

EVALUACION DE LA CALIDAD AGRICOLA DE CUATRO ENMIENDAS CALCÁREAS EN UN SUELO ÁCIDO DERIVADO DE CENIZAS VOLCANICAS

Dante Pinochet T., Fernando Ramírez R. y Domingo Suárez F.

Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Casilla 567. Valdivia. Chile. E-mail: dpinoche@uach.cl

ABSTRACT

Evaluation of the agricultural quality of four types of lime applied to an acidic volcanic soil.

Key Words: Acid soil, ENV, lime, liming.

The study described here involved an analysis of the agricultural quality of four types of limes applied to an acidic volcanic ash-derived soil. Soil samples were incubated in triplicate with 0, 1, 2, 3 and 6 g per kg⁻¹ soil of each of the four limes. The soil samples corresponded to Valdivia soil series (Typic Hapludand). Following 20 days of incubation at 23 °C, the effect of the type of lime on soil pH (0,1M CaCl₂), exchangeable Ca (exCa), exchangeable bases (ExB), exchangeable Al (exAl) and aluminum saturation percentage (AIS %) was determined. To examine the effect of the type of lime on soil pH, exCa and exB, linear regressions were fitted to the data, and exponential equations were fitted to the data for exAl and AIS %. The t Student test was applied to the determined values of the slope (b) and curvature coefficient (k) to compare the behavior of different limes. The most sensitive acidity variable to differentiate between types of lime was the k value from exAl followed by k values from AIS % and b values from exCa and ExB. The least sensitive variable was found to be the b value from soil pH. These results are in agreement with the ENV values of the lime and predict agricultural quality behavior of each level type. This is most likely because of the characteristics of the incubation method, in terms of low temperature, which would have only allowed the small particle size of the lime

RESUMEN

Palabras Claves: Suelos ácidos, VNE, cal agrícola, encalado.

Este estudio evalúa la calidad agrícola de cuatro enmiendas calcáreas en un suelo ácido derivado de cenizas volcánicas. Para ello se hicieron incubaciones en triplicado de cada enmienda aplicada en dosis de 0, 1, 3 y 6 g por kg⁻¹ de suelo. Se usó un suelo de la serie Valdivia (Typic Hapludand). Luego de 20 días de incubación a 23 °C se midió el pH en CaCl₂ 0,01M, Ca intercambiable, (Ca-i) suma de bases, (S.B.), aluminio intercambiable (Al-i) y porcentaje de saturación de aluminio (%S.Al). El efecto de las dosis, sobre el pH, Ca-i y S.B. se ajustó a regresiones lineales y a ecuaciones exponenciales en el caso del Al-i y %S.Al. Los valores de la pendiente (b) y de los coeficientes de curvatura (k) se analizaron mediante prueba t de Student para comparar el comportamiento de las enmiendas. El parámetro de acidez de mayor sensibilidad para diferenciar el comportamiento de las cales fue el valor de k del Al-i. Le siguen el valor de k del %S.Al junto a la S.B y al Ca-i. El pH en CaCl₂ presentó la menor sensibilidad. El efecto de las dosis sobre los parámetros de las ecuaciones se asimila al valor neutralizante efectivo (VNE) de las enmiendas y por lo tanto a su calidad agrícola. Esto es resultado del método de incubación de baja temperatura que privilegia la manifestación de los particulados más finos, de mayor reactividad, a diferencia de otros métodos que permiten una reactividad total y sus resultados se relacionan con los valores de CCE.

materials to react completely as opposed to all of the lime material. This incubation method is different to other methods using high temperatures where bigger and smaller particles completely react giving results close to ECC values.

INTRODUCCION

El objetivo de aplicar carbonato de calcio (CaCO_3) es desplazar el Al y Mn intercambiables de las arcillas del suelo y neutralizar por precipitación el ion Al^{+3} y/o Mn^{+2} desde la solución del suelo (Halvin *et al.*, 1999), aunque en Chile el problema de suelos ácidos se reduce principalmente a la toxicidad por Al^{+3} (Rodríguez *et al.*, 2001). En términos generales, la aplicación CaCO_3 incrementa la recuperación de los nutrientes por las plantas, mejora las condiciones físicas y biológicas del suelo, mejora la fijación simbiótica del nitrógeno en las leguminosas y mejora la eficiencia de algunos herbicidas (Lazcano-Ferrat, 2003).

