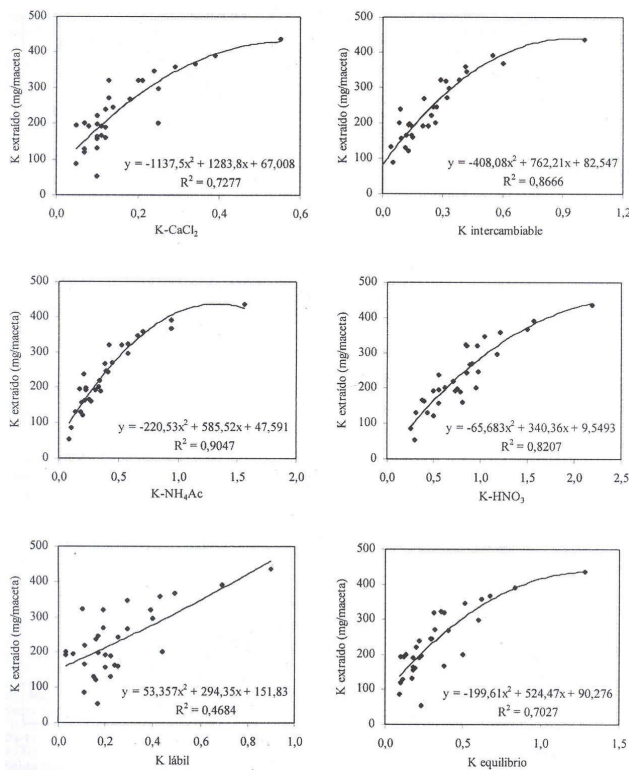


Figura 2. Relación entre las diferentes formas de K de suelos del Valle de Aconcagua y la extracción de K de ballicas cultivadas en macetas.

Figure 2. Relation between different forms of K in soils of the Aconcagua Valley and the extraction of K from ryegrass cultivated in pots.



Cuadro 3. Rendimiento de materia seca de ballicas cultivadas en macetas con y sin adición de K.
Table 3. Dry matter yield of ryegrass growing in pots with and without addition of K.

Profundidad cm	Rendimiento de materia seca (g por maceta)											
	1er. Corte			2do. Corte			3.er corte			total		
	sin K	con K	sig.	sin K	con K	sig.	sin K	con K	sig.	sin K	con K	sig.
Pocuro 1												
0-20	6,08	6,17	ns ¹	4,75	5,38	*	0,35	1,27	**	11,18	12,82	**
20-40	6,01	6,03	ns	4,18	5,42	**	0,28	1,23	**	10,47	12,68	**
40-60	7,31	6,26	ns	4,20	5,03	**	1,00	2,24	**	12,51	13,53	*
Pocuro 2												
0-20	6,87	7,03	ns	4,42	5,33	**	0,33	0,61	**	11,62	12,97	*
20-40	6,50	6,24	ns	4,53	5,16	*	0,61	1,62	*	11,64	13,02	*
40-60	5,63	5,52	ns	4,27	4,66	*	0,97	1,95	*	10,87	12,13	*
Pocuro 3												
0-20	6,40	6,46	ns	5,19	5,21	ns	4,32	4,37	ns	15,91	16,04	ns
20-40	5,99	5,96	ns	5,17	5,22	ns	3,97	4,32	ns	15,13	15,50	ns
40-60	5,78	5,96	ns	5,02	5,79	**	3,94	4,42	ns	14,74	16,17	**
Jahuel 1												
0-20	8,36	7,82	ns	3,61	4,11	ns	0,94	1,48	**	12,91	13,41	ns
20-40	6,42	6,07	ns	5,16	5,78	**	0,67	1,54	**	12,25	13,39	*
40-60	6,19	5,95	ns	3,23	3,58	ns	0,73	1,78	**	10,15	11,31	**
Jahuel 2												
0-20	6,56	6,67	ns	3,00	3,68	ns	1,26	1,79	ns	10,82	12,14	ns
20-40	5,16	5,32	ns	4,24	4,40	ns	1,64	1,79	ns	11,04	11,51	ns
40-60	5,05	4,92	ns	3,40	3,77	*	1,37	2,06	ns	9,82	10,75	ns
Hijuelas												
0-20	5,00	5,11	ns	4,43	5,02	ns	1,19	1,40	ns	10,62	11,53	ns
20-40	4,50	4,86	ns	4,44	4,54	ns	1,33	1,51	*	10,27	10,91	ns
40-60	4,87	4,82	ns	4,12	4,55	*	0,23	1,13	**	9,22	10,50	**
Cristo Redentor												
20-40	5,64	5,64	ns	3,93	4,58	**	1,00	1,99	**	10,57	12,21	**
40-60	6,34	4,80	ns	3,44	4,44	*	0,69	2,10	**	10,47	11,34	*
Catemu												
0-20	7,15	7,12	ns	1,80	2,21	ns	0,80	0,86	ns	9,75	10,19	ns
20-40	5,50	6,05	**	1,65	2,58	**	0,55	0,76	ns	7,70	9,39	**
40-60	5,18	5,71	*	1,37	2,57	*	0,27	0,63	*	6,82	8,91	**
Curimón												
0-20	5,40	5,61	ns	4,01	5,06	*	0,35	0,79	*	9,76	11,46	**
20-40	4,98	5,27	ns	3,54	4,25	ns	0,25	0,21	*	8,77	9,73	ns
40-60	4,77	5,24	*	3,78	4,51	**	0,42	1,13	*	8,97	10,88	**
Santa María												
0-20	6,49	6,40	ns	4,47	4,76	ns	0,38	0,49	ns	11,34	11,65	ns
20-40	5,79	6,04	ns	3,96	3,79	ns	1,00	1,76	ns	10,75	11,59	ns
40-60	5,31	5,41	ns	4,08	5,10	**	0,49	0,81	*	9,88	11,32	**
Santa Amalia												
0-30	5,30	6,25	*	1,87	3,39	**	1,40	1,85	*	8,57	11,49	**
30-60	3,94	5,36	**	1,50	3,52	**	1,24	1,64	**	6,68	10,52	**

