

# Cambios de fertilidad observados en perfiles de suelos chilenos. I. Antecedentes<sup>1</sup>

Fertility changes detected in Chilean soil profiles. I. Antecedents

Gotardo Schenkel S.<sup>2</sup>  
Pedro Baherle V.<sup>3</sup>

## SUMMARY

This is the first part of a series devoted to the study of changes that occur in the soil profile, induced by crop fertilization. To start this series, a review is done of the literature referring to Al, P availability and fixation, total N, and C/N ratio, in Chilean soils.

The series will be based on the hypothesis that crop fertilization will affect some soil properties, and through time, will have a favorable residual effect on the soil profile.

## INTRODUCCION

Se considera indispensable ampliar los estudios de fertilidad, en suelos chilenos, con antecedentes que ilustren sobre los cambios introducidos en sus perfiles con la fertilización. A esta finalidad deberían servir principalmente los ensayos de campo. En ausencia de ensayos permanentes, pueden ser útiles los temporales, por ejemplo cuando se trabajó con dosis elevadas de abono, aunque habrán de anteponerse los de mayor duración, que incluyan aplicaciones periódicas, con cantidades pequeñas o intermedias de fertilizantes.

La información chilena disponible sobre el tema es escasa, por lo que se ha creído provechoso rescatar y adaptar antecedentes provenientes de ensayos de campo establecidos, en el pasado, con otra finalidad.

Se reconoce que, debido a este reacondicionamiento en el objetivo de los mencionados trabajos de campo, surgen limitaciones, porque nunca fueron diseñados para medir cambios en el perfil del suelo. No obstante las imperfecciones que de aquí provienen, nos asiste la seguridad que de dicho material experimental deriva una valiosa contribución.

En esta serie de artículos se proporciona la información analítica obtenida con diversos ensayos de campo efectuados por otros profesionales. A veces, se recurre también a trabajos propios, que aislan un determinado problema en el terreno y permiten mejor la interpretación de los cambios de fertilidad, introducidos con la fertilización, en el perfil del suelo.

La tarea emprendida, aunque imperfecta, ha sido posible gracias a la generosa contribución de las personas y/o instituciones que se especifica en los respectivos artículos, muchos de ellos ya retirados de la actividad investigadora. Esta misma circunstancia hace que la recopilación de los antecedentes experimentales sea a veces incompleta. Deseamos absolver siempre a los diseñadores de las experiencias de campo de esta responsabilidad.

<sup>1</sup> Recepción de originales: 10 de marzo de 1982.

<sup>2</sup> Casilla 244, Osorno, Chile.

<sup>3</sup> Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 5427, Santiago, Chile.

La interpretación adecuada de los resultados encontrados en esta serie de publicaciones exige una revisión bibliográfica sobre el aluminio, la fijación de fósforo y su disponibilidad, el nitrógeno total y la relación C/N, lo que se efectúa en esta I Parte.

## REVISION DE LITERATURA

**Aluminio:** La utilización eficiente de las leguminosas, cultivadas sobre un suelo ácido para la producción de forraje, requiere de un buen establecimiento de ellas y de un adecuado suministro de nutrientes, para su crecimiento y sobrevivencia (51). A los efectos tóxicos del Al (1, 2, 3, 16, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 36, 40, 42, 43, 46, 48, 50, 51, 52, 53, 63, 65, 68, 73, 74, 75 y 90) y/o Mn (10, 30, 32, 34, 43, 58, 59, 60, 62, 63, 69 y 85) presentes en los suelos ácidos, se atribuye la principal responsabilidad de un inadecuado crecimiento de las plantas, incluyendo las leguminosas.

Generalmente tiene mayor gravedad la presencia de excesivas cantidades de Al soluble o de intercambio (1, 4, 6, 19, 23, 24, 29, 40, 42, 43, 46, 48, 52, 53, 54, 68, 69 y 72) que de las correspondientes fracciones de Mn, pues limitan severamente el desarrollo radicular de muchas plantas. Por consiguiente, se ven afectados los rendimientos de las especies cultivadas (1, 2, 3, 6, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 35, 39, 40, 42, 43, 46, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 68, 69, 72, 74, 75 y 90) por la presencia de excesivas cantidades de Al en la solución del suelo. La alfalfa se identifica como muy sensible a esta toxicidad (39 y 51).