Suárez y Márquez (1993) propusieron una ecuación, en base al cambio de pH del suelo, para determinar la dosis de cal correctiva a aplicar en los suelos ácidos de Chile. Esta dosis se expresa en toneladas de CaCO_3 por ha^{-1} y no considera una eficiencia relacionada al valor neutralizante efectivo (VNE) de los distintos tipos de materiales encalantes. El valor neutralizante efectivo de un material se obtiene al ajustar el valor neutralizante total o potencial que corresponde a su carbonato de calcio equivalente multiplicado por los índices de reactividad de cada fracción de mallaje que componen la enmienda.

La aparición de nuevas enmiendas calcáreas tanto nacionales como extranjeras en el mercado nacional, hace necesario establecer metodologías para evaluar la calidad de estos productos y valorizarlos como cal agrícola. La calidad de la cal agrícola está determinada por tres factores principales: contenido de CaCO_3 equivalente, contenido de agua y su finura (Pearson y Adams, 1967). El contenido de CaCO_3 equivalente (CCE) representa la

cantidad equivalente de CaCO_3 puro presente en el material encalante y está definido como la capacidad de un material calcáreo para disminuir la acidez del suelo, en términos relativos al efecto producido por el CaCO_3 puro. Así, el CaCO_3 puro tiene un CCE de 100 % (Halvin *et al.*, 1999). El contenido de agua influye en la calidad de la cal agrícola incrementando el peso del material encalante, disminuyendo así el contenido de CCE por kg de material encalante (Lazcano-Ferrat, 2003). Por su parte, la finura del material representa una medida de la velocidad de reacción de la cal agrícola (Beegle y Lingenfelter, 1996). Dado que el material calcáreo afecta un pequeño volumen de suelo alrededor de cada partícula, mientras más fino es el material, mayor es el área superficial total que está en contacto con el suelo para neutralizarlo y por lo tanto mayor es la velocidad de la reacción. Dada la importancia de la finura en las cales agrícolas se introdujo el término "valor neutralizante efectivo", VNE (effective neutralizing value, ENV). El VNE está determinado por el producto entre el CCE y el índice de reactividad (IRi), una medida de efectividad de la finura, dada por la proporción del material encalante en una distribución de tamaño de partículas dadas por los rangos de mallaje (%RMi).

Así, se ha establecido que las partículas de material encalante capaces de atravesar por un tamiz de 60 mesh (250 μm) son 100 % eficientes, aquellas retenidas entre los tamices de 8 y 60 mesh, tienen una eficiencia del 50 % y, finalmente, en aquellas que quedan sobre el tamiz de 8 mesh (2380 μm), su eficiencia es 0 % (Halvin *et al.*, 1999). Un material encalante puede tener un CCE de 100 %, pero si el tamaño de sus gránulos es mayor a 2380 μm es ineficiente como cal agrícola y se ha determinado que este tipo de material puede requerir entre 8 a

10 años para llegar a ser eficiente (Beegle y Lingenfelter, 1996).

Se han realizado en el sur de Chile un gran número de estudios para evaluar el rendimiento de los cultivos bajo distintas condiciones de encalado (Mora y Demanet, 1999; Borie *et al.*, 1999; Demanet *et al.*, 1999). No obstante, existe escasa información sobre la eficiencia de la tecnología de uso de los materiales encalantes aplicados. Esta eficiencia de tecnología de uso puede variar, dependiendo además del CCE y del VNE de la naturaleza de la reacción en el suelo, dado que los suelos derivados de materiales volcánicos presentan alta retención de humedad, además de su grado de acidez. Este trabajo tiene como objetivo determinar la eficiencia agronómica de distintos materiales encalantes, medida a través de los índices de comportamiento de los diferentes parámetros de acidez del suelo.

MATERIAL Y METODO

Se seleccionaron cuatro materiales encalantes cuyas características se presentan en el Cuadro 1. Tres materiales corresponden a calizas de diferente origen geológico y grado de molienda. El cuarto material corresponde a un desecho de una planta siderúrgica (escoria). Cada uno de

los materiales se mezcló con 100 g de suelo (serie Valdivia, seco al aire, tamizado a 2 mm) en dosis de 0, 1, 3 y 6 g de producto por kg⁻¹ de suelo. Se adicionó agua destilada hasta alcanzar un contenido equivalente al 70 % de la capacidad máxima de retención de humedad del suelo (Rowell, 1996). También se adicionó cloroformo para inhibir actividades microbianas que pudiesen generar acidez. Los tratamientos tuvieron tres repeticiones y se incubaron a 23 ± 1,5 °C durante 20 días. Pasado el período de incubación se midió el pH en CaCl₂ 0,01M (1:2,5), el contenido de bases de intercambio (Ca, Mg, K y Na) y el Al intercambiable (Sadzawka, 1990).

El suelo utilizado fue un Typic Hapludand correspondiente a la serie Valdivia, con un contenido de materia orgánica de 20 % y 1130 mg kg⁻¹ de Al extractable.

Los valores de las variables de acidez de los suelos incubados fueron procesados a través de análisis de varianza, de regresiones lineales y de regresiones no lineales, utilizando el programa GraphPad Prism v. 4,0, para determinar las funciones que definieron el comportamiento de cada variable. La pendiente de las variables que se ajustaron a rectas y los coeficientes de curvatura de las variables de ajuste no lineal fueron analizados estadísticamente mediante pruebas de t de Student, para diferenciar entre sus coeficientes.

Cuadro 1. Características físico-químicas de las enmiendas calcáreas evaluadas.

Table 1. Physical and Chemical characteristics of the calcareous amendments.

Muestra	Humedad b. h. ⁽²⁾	Granulometría –mesh ⁽¹⁾			CCE ⁽³⁾	VNE ⁽⁴⁾	Origen / Región
		> 8	8 – 60	< 60			
Caliza A	0,1 %	0,0 %	0,4 %	99,8 %	98,5 %	98,5 %	Las Lajas, Argentina
Caliza B	<0,5 %	0,0 %	5,4 %	93,8 %	92,8 %	89,5 %	Metropolitana, Chile
Caliza C	0,1 %	5,9 %	38,4 %	55,7 %	93,5 %	70,0 %	II Región, Chile
Escoria	3,4 %	5,5 %	33,3 %	62,5 %	84,3 %	66,6 %	VIII Región, Chile

⁽¹⁾ Distribución del tamaño de partículas en %

⁽²⁾ Base húmeda

⁽³⁾ Carbonato de Calcio Equivalente

⁽⁴⁾ Valor Neutralizante Efectivo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Independientemente de la enmienda calcárea aplicada, los valores de pH, Ca intercambiable y suma de bases de intercambio aumentaron significativamente en relación al control sin aplicación y presentaron un incremento lineal con la dosis de enmienda aplicada. Por su parte, al aumentar la dosis de enmienda, tanto los valores de aluminio intercambiable como los de porcentaje de saturación de aluminio disminuyeron significativamente con respecto al control sin aplicación en todas las dosis de enmienda aplicada (Cuadro 2). Esto coincide con los resultados encontrados por Suárez y Márquez (1993) y Mora et al. (2002), en suelos de origen

volcánicos y para oxisoles por Prado et al. (2002). Debido a la naturaleza exponencial de la disminución del aluminio intercambiable y porcentaje de saturación de aluminio con la adición de cal, todas las enmiendas provocaron disminuciones significativas entre las dosis de 1 y 3 g de enmienda por kg⁻¹ de suelo. Entre la dosis de 3 y 6 g de enmienda por kg⁻¹ de suelo, sólo algunas de ellas difirieron significativamente, tanto para los valores de Al intercambiable como para los de saturación de aluminio. Estos resultados reflejan que la respuesta en disminución en el contenido de Al en el suelo no es la misma dependiendo de la calidad de la fuente de enmienda utilizada, debido a sus diferencias en VNE.

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos sobre los valores de los parámetros de acidez.

Table 2. Effect of treatment on soil acidity parameters.