1. Significancia: ns = no significativo; * = significativo $P < 0,05$; ** = significativo $P < 0,01$.

De acuerdo a las cifras del **Cuadro 3**, los casos de déficit más agudos, vale decir aquellos en que hay respuesta significativa a la adición de K al primer corte, se presentan en serie Catemu 20-40 y 40-60 cm profundidad; Curimón en 40-60 cm y Santa Amalia en 0-30 y 30-60 cm. Los niveles de K medido en el suelo en estos casos variaron de 0,09-0,26 $\text{cmol} + \text{kg}^{-1}$ de K disponible (K-NH₄Ac) y desde 0,25-0,50 $\text{cmol} + \text{kg}^{-1}$ de K-HNO₃. Si se evalúa este rango "deficiente" provisoriamente comparándolo con el número de casos en que el valor analítico cae en este rango y no se obtuvo respuesta a la adición de K al primer corte (fracaso en el diagnóstico del déficit), estos son 7 de los 32 para el caso de K disponible (estrata 40-60 cm de Pocuro 1, 20-40 cm y 40-60 cm de Jahuel 1 y de Hijuelas, 40-60 cm de Cristo Redentor y 20-40 cm de Curimón). Bajo las mismas consideraciones, el fracaso es sólo de 3 en 32 casos para el K-HNO₃ (estrata 40-60 cm de Pocuro 1 y de Cristo Redentor y 20-40 cm de Curimón), indicando mayor eficiencia de este indicador. Esta mejor eficiencia del K-HNO₃ podría estar relacionada al hecho de que este extractante considera, además del K

intercambiable y K soluble, la fracción no intercambiable de K, la cual puede contribuir hasta con 30% del K total absorbido por las plantas (Rodríguez *et al.*, 1974).

Este análisis estrata a estrata, si bien clarifica en qué punto se inicia una real deficiencia es, sin embargo, limitado para el caso de la vid que posee un sistema radicular más profundo. Es posible un nuevo análisis incorporando la concentración promedio de K-HNO₃ y K-NH₄Ac del perfil del suelo (0-60 cm), la presencia de déficit de K en las plantas de vid y la respuesta biológica en ballicas a partir de los datos presentados en el **Cuadro 4**. Como se observa en este cuadro, el análisis de la situación deficiencia-suficiencia, en base a la respuesta de la ballica, tiene relación con la situación de deficiencia-suficiencia en las vides, y con los niveles en el suelo. Los suelos Pocuro 3 y Jahuel 2 fueron los únicos sitios en que las plantas de vid no presentaron síntomas de déficit de K y los niveles foliares determinados estaban sobre el rango crítico de 1,0-1,2%, indicados por el Laboratorio de Diagnóstico Nutricional del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina. La ballica cultivada en macetas en estos suelos tampoco mostraron, en general, incrementos en MS al adicionar K (**Cuadro 3**). En cambio, valores foliares deficitarios se midieron en vides en Pocuro 1 y 2 y Jahuel 1, con respuesta al K en macetas desde el segundo corte. En las vides de Santa Amalia se obtuvieron los menores valores de K foliar, concordante con una respuesta clara a la adición de K a la ballica desde el primer corte, corroborando claramente la deficiencia diagnosticada por el análisis químico.

Cuadro 4. Niveles foliares de K en plena flor y concentraciones promedio de K-NH₄Ac y K-HNO₃ en el perfil de suelo, en relación a la respuesta al K de ballicas y presencia-ausencia de síntomas de deficiencia de K en vides.

Table 4. Foliar K levels at full bloom and mean concentrations of K-NH₄Ac and K-HNO₃ in the soil profile, related to ryegrass K response and presence-absence of K deficiency symptoms in grapevines.

Sitios	K-NH ₄ Ac	K-HNO ₃	K foliar	Respuesta al K ballicas	Síntomas de deficiencia de K vides
	cmol kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹	%		
Pocuro 1	0,34	0,68	0,82	si	si
Pocuro 2	0,53	0,86	0,85	si	si
Pocuro 3	1,01	1,55	1,72	no	no
Jahuel 1	0,27	0,66	0,75	si	si
Jahuel 2	0,54	1,12	1,46	no	no
Santa Amalia	0,17	0,34	0,45	si	si

En el resto del universo de muestras y sitios no se observó una relación consistente entre niveles en el suelo y niveles foliares en la planta (datos no presentados), lo cual estaría explicado por lo indicado anteriormente, en el sentido de que otros factores del manejo y del suelo interfieren en la absorción del K por las vides. De acuerdo a los datos del presente estudio, esta situación se clarifica en los extremos deficiencia neta - suficiencia total. Cuando los niveles en el suelo están en el rango deficitario (menos de 0,26 cmol+ kg⁻¹ para K-NH₄Ac y menos de 0,50 cmol+ kg⁻¹ para el K-HNO₃) el problema de déficit de K en las plantas de vid es altamente probable con o sin la presencia de otros factores limitantes. En el otro extremo puede estimarse un nivel de suficiencia de K en el suelo como aquel en el cual las plantas de vid no presentan síntomas de déficit, los niveles foliares se encuentran sobre el nivel crítico y no hubo respuesta al K en las macetas. Este caso se da sólo en Pocuro 3 y Jahuel 2. En ellos el nivel medio de K del perfil era de 0,54 a 1,01 cmol+ kg⁻¹ de K-NH₄Ac y de 1,12 a 1,55 cmol+ kg⁻¹ de K-HNO₃; valores superiores a estos niveles serían indicativos de suficiencia de K y de baja probabilidad de problemas de déficit en las plantas.

De acuerdo al análisis anterior, se sugiere la pauta orientadora respecto a niveles de K en el suelo para vides indicada en el **Cuadro 5**. Esta pauta será válida (hasta contar con nuevos antecedentes) en ámbitos de suelos en los cuales se produce la conjunción de arcillas dominantes de tipo vermiculita y secundariamente illitas, como en el caso de la serie Pocuro dominante en el Valle de Aconcagua. Resulta por lo tanto prematuro extender estas conclusiones al resto de suelos aluviales de la Zona Central, mientras no se cuente con un análisis de la composición mineralógica del suelo.

Cuadro 5.- Pauta orientadora para evaluación de niveles de K en el suelo para vides.
Table 5.- Orientation guidelines for evaluation of soil K levels for grapevines.

Nivel	K-NH₄Ac cmol+ kg ⁻¹	K-HNO₃ cmol+ kg ⁻¹
Deficiente	< 0,26	< 0,50
Medio ¹	0,26-0,54	0,50-1,12
Suficiente	> 0,54	> 1,12

¹ Nivel en el cual pueden ocurrir problemas.

Por otra parte, de acuerdo a los datos del **Cuadro 2**, es posible concluir que el comportamiento del suelo respecto al suministro de K está directamente ligado al manejo de la fertilización. La misma serie (Pocuro), incluso en el mismo sitio, manifiesta propiedades de baja entrega de K en su condición natural, mientras que si ha existido un historial de fertilización potásica el suministro aumenta considerablemente y el suelo puede pasar de la categoría de deficiencia a suficiencia. Estas reservas de K en el suelo podrían mantenerse por varios años y se van liberando a la solución del suelo como lo revelan investigaciones que consideran experimentos de largo plazo (Blake *et al.*, 1999). Es necesario, por lo tanto, la evaluación del K en cada caso particular y no a nivel de serie de suelo. Por otra parte es conveniente considerar el perfil del suelo entre 0 y 60 cm, o al menos suelo y subsuelo, eligiendo alguno de los dos indicadores señalados, preferentemente el segundo.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que de nueve indicadores químicos del status del K del suelo, el K-NH₄Ac y el K-HNO₃ fueron los más sensibles para diagnosticar el déficit real de K en el suelo, que fue determinado en base a una respuesta biológica. La respuesta obtenida primariamente a nivel de ballicas cultivadas en macetas indicó que bajo 0,50 cmol+ kg⁻¹ de K-HNO₃ y bajo 0,26 cmol+ kg⁻¹ de K-NH₄Ac se produce una respuesta biológica inmediata a la adición de K. Las vides cultivadas en suelos con estas condiciones manifiestan claramente síntomas de deficiencia de K y niveles foliares deficitarios.