La acción perjudicial del Al sobre las plantas se relaciona con:

- Inmovilización del P en la raíces (48, 52, 54 y 58).
- Menor crecimiento de las raíces (2, 28, 39, 52 y 54).
- Una subsiguiente disminución de la cantidad de P traslocado hacia los centros de crecimiento aéreos (26, 48, 52, 54, 58, 67 y 68).
- Interferencia con la absorción normal de P y su utilización (15, 26, 27, 42, 75, y 95). Inicialmente se supuso que el Al sólo disminuía el P traslocado (48, 52 y 54) desde las raíces hacia los centros de crecimiento. Sin embargo, últimamente se encontró que éste también reducía la cantidad de P absorbido (42 y 52).

El Al extractado con una sal neutra se considera intercambiable (40 y 53). La determinación de Al intercambiable, en suelos ácidos por los procedimientos de extracción convencionales, es complicada por la disolución de Al no intercambiable (18, 70 y 72), que depende de numerosos factores: la reacción del suelo,

concentración y naturaleza del extractante y duración de la extracción para un suelo determinado (7, 9, 10, 18, 36, 49, 53, 66 y 72). Skeen y Sumner (84) proponen una técnica laboriosa para estimar la cantidad total de Al intercambiable, lo que consiguen mediante una serie de extracciones sucesivas, que permiten una corrección para el Al no extractable incluido en la determinación (72).

No existe una división clara entre las distintas formas de Al en el suelo. Tampoco puede sostenerse que el pH sea el principal factor que gobierne las relaciones entre Al intercambiable y no intercambiable (70, 71, 72 y 77), en oposición a lo sostenido por Pionke y Corey (64).

En la solución de suelos orgánicos es más importante la cantidad de Al intercambiable que su porcentaje de saturación (19). Esto trae como consecuencia que las plantas crecen más satisfactoriamente, en suelos orgánicos, a un pH considerablemente menor que en suelos minerales (5 y 89), lo que se cumple aunque el Al total en el suelo orgánico sea elevado (19).

El Al soluble al agua se relaciona con el encontrado en el extracto de una solución normal de cloruro de potasio (17). Nye y otros (57) muestran que el Al se retiene firmemente, en relación a otros cationes, influyendo la concentración electrolítica. Además, siempre las reacciones de intercambio iónico, donde participa el Al, se complican por las inevitables reacciones de hidrólisis y de readsorción que le acompañan. Por ello, es generalmente escaso el Al de intercambio determinado en suelos superficiales, aún en los ácidos (17). Sin embargo, se ha observado que a mayor concentración del electrolito, esto es, cuando el contenido de sales aumenta —lo que ocurrirá con suelos intensamente fertilizados— también crecerá el contenido de Al en la solución del suelo (1, 32, 51 y 53), junto con el Mn (1).

Dos factores fundamentales limitan la fertilidad en suelos ácidos (72): un empobrecimiento general en los elementos nutritivos requeridos por las plantas y la presencia de sustancias tóxicas. Particular dificultad presenta el P, pues está sujeto a una rápida fijación, especialmente por los compuestos de Fe y Al (5, 14, 20, 37, 76, 86 y 88), siendo más marcada la influencia del Al (7, 14, 20, 37, 41, 76, 77 y 88). Con el tiempo y con la temperatura parece empobrecerse la fracción de fosfato unida al Al, enriqueciéndose la fracción de fosfato de hierro, como se comprueba en suelos chilenos (5 y 76).

“El fósforo agregado al suelo como fertilizante podrá desempeñar uno o más de los siguientes roles (33):

1. Reducir la toxicidad del aluminio.

2. Disminuir la fijación de fósforo causada por sesquióxidos.
3. Aumentar la cantidad de fósforo asimilable y por lo tanto, disponible para las plantas”.

“La toxicidad del aluminio y la fijación de fósforo se estudian frecuentemente en forma independiente una de otra, creando la impresión que donde uno constituye un problema en el suelo, el otro no lo es” (72). Sin embargo, “si los compuestos de aluminio en el suelo son lo suficientemente activos para originar concentraciones tóxicas de aluminio soluble en la solución del suelo, entonces debe esperarse la fijación de fósforo en ese suelo” (72); también 12, 33 y 53. Lo inverso no es necesariamente cierto (72).