Incubación 20 días a 23 °C	Dosis g /kg	pH CaCl ₂	Ca Intercambiable	Suma de Bases	Al intercambiable	Porcentaje de saturación de Al
Caliza A	0	4,73 a	0,47 a	0,82 a	0,42 a	33,95 a
	1	5,05 b	1,87 b	2,23 b	0,16 b	6,58 b
	3	5,48 c	4,88 c	5,25 c	0,03 c	0,61 c
	6	6,08 d	9,13 d	9,52 d	0,01 c	0,13 c
Caliza B	0	4,72 a	0,45 a	0,79 a	0,44 a	35,99 a
	1	4,99 b	1,63 b	1,99 b	0,23 b	10,50 b
	3	5,44 c	4,32 c	4,76 c	0,04 c	0,85 c
	6	5,93 d	8,07 d	8,51 d	0,02 c	0,19 c
Caliza C	0	4,72 a	0,52 a	0,88 a	0,44 a	33,30 a
	1	4,89 b	1,51 b	1,88 b	0,26 b	12,03 b
	3	5,24 c	3,92 c	4,33 c	0,09 c	2,13 c
	6	5,67 d	7,12 d	7,57 d	0,05 d	0,65 d
Escoria	0	4,70 a	0,45 a	0,79 a	0,49 a	38,29 a
	1	4,92 b	1,40 b	1,75 b	0,27 b	13,36 b
	3	5,22 c	3,42 c	3,79 c	0,09 c	2,23 c
	6	5,68 d	6,90 d	7,27 d	0,02 d	0,29 d

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas al 5 % según prueba t de Student

Cuadro 3. Valores de las pendientes (b) de las funciones lineales de los parámetros pH, Ca intercambiable y suma de bases de las enmiendas y valores de los coeficientes de curvatura (k) de las funciones exponenciales para los parámetros aluminio de intercambio y porcentaje de saturación de aluminio.

Table 3. Slope (b) of the linear function for the parameters soil pH, exchangeable calcium, and total exchangeable bases, and k coefficient of the exponential function for exchangeable aluminum and aluminum saturation percentage.

Parámetros de la ecuación luego de incubar los suelos durante 20 días a 23 °C										
Muestras	pH		Ca		Suma		Al		Porcentaje de Saturación	
	CaCl ₂		Intercambiable		de Bases		intercambiable		de Al	
	b	R ²	b	R ²	b	R ²	k	R ²	k	R ²
Caliza A	0,23 ± 0,017 a	0,95	1,45 ± 0,013 a	0,99	1,57 ± 0,043 a	0,99	-0,96 ± 0,028 a	0,99	-1,64 ± 0,019 a	0,99
Caliza B	0,21 ± 0,007 a	0,99	1,27 ± 0,007 b	0,99	1,45 ± 0,012 b	0,99	-0,69 ± 0,026 b	0,99	-1,23 ± 0,017 b	0,99
Caliza C	0,160 ± 0,007 b	0,99	1,06 ± 0,064 c	0,97	1,13 ± 0,027 c	0,99	-0,59 ± 0,012 c	0,99	-1,04 ± 0,016 c	0,99
Escoria	0,16 ± 0,003 b	0,99	1,10 ± 0,026 c	0,99	1,08 ± 0,065 c	0,97	-0,50 ± 0,026 d	0,98	-1,04 ± 0,016 c	0,99

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas al 5 % según prueba t de Student

Para evaluar comparativamente el efecto de las enmiendas sobre los incrementos de pH del suelo en función de las dosis, los resultados obtenidos fueron ajustados mediante regresiones lineales. Para ello, los valores de pH se expresaron como delta pH (se descontó el valor del testigo a todos los valores de pH de muestras tratadas) y se analizaron por regresión lineal con respecto a la dosis aplicada. Ello permite independizar la pendiente del valor del intercepto a (ajustado a 0), de forma tal que toda la variabilidad quedó expresada en la pendiente (b) de la ecuación lineal (Pinochet et al., 2005). Un ajuste similar se realizó para los incrementos del calcio intercambiable y de la suma de bases en función de las dosis de enmienda, que también presentaron ajuste de tipo lineal. Las variaciones tanto de la variable aluminio intercambiable como de la variable porcentaje de saturación de aluminio se ajustaron a una función de tipo exponencial (Pinochet et al., 2005). La variación entre los coeficientes de curvatura (k) da una medición de la efectividad de las enmiendas (Cuadro 3).

En general, la variación en la reactividad de las enmiendas se reflejó en la magnitud de los valores de b' o k' de los parámetros de acidez. Enmiendas de alto valor neutralizante deben mostrar también comparativamente altos valores de b (en el caso de los parámetros con comportamiento lineal) o de k (en el caso de variables con ajuste no lineal).

En relación con el cambio de pH del suelo se reconocen dos categorías de enmiendas de acuerdo a los valores de b. Las calizas A y B muestran valores de b significativamente superiores al de la caliza C y al de la escoria (Cuadro 3). Este resultado no se asocia a los valores de CCE de los materiales evaluados, pues en tal caso también la caliza C debiera haber tenido un comportamiento similar a las anteriores. En cambio, los resultados se asimilan en mejor forma a los valores de VNE de las enmiendas, diferenciando claramente a los materiales con alto VNE (caliza A con 98,5 % y B con 89,5 %) de los de bajo VNE (caliza C con 70,0 % y la escoria con 66,6 %).

Considerando el efecto de las enmiendas sobre el Ca intercambiable del suelo, se distinguen tres categorías de comportamiento. Por una parte, la caliza A presentó la mayor pendiente de la función lineal. Le sigue, con una alta pendiente significativamente inferior, la caliza B. Finalmente, tanto la caliza C y la escoria presentan pendientes similares y significativamente inferiores a los otros productos evaluados. Estos resultados sugieren que esta variable de respuesta es más sensible que el pH, como indicador de la reactividad de los materiales enclantes. También esta variable se asocia más al VNE que al CCE de las enmiendas usadas y en mayor medida que lo

observado para el caso del pH. Resultados similares se obtuvieron al analizar el efecto de las enmiendas sobre la suma de bases, lo cual refleja el predominio del Ca en la suma de bases, que en el suelo sin adición de cal fue de 58 %, alcanzando valores del 95 % de la suma de bases con la dosis máxima aplicada.

EL aluminio intercambiable fue el parámetro que presentó la mayor capacidad de discriminación del comportamiento de los materiales comparados. De hecho, es el único parámetro que permitió diferenciarlos estadísticamente en forma significativa, tanto a las calizas de alta reactividad (caliza A con VNE de 98,5 % y B con 89,5 %) como a los materiales de menos reactividad y que presentan valores muy parecidos de VNE como son la caliza C (70,0 %) y la escoria (66,6 %). Esta variable siguió la misma tendencia que la de los valores de VNE y permite diferenciar entre enmiendas que poseen diferencias de apenas 3,4 % de VNE. Estos resultados sugieren que el Al intercambiable evalúa con mayor precisión el comportamiento de las enmiendas calcáreas en los suelos volcánicos. La saturación de aluminio presentó un comportamiento similar al mostrado tanto por el Ca intercambiable aunque difiere en la secuencia con la suma de bases en las calizas C y escoria lo que sería consecuencia de la influencia de la suma de bases en el cálculo de la saturación de aluminio.

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, la mayor sensibilidad corresponde al aluminio de intercambio. Las dosis de cada enmienda resultaron en valores de k significativamente diferentes para cada uno de los materiales encalantes. Esta alta sensibilidad se expresa numéricamente en que esta variable pudo llegar a discriminar el comportamiento de productos con una variación de VNE muy baja (3,4 %). Le siguen, con una sensibilidad similar, el % de saturación de aluminio, la suma de bases y el Ca intercambiable, que permiten distinguir comportamientos de productos que varían el valor de ENV en 9 % o más. Finalmente, el pH en cloruro de calcio es la variable de menor

sensibilidad, discriminando tan solo entre productos con ENV de 19,5 % o más.

La capacidad de evaluar el valor efectivo de neutralización (ENV) del método utilizado se basa en que no permite alcanzar una reactividad total de las enmiendas debido a la baja temperatura de incubación. Con temperaturas similares a las del método de Barrow y Cox (1990), se alcanza una reacción completa y rápida, lo que permite obtener resultados que se asimilan a la reactividad potencial del producto, es decir su CCE. En la incubación usada, la reactividad resultante permitió que las fracciones de tamaño de partículas más finas alcanzaran reacciones más completas que las fracciones con partículas más gruesas y, por lo tanto, la reactividad se asimila a la reactividad potencial (CCE) ajustada a la distribución del tamaño de partículas, o sea al VNE. Por lo tanto, se sugiere evaluar el comportamiento agronómico de calizas o escorias comerciales mediante incubaciones con temperaturas y tiempos iguales o ligeramente inferiores a lo usados en la metodología experimental de este trabajo.