Por otra parte, en la situación de suficiencia, vale decir no-respuesta al K de ballicas en macetas, niveles de K foliar adecuados y ausencia de síntomas ocurren con niveles superiores a 1,12 cmol+ kg⁻¹ de K-HNO₃ y 0,54 cmol+ kg⁻¹ en el caso de K-NH₄Ac.

El ámbito al cual es posible aplicar estas conclusiones atañe a suelos similares a los mayoritarios del valle de Aconcagua, con vermiculitas como arcilla dominante y presencia secundaria de illitas.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen en forma muy especial la colaboración del Dr. Eduardo Besoain M., Jefe del Laboratorio de Mineralogía del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina.

LITERATURA CITADA

Adams, D., K. Franke, and P. Christensen. 1990. Elevated putrescine levels in grape vine leaves that display symptoms of potassium deficiency. *Am. J. Enol. Vitic* 41:121-125.

Blake, L., S. Mercik, M. Koerschens, K.W.T. Goulding, S. Stempen, A. Weigel, P.R. Poulton, and S. Powlson. 1999. Potassium content in soil, uptake in plants and the potassium balance in three European long-term field experiments. *Plant Soil* 216:1-14.

Houba, V.J.G, I. Novozamsky, and E. Temminghoff. 1994. Soil and plant analysis. Part 5A. Soil analysis procedures. Extraction with 0,01 M CaCl₂. 66 p. Wageningen Agricultural University, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen, The Netherlands,.

Houba, V.J.G., J.J. Van Der Lee, I. Novozamsky, and I. Walinga. 1988. Soil and plant analysis. Part 5. Soil analysis procedures. 56 p. Wageningen Agricultural University, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen, The Netherlands.

Knudsen, D., G.A. Peterson, and P.F. Pratt. 1982. Lithium, sodium and potassium. p. 225-246. *In* A.L. Page *et al.* (eds.). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd ed. Agronomy N° 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

Rodríguez, J., A. Peyrelongue, D. Suárez, y H. Urzúa. 1974. Poder de suministro de potasio en suelos de la zona Central de Chile. *Ciencia e Investigación Agraria (Chile)*1:47-53.

Ruiz, R. 1993. Nutrición potásica en relación a la calidad de fruta, desordenes fisiológicos y diagnóstico de deficiencia en vides de mesa. 243 p. *In* Seminario Avances recientes en nutrición de plantas frutales y vides. Santiago, Chile. 5 y 6 de agosto 1993. Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.

Ruiz, R. y F. Araos. 1978. Contenido de potasio intercambiable en suelos de Copiapó a Curicó. II Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. Santiago, Chile. Octubre 1978. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.

Ruiz, R., y M. Massa. 1992. Respuesta al potasio en parronales de uva de mesa en Aconcagua. *Revista Investigación y Progreso Agropecuario La Platina* N° 73 p. 26-31.

Ruiz, R. y S. Moyano. 1992. ¿Deficiencia de potasio o toxicidad de putrescina? *ACONEX* N° 37 p. 5-7.

Ruiz, R., I. Muñoz., M. Massa, y J. Pezoa. 1991. Niveles nutricionales en hojas y pecíolos de nuevos cultivares de vid. *Investigación y Progreso Agropecuario La Platina* N°68 p. 7-12.

Ruiz, R., G. Herrera, y H. González. 1995. Diagnóstico del problema del decaimiento en parronales de uva de mesa del Valle de Aconcagua. 34 p. Informe Final . Convenio Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Soquimich. Nitratos. INIA – CRI La Platina, Santiago, Chile.

Ruiz, R., y A. Sadzawka. 1986. Fijación de potasio en suelos del valle de Aconcagua. *Agricultura Técnica (Chile)* 46:503-505.

Sadzawka, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Serie La Platina N°16. 130 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental La Platina, Santiago, Chile.

Schenkel, G., y P. Baherle. 1971. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. II. Método usado. *Agricultura Técnica (Chile)* 31:9-24.

Sparks, D.L., and W.C. Liebhardt. 1981. Effect of long-term lime and potassium applications in quantity-intensity (Q/I) relationships in andy soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 45:786-790

Valenzuela, J., y R. Ruiz. 1984. Corrección de deficiencia de potasio en viñedos regados de la zona de Talca. I. Efecto en la planta. II. Efecto del estudio de potasio en el suelo. *Agricultura Técnica (Chile)* 44:295-298.