Ambos, la fijación de P y la toxicidad de Al son factores primarios del crecimiento de las plantas (72); subsanar uno de ellos sin mejorar simultáneamente el otro tiene poco efecto (71 y 72). Poca respuesta se observará en el crecimiento de las plantas cuando las enmiendas se aplican a suelos pobres en P y ricos en Al intercambiable, o pobres en ambos, mientras para los suelos ricos en Al intercambiable, tendrá poca influencia la aplicación de P, si no se acompaña de una adición de enmienda (72). En efecto, Reeve y Sumner (72) observan una marcada respuesta a la cal, yeso y silicatos de calcio, lo que atribuyen a la eliminación del Al tóxico, antes que al aumento de disponibilidad de P (50 y 72). La respuesta de crecimiento a las enmiendas ocurre hasta el punto en que se elimina el Al intercambiable, después de lo cual se constata un significativo descenso en los rendimientos (24 y 72). La respuesta de las gramíneas y leguminosas al encalado y a la fertilización fosfatada se ve muy influenciada por la especie y variedad (83).

**Fijación de fósforo:** “Los suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas son conocidos por poseer una elevada capacidad fijadora de P (5, 8, 12, 33, 44, 76, 78 y 93); ésta varía con su edad y con otros factores (8). Dichos suelos pueden fijar grandes cantidades de fosfatos, molibdatos y otros aniones de estructura similar (87). “La fijación del fósforo es y seguirá siendo uno de los obstáculos más serios a que se enfrenta el desarrollo agrícola de los suelos de ceniza volcánica” (22). Con suelos de Hawai, constata Fox (22) que la fijación de fosfatos por el subsuelo es casi siempre más grande que la de las capas superficiales. Análogamente, Volke (93) determina “una tendencia, aunque no muy definida, de mayor fijación en las muestras de la profundidad de 25 a 50 cm” en suelos chilenos.

La mayor parte de los fosfatos añadidos a suelos de cenizas volcánicas están ligados con alúmina (5, 22, 47, 76 y 87). Gran importancia se atribuye a los compuestos de Al en la sorción de fosfatos (14 y 94).

Fassbender (21) corrobora este resultado calculando un coeficiente de correlación altamente significativo entre la retención de fosfato y el Al extraíble para suelos de Costa Rica. Con todo, “los fosfatos de aluminio existen en suelos centroamericanos en menores cantidades que los de hierro” (21); también 5, 11, 18 y 76.

Swindale (87), apoyado en trabajos de Saunders y de Fassbender, sugiere que la formación de taranakita es la causa de la fijación de fosfatos en suelos derivados de cenizas volcánicas. Contribuye a fortalecer esta hipótesis la gran facilidad con la cual se puede formar la taranakita.

Cuanto menor el pH y mayor la acidez cambiante, tanto mayor la capacidad del suelo para fijar fosfatos (47). Los valores de pH en suelos de ceniza volcánica son generalmente mayores de 5,0, siendo “raro encontrar valores muy inferiores por la capacidad amortiguadora de la alofana en la sección del punto isoeléctrico y la gran capacidad amortiguadora de los geles de alúmina polimerizados (87)”.

La cantidad de P disponible para las plantas, tanto del aplicado como nativo, depende de la naturaleza química del suelo y, particularmente, de su capacidad de sorción del P, como de su nivel de saturación (47 y 94). Así, en suelos con elevada capacidad de fijación, el P agregado se vuelve rápidamente inprovechable por las plantas (94). En consecuencia, los andosoles responden bien a la abonadura fosfatada (47).

**Fósforo disponible:** Frecuentemente, cuando se fertilizan los suelos derivados de cenizas volcánicas, que fijan mucho fosfato, se comprueba que aun las aplicaciones de fosfatos moderadamente altas tienen una pequeña respuesta, después de unos pocos años. Por tanto, no pueden esperarse grandes efectos residuales, si se aplican pequeñas cantidades de fosfatos a suelos con enorme capacidad de absorber fosfatos (22). “En suelos andosoles no abonados es preciso aplicar grandes cantidades de fosfatos a fin de suplir los requisitos de fijación del suelo y quede un excedente lo suficientemente alto para lograr un incremento en la cosecha” (47).

Existe una experiencia muy amplia sobre la falta de fósforo en los suelos derivados de cenizas volcánicas (20, 21, 22, 47, 87 y 94), cuya gravedad no necesita ser enfatizada. También en Chile se ha reunido abundante información (33, 44, 79, 80, 81, 82, 91, 92 y 93).

El P fijado no es completamente inprovechable (22). Las aplicaciones masivas de P satisfacen suficientemente el complejo de absorción del suelo, de modo que la nutrición de las plantas puede mantenerse por

varios años (22).

Boewn y Rasmussen (13) observan que las mayores dosis de P acumuladas en el suelo (896 kg P/ha) aumentan considerablemente el fósforo extractable en el horizonte 0–20 cm, equivalente a 10 veces el valor encontrado en la correspondiente parcela testigo. En el mismo ensayo, con oblón, determinan al año siguiente un considerable aumento de fósforo extractable en la profundidad de 20 a 40 cm. Atribuyen este efecto a una posible contaminación de suelo superficial (profundidad 0–20 cm), pues las muestras se tomaron con barreno de tubo.

Black (10) presenta la distribución vertical de P extractable en parcelas de praderas de Wisconsin. Según esta experiencia, Midgley comprobó un aumento en el tenor de P para el primer centímetro de profundidad. Se determinó 11 microgramos para la parcela testigo, contenido que creció hasta 100 microgramos para la parcela con fósforo. La diferencia entre los dos tratamientos desaparece a los 6 cm de profundidad. También Spencer, citado por Black (10), determina en un suelo arenoso fino, que las aplicaciones con superfosfato exhiben un claro aumento de P disponible en el perfil de suelo correspondiente a la parcela que las recibió, respecto del tratamiento testigo, hasta la profundidad de 175 cm. Ello se interpreta como una pérdida de fertilizante fosfatado por lixiviación. En Australia, Osanne y otros (61) observan, en suelos arenosos, un movimiento vertical considerable del fertilizante fosfatado, hasta una profundidad que excede los 75 cm, en una temporada.

Letelier (44) destaca la importancia que debe concederse al cultivo para apreciar el efecto residual del P. Menciona la remolacha y al raps como cultivos muy exigentes. Cuando el trigo sigue a la remolacha en la rotación de cultivos, deben aplicarse nuevas fertilizaciones de fosfatos, pues el abono fosfatado aplicado a la remolacha, aún en cantidades altas, no se nota en el rendimiento del trigo. Aparentemente existiría una interdependencia entre especie vegetal y cantidad de fertilizante fosfatado aplicado —en una condición dada de suelo y clima— para medir el efecto residual del fosfato agregado.

**N total y relación C/N:** Suelos derivados de cenizas volcánicas contienen generalmente cantidades apreciables de materia orgánica, especialmente en la capa superficial (11, 20, 38, 45, 47 y 87).

Las grandes masas de materia orgánica presentes en estos suelos se asocian con contenidos de N total igualmente elevados. Blasco (11) determina valores de hasta 1,37<sup>o</sup>/o, y aún 1,48<sup>o</sup>/o, de N total en la "primera capa" de perfiles de suelos del "Piso Altitudinal Tropical" de Colombia. Sin embargo, la relación C/N para los mismos suelos fluctúa entre 6,55 y 11,16. Swindale (87) menciona valores de C/N entre 9 y 12 para "typic dystrandep" de Nueva Zelandia, correspondiendo los valores mayores a la capa superficial. Loganathan y Swindale (45) comprueban una variación mayor en suelos Dystrandep de Hawai, que oscila entre 11 y 20. Este rango es muy semejante al intervalo 7,5–17,5, con promedio de 10, para la relación C/N, informado por Fassbender (21), en suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central.

## RESUMEN

El empleo de fertilizantes constituye una condición indispensable para aumentar las producciones agrícolas, frutícolas y ganaderas en los suelos chilenos. Aunque razones económicas circunstanciales deprimen, ocasionalmente, la demanda de fertilizantes por parte de los productores, hay conciