

NECESIDADES DE ENCALADO¹

Lime requirements

Domingo Suárez F.² y María Cristina Márquez M.²

S U M M A R Y

Incubations with several amounts of CaCO₃ (0; 1,000; 2,000; 3,000 and 4,000 mg/kg) were made with 12 Andisol and Ultisol soils of the IX and X Region. After 0, 60, 120 and 180 days pH (H₂O) (1:2,5); pH (CaCl₂) 0,01 M (1:2,5); exchangeable Al (KCl 1 M); exchangeable Ca, Mg, Na and K (NH₄-Ac at pH 7) were determined.

In addition field trials, using wheat and rapeseed as test plants, were carried out with doses of CaCO₃ ranging from 0 to 4,000 kg/ha. The soil of each plot was analyzed with the same analytical determinations made in the laboratory study. These determinations were made before seedling and after harvesting.

Correlation studies showed that the variation of the exchangeable Al, expressed as Al % Total Bases, is closer to the variations of pH measured in 0,1 M CaCl₂ than in H₂O (r = 0,91). Additions of CaCO₃ constantly increased the pH measured in CaCl₂ as well as the pH in H₂O. Therefore, it is possible to use the slope of the linear relationship as a measure of the soil buffer capacity (increase of pH per unit of added CaCO₃).

Thus, using the found relationships it is possible to estimate the dose of CaCO₃ for corrective liming needs using the formula:

$$\text{Dose (kg CaCO}_3\text{/ha)} = \frac{\text{original pH} - \text{desired pH}}{\Delta\text{pH}/(\text{kg CaCO}_3\text{/ha)}}$$

The results of the field trials showed the productivity is limited when the Al % SB is greater than 20%. In those cases the corrective liming resulted in increase yields, being greater with the more sensible crop to aluminium toxicity.

Key words: liming, lime rates, soil buffer capacity, aluminium toxicity, soil acidity, soil pH.

INTRODUCCION

El efecto deprimente de la productividad que se produce en algunos suelos ácidos del sur del país es fundamentalmente consecuencia de la toxicidad de Al (Bernier, 1977). La concentración de Al intercambiable del suelo es un mejor indicador de la magnitud del problema que la medición convencional del pH en una suspensión suelo-agua, especialmente cuando el Al intercambiable se expresa como porcentaje de las bases de intercambio (Hargrove y Thomas, 1981).

La acidificación es un proceso natural que ocurre continuamente en suelos ubicados en regiones húmedas, debido a la lenta, pero progresiva, pérdida de bases y solubilización de aluminio. Además, existe una acidificación provocada por el hombre debido al uso de fertilizantes amoniacales (Cook y Ellis, 1987).

Existen suelos que ya están limitados en su productividad, debido a la magnitud de su acidez, natural o provocada, y otros que no alcanzan aún limitaciones, pero que tienen riesgos de acidificación. En el primer caso, es necesario modificar la situación a una no limitante, lo que se puede lograr mediante el "encalado correctivo". En el caso de suelos aún no comprometidos en su productividad, pero con riesgo de acidificación por el uso de fertilizantes amoniacales, se requieren aplicaciones de cal de menor magnitud, suficientes para neutralizar el efecto acidificante resultante de la nitrificación del amonio, mediante el "encalado de neutralización".

¹Recepción de originales: 24 de abril de 1991.

Trabajo presentado en el VI Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo, Temuco, Chile, 14 al 16 de noviembre de 1990. Proyecto Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT) 354/88.

²Departamento de Ciencias Vegetales, Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306, Correo 22, Santiago, Chile.

En el presente trabajo se presenta una síntesis de algunos de los resultados obtenidos en el Proyecto FONDECYT 354/88, cuyo objetivo general fue el obtener criterios y elementos de diagnóstico para evaluar, en una aproximación agronómica racional, las necesidades de encalado, dando énfasis a la estimación de las dosis de cal requeridas en el "encalado correctivo".