CONCLUSIONES

- Las enmiendas evaluadas produjeron cambios en los parámetros de acidez concordantes con sus valores de VNE. Lo anterior sugiere que el método de incubación lenta empleado permite que se manifieste el efecto del tamaño de partículas de los materiales.
- Dependiendo de cual sea el parámetro de acidez considerado fue posible comparar el comportamiento de las enmiendas con mayor o menor sensibilidad. La secuencia de sensibilidades, de mayor a menor, fue el coeficiente de curvatura (k) del contenido de aluminio intercambiable mayor que el parámetro k del % de saturación de Al, el cual fue a su vez igual a la pendiente (b) del contenido de Ca intercambiable y la pendiente (b) de la suma de bases y éstos mayores que el parámetro b del pH en cloruro de calcio.

BIBLIOGRAFIA

- BARROW, N.J., COX V.C. 1990. A quick and simple method for determining the titration curve and estimating the lime requirement of soil. *Australian Journal of Soil Research* 28: 685-694.
- BEEGLE, D. B., LINGENFELTER, D.D. 1996. Soil Acidity and Lime. *Agronomy Facts* N° 3, College of Agricultural Sciences. Penn State University, University Park, P.A. USA. 284 p.
- BORIE, F., GALLARDO, F., MORA, M., GARCÍA J. 1999. Sensibilidad y tolerancia a la acidez de los cultivos en condiciones de campo. *Frontera Agrícola (Chile)* 5(1-2): 19-28.
- DEMANET, R., SCHNETTLER B., MORA, M. 1999. Efecto del encalado y su relación con los nutrientes sobre la producción de pasturas en suelos ácidos. *Frontera Agrícola (Chile)* 5(1-2): 95-110.
- HALVIN, J.L., BEATON, J.D., TISDALE, S.L., NELSON, W.L. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to Nutrient Management. 6th Edition. Prentice Hall, New Jersey. USA. 497 p.
- LAZCANO-FERRAT, I. 2003. Cal agrícola: conceptos básicos para la producción de cultivos. Instituto de la Potasa y el Fósforo. [www.ppi-pic.org/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9/\\$file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf](http://www.ppi-pic.org/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/5057DEAFC8DE54CC06256AD1005D7CB9/$file/cal+agricola+conceptos+basicos+para+la+produccion+de+cultivos.pdf) (consultado el 15 Diciembre 2003).
- MORA, M., DEMANET, R. 1999. Uso de enmiendas calcáreas en suelos acidificados. *Frontera Agrícola (Chile)* 5(1-2): 43-58.
- MORA, M.L., CARTES, P., DEMANET, R., CORNFORTH, I.S. 2002. Effects of lime and gypsum on pasture growth and composition on an acid Andisol in Chile, South America. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33(13-14): 2069-2081.
- PEARSON, R.W., ADAMS, F. 1967. Soil Acidity and Liming. *Agronomy Monograph* N° 12. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. 274 p.
- PINOCHET, D., RAMIREZ, F., SUAREZ D. 2005. Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas del sur de Chile. *Agric Tec. (Chile)* 65(1): 55-64.
- PRADO, R., COUTINHO, E., ROQUE, C., PEREM, M. 2002. Evaluation of slag and calcareous rocks as correctives of the acidity of the ground in the culture of lettuce. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 37(4): 539-546.
- RODRIGUEZ, J., PINOCHET, D., MATUS, F.J. 2001. Fertilización de los cultivos. LOM Ediciones. Santiago, Chile. 117 p.
- ROWELL, D.L. 1996. Soil Science. Methods and applications. Longman Ltd. Essex. England. 350 p.
- SADZAWKA, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Serie La Platina N° 16. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina, Santiago, Chile. 130 p.
- SUAREZ, D., MARQUEZ, M. 1993. Estimación de las necesidades de encalado. *Agric. Téc. (Chile)* 52(4): 388-393.