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron estudios de laboratorio con Andisoles y Ultisoles de la IX y X Región. Los suelos utilizados corresponden a las series: Araucano, Gorbea, Temuco, Vilcún, Cudico, Crucero, Pelchuquín, Osorno, Puyehue, Nueva Braunau, Frutillar y Huiño-Huiño. En cada uno de los suelos se realizaron incubaciones con dosis de CaCO_3 (0, 1.000, 2.000, 3.000 y 4.000 mg/kg) y al cabo de 0, 60, 120 y 180 días se realizaron las siguientes determinaciones de acuerdo a la metodología descrita por Saavedra (1965) y Sadzawka (1990): pH en H_2O (1:2,5); pH en CaCl_2 0,01 M (1:2,5); Al intercambiable (KCl 1 M); Ca, Mg, Na y K intercambiables ($\text{NH}_4\text{-Ac}$ a pH 7). La combinación de 12 suelos x 5 adiciones de CaCO_3 x 4 tiempos de incubación x 4 repeticiones, originó 960 observaciones para cada determinación analítica, lo que permitió hacer estudios de correlación de alta confiabilidad.

Además, se realizaron ensayos de campo, utilizando trigo y raps como plantas indicadoras donde los tratamientos consistieron en dosis de CaCO_3 con un rango de 0 (testigo) a 4.000 kg/ha. Antes del establecimiento de los ensayos, se caracterizó el suelo, empleando la analítica utilizada en los estudios de laboratorio. Después de la cosecha, se procedió de igual forma en muestras extraídas de cada una de las parcelas. Los ensayos tuvieron cuatro repeticiones y las muestras se tomaron a 0 - 20 cm, al igual que en el caso de los suelos empleados en los estudios de laboratorio. El objetivo de los ensayos fue asociar las variaciones observadas en las incubaciones con las ocurridas en el campo, para validar los criterios de necesidades de encalado correctivo. Las pruebas de campo se realizaron solamente en los suelos de Frutillar y Huiño-Huiño.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las correlaciones realizadas con la información resultante de las incubaciones, indican que las variaciones naturales (entre suelos) y provocadas (adición de CaCO_3) del Al intercambiable, se asocian más a las variaciones del pH medido en CaCl_2 0,1 M -pH (CaCl_2)- que a las observadas en el pH (H_2O), como se muestra en las figuras 1 y 2.

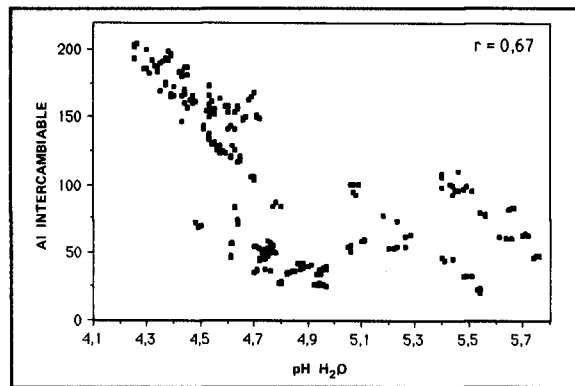


FIGURA 1. Relación entre pH (H_2O) y el contenido de Al intercambiable en suelos ácidos de la IX y X Región.

FIGURE 1. Relationship between pH (H_2O) and the content of exchangeable Al in acid soils of the IX and X Region.

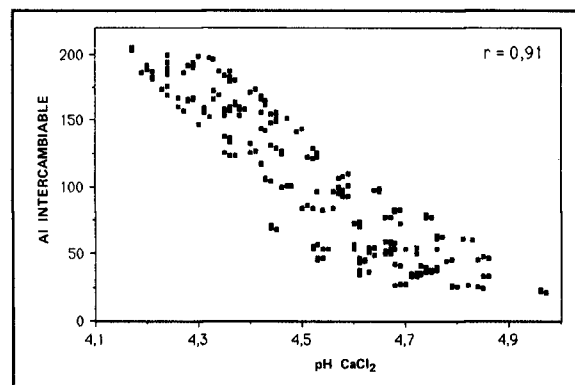


FIGURA 2. Relación entre pH (CaCl_2) y el contenido de Al intercambiable en suelos ácidos de la IX y X Región.

FIGURE 2. Relationship between pH (CaCl_2) and the content of exchangeable Al in acid soils of the IX and X Region.

Los coeficientes de correlación fueron 0,91 y 0,67, respectivamente, considerando el conjunto de todos los suelos y tratamientos. Al expresar el Al intercambiable como porcentaje de la suma de bases (Al % SB), las correlaciones entre pH (CaCl_2) y Al % SB alcanzaron valores de $r = 0,95$ (Figura 3) y superiores al estratificar los suelos por asociaciones y regiones.

La función de las correlaciones mencionadas es de tipo exponencial, y los valores obtenidos son $y = 7,15 \times 10^{13} \times e^{-6,6x}$ para el caso de los Ultisoles y para el caso de los Andisoles el valor es $y = 2,31 \times 10^{12} \times e^{-5,5x}$.

Las adiciones de CaCO_3 incrementaron en forma constante el pH (CaCl_2) y la relación encontrada corresponde a una recta ($y = a + bx$). En la Figura 4 se muestra el efecto de la adición de cal en el pH

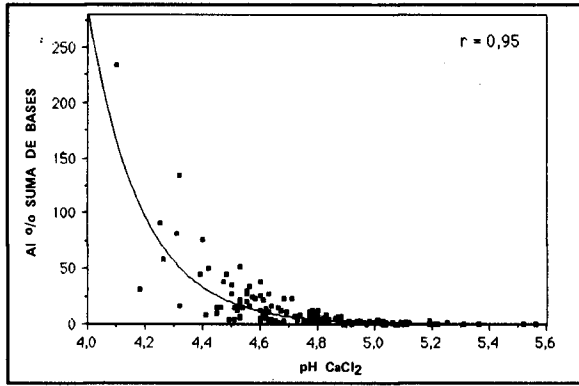


FIGURA 3. Relación entre pH (CaCl₂) y Al % Suma de Bases.

FIGURE 3. Relationship between pH (CaCl₂) and Al % Total Bases.

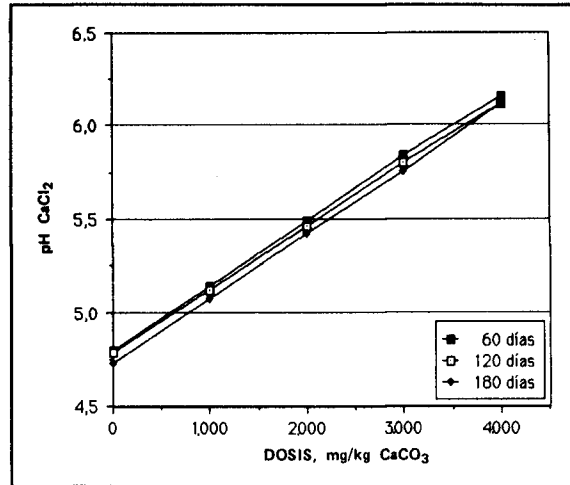


FIGURA 5. Efecto de la adición de cal en el pH (CaCl₂) del suelo Araucano.

FIGURE 5. Effect of the addition of CaCO₃ on the pH (CaCl₂) of Araucano soil.

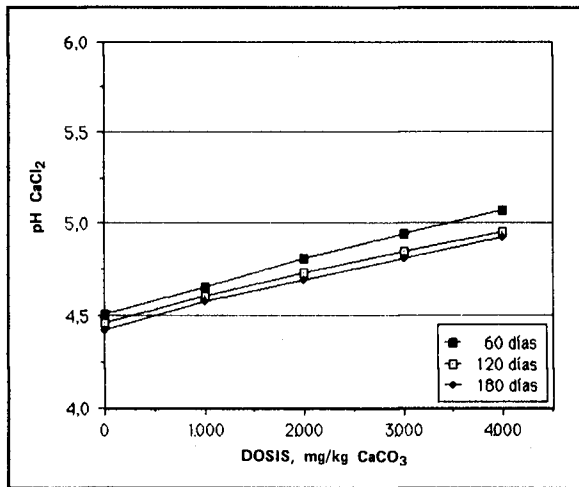


FIGURA 4. Efecto de la adición de cal en el pH (CaCl₂) en el suelo Puyehue.

FIGURE 4. Effect of the addition of CaCO₃ on the pH (CaCl₂) of Puyehue soil.

(CaCl₂) en el suelo Puyehue y en la Figura 5 el mismo efecto en el suelo Araucano. El coeficiente de correlación lineal encontrado fue de 0,98 (promedio de todos los suelos).

En consecuencia, es posible utilizar la pendiente de la recta como medida o índice del poder tampón de los suelos (incremento del pH (CaCl₂) por unidad de CaCO₃ agregada). Los suelos mostraron diferentes poderes tampón, los que, ordenados de menor a mayor, tuvieron la secuencia: Ultisoles IX Región < Ultisoles X Región < Andisoles IX Región < Andisoles X Región. Los Andisoles de la X Región conocidos como "ñadis", presentaron el mayor poder tampón. El rango de variación del poder tampón fue de 2,8 veces, es decir, se requiere 2,8 veces más CaCO₃ en un suelo ñadi de la X Región

que en un suelo rojo arcilloso de la IX Región, para lograr un cambio de pH de igual magnitud. Letelier (1967), señaló diferencias de 2,2 veces la magnitud del cambio de pH (H₂O) a igual dosis de CaCO₃ (3.000 kg/ha) entre suelos graníticos y trumaos.

Utilizando las relaciones encontradas, es posible estimar la dosis de CaCO₃ del encalado correctivo conociendo y definiendo:

- a) el Al % SB original del suelo (indeseable).
- b) el Al % SB a alcanzar (deseable).

El Al % SB a alcanzar, dependerá de la sensibilidad de la especie a la toxicidad por Al. A mayor sensibilidad, menor será el valor a alcanzar.

Conceptualmente, la dosis de encalado correctivo corresponde a la magnitud del cambio que se desea provocar (directamente) y a la resistencia del suelo al cambio (inversamente) o poder tampón. Idealmente, la dosis de encalado correctivo se podría expresar:

$$\text{Dosis (kg CaCO}_3\text{/ha)} = \frac{\text{Al \% SB original} - \text{Al \% SB deseable}}{\Delta \text{Al \% SB / (kg CaCO}_3\text{/ha)}}$$

Por las razones ya explicadas, resulta más simple, económico, confiable y fácil de ser adoptado en rutinas de laboratorios de servicio, el usar como

parámetro el pH (CaCl₂). Se propone entonces utilizar:

$$\text{Dosis (kg CaCO}_3\text{/ha)} = \frac{\text{pH original} - \text{pH deseable}}{\Delta\text{pH}/(\text{kg CaCO}_3\text{/ha)}}$$

$$\text{Dosis (kg CaCO}_3\text{/ha)} = \frac{\Delta\text{pH}}{\Delta\text{pH}/(\text{kg CaCO}_3\text{/ha)}}$$

Para definir el pH (CaCl₂) a alcanzar (deseable), es necesario considerar la tolerancia o sensibilidad de los cultivos a la toxicidad por Al. En un agrosistema, donde existe una secuencia de diferentes cultivos, la definición corresponde a los requerimientos de la especie más sensible.

Los estudios de campo realizados con trigo y raps indican que cuando el Al % SB es superior a 20%, la productividad está significativamente limitada. En esas circunstancias el encalado correctivo se tradujo en incrementos del rendimiento de hasta 34% en el caso del trigo y hasta 48% en el caso del raps. Esto sugiere que la última especie es más sensible a la toxicidad por Al. Los resultados también indican que es deseable disminuir el Al % SB al menos a un 10%, aunque otros estudios de campo y laboratorio sugieren que para las especies mencionadas, sería deseable llevar al suelo a un Al % SB de 5% (Suárez, 1992a; INIA, 1991). Resultados de estudios de las necesidades de "encalado de neutralización", señalan, también, que suelos con más de 5% de Al % SB, ya tienen riesgos de acidificación por el uso de amoniacales (Suárez, 1992b; Rodríguez, 1993).

En el Cuadro 1 se muestra el efecto del encalado sobre el rendimiento de trigo y los parámetros de acidez en el suelo Huiño-Huiño.

CUADRO 1. Efecto del encalado correctivo sobre el rendimiento de trigo y los parámetros de acidez. Suelo Huiño-Huiño

TABLE 1. Effect of corrective liming on wheat yield and soil acidity parameters. Huiño-Huiño soil

	CaCO ₃ (kg/ha)	
	0	4.000
Rendimiento, qqm/ha	48,20	64,40
Rendimiento, %	100,00	134,00
pH H ₂ O	5,30	5,60
pH CaCl ₂	4,50	4,90
Suma de Bases, cmol(+)/kg	3,82	8,10
Al int., cmol(+)/kg	1,48	0,47
Al int. % Suma de Bases	39,00	6,00

El experimento señalado se seleccionó a modo de ilustración debido a que el pH (H₂O) del suelo no es sugerente de una situación problema. Los resultados presentados, permiten evaluar la calidad predictiva de la ecuación propuesta. Para ello, se utilizó el poder tampón encontrado para ese suelo (incubaciones) y como pH (CaCl₂) "deseable" el alcanzado en el experimento al aplicar 4.000 kg/ha de CaCO₃:

$$\text{Dosis (kg CaCO}_3\text{/ha)} = \frac{4,9 - 4,5}{0,093} = 4.300$$

La ecuación sobrestimó levemente (7,5%) la dosis. Otros experimentos similares, realizados durante de temporadas con trigo y raps de invierno y primavera en los suelos Huiño-Huiño y Frutillar, indican que, en promedio, la ecuación tiende a una sobrestimación de 15%, lo que agrónomicamente es irrelevante (Suárez, 1990).

Es importante señalar que al agrupar los suelos por asociaciones y regiones, los poderes tampón de los suelos de una misma categoría son relativamente constantes (+10%), lo que permitiría usar valores similares para una categoría determinada. Se están desarrollando estudios para tomar una decisión final al respecto, como también se está intentando un método simple para estimar el poder tampón (para uso en laboratorios de servicio). Otros estudios que se están desarrollando tienden a determinar la duración o persistencia del encalado.

Las aparentes contradicciones encontradas en la literatura, acerca del efecto del encalado mediante estudios de campo, son consecuencia de que en los casos en que se ha observado respuesta (Philippi, Rodríguez y Pichard, 1985), esta práctica es pertinente (el Al %SB es mayor al tolerante por el cultivo) y en los casos sin respuesta, no lo es (Pichard, Cussen y Sánchez, 1992). Aparentemente, ello es consecuencia de una sobrevaloración del pH en H₂O como criterio de las necesidades de encalado.

No es posible generalizar recomendaciones de necesidades de encalado. En base a lo señalado por Rodríguez y Silva (1990), es posible estimar, en forma preliminar, el "espacio" del encalado, el que correspondería al 43% de los suelos de la IX y X Región (suelos con Al % SB > 20%). Rodríguez (1993) señala en una reciente publicación, que en un 36% de los suelos de la IX Región y un 50% en la X Región, el proceso de acidificación existente debe preocupar y es posible una respuesta al encalado en algunos cultivos.

CONCLUSIONES

- La necesidad del encalado correctivo en Andisoles y Ultisoles de la IX y X Región, está determinada por la concentración de Al intercambiable expresado como % de la suma de bases. Para trigo y raps, ello ocurre cuando dicho valor supera el 20%. Para especies más sensibles ese valor debe ser menor y vice-versa.
- Las relaciones encontradas entre el Al intercambiable (% de la suma de bases), las dosis de CaCO_3 y el pH medido en CaCl_2 0,01 M, permiten utilizar a este último parámetro como un estima-

dor del primero. La relación lineal entre dosis de CaCO_3 y cambio del pH (CaCl_2) se puede utilizar como medida del poder tampón del suelo. En consecuencia, es posible estimar la dosis de CaCO_3 aplicando:

$$\text{Dosis (kg CaCO}_3\text{/ha)} = \frac{\text{pH original} - \text{pH deseable}}{\Delta\text{pH}/(\text{kg CaCO}_3\text{/ha)}}$$

- Mediante pruebas de campo se encontró que la ecuación propuesta sobrestima levemente (15%) la dosis de CaCO_3 .

RESUMEN

Se realizaron incubaciones con 0, 1.000, 2.000, 3.000 y 4.000 mg/kg de CaCO_3 en 12 suelos Andisoles y Ultisoles de la IX y X Región. Después de 0, 60, 120 y 180 días se determinaron pH en H_2O (1:2,5); pH en CaCl_2 0,01 M (1:2,5); Al intercambiable (KCl 1 M); Ca, Mg, Na y K intercambiables ($\text{NH}_4\text{-Ac}$ a pH 7). Además, se realizaron ensayos de campo con dosis de CaCO_3 , en un rango de 0 a 4.000 kg/ha, en plantas de trigo y raps. El suelo de cada una de las parcelas se caracterizó empleando la analítica utilizada en los estudios de laboratorio antes del establecimiento y después de la cosecha.

Como resultado de las correlaciones efectuadas, se obtuvo que la variación del Al intercambiable, expresado como Al % Suma de Bases, se asocia más a las variaciones del pH medido en CaCl_2 0,1 M que a las observadas en el pH en H_2O ($r = 0,91$). La adición de CaCO_3 incrementó en forma constante el pH, en consecuencia, es posible utilizar la pendiente de la recta como medida del poder

tampón de los suelos (incremento del pH por unidad de CaCO_3 agregado).

Así, utilizando las relaciones encontradas se puede estimar la dosis de CaCO_3 del encalado correctivo utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Dosis (kg CaCO}_3\text{/ha)} = \frac{\text{pH original} - \text{pH deseable}}{\Delta\text{pH}/(\text{kg CaCO}_3\text{/ha)}}$$

Los estudios de campo indican que la productividad está limitada cuando el Al % SB es superior a 20%. En esos casos el encalado correctivo se tradujo en un aumento del rendimiento de los cultivos empleados, siendo este mayor cuando la especie es más sensible a la toxicidad por aluminio.

Palabras claves: encalado, dosis de cal, poder tampón del suelo, toxicidad por aluminio, acidez del suelo, pH del suelo.

LITERATURA CITADA

- BERNIER V., RENE. 1977. Efectos del encalado en la productividad de dos suelos volcánicos del sur de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile. 85 p. (Tesis para optar al grado de M.S.)
- COOK, R. and ELLIS, B. 1987. Soil Management. John Wiley & Sons. New York, U. S. A. 356 p.
- HARGROVE, W.L. and THOMAS, G.W. 1981. Effect of organic matter on exchangeable aluminium and plant growth in acid soils. In: Chemistry in the Soil Environment, Special Publication Nº 40. American Society of Agronomy. 259 p.
- INIA - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1991. Acidez y encalado de suelos en la Región de Los Lagos. Serie Remehue Nº 15. 150 p.
- LETELIERA., ELIAS. 1967. Manual de Fertilizantes para Chile. Banco del Estado de Chile. Editorial del Pacífico S.A. Santiago de Chile. 99 p.
- PHILIPPI I., ISABEL, RODRIGUEZ S., JOSE y PICHARD D., GASTON. 1985. Comportamiento de diferentes genotipos de alfalfa en Andisoles ácidos. Cien. Inv. Agr. 12: 23-37.
- PICHARD D., GASTON, CUSSEN M., ROBERT y SANCHEZ M., FELIPE. 1992. Efecto de la encaladura sobre el rendimiento y composición química en ballica inglesa. Cien. Inv. Agr. 19: 31-38.
- RODRIGUEZ S., JOSE. 1993. Manual de Fertilización. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 362 p.

- RODRIGUEZ S., JOSE y SILVA E., HUGO. 1990. Toma de decisiones en la práctica de la fertilización. Tattersall. 62: 10-11.
- SUAREZ F., DOMINGO. 1990. Evaluación de las necesidades de encalado en suelos ácidos de Chile. Informe Final Proyecto FONDECYT 354/88. Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico. 74 p.
- SUAREZ F., DOMINGO. 1992a. Control de la acidez del suelo. Agroanálisis 90: 13-16.
- SUAREZ F., DOMINGO. 1992b. Antecedentes técnicos y económicos para el manejo de suelos ácidos del país: elección de fertilizantes y enmiendas. Panorama económico de la Agricultura 81: 19-23.
- SAAVEDRA R., NORMA. 1965. Manual de análisis de suelos. Dpto. de Suelos, Fac. de Agronomía, P. Universidad Católica de Chile. Publicación Nº 16. 64 p.
- SADZAWKA R., ANGELICA. 1990. Métodos de análisis de suelos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (Chile), Est. Exp. La Platina (Santiago), Serie La Platina Nº 16. 130 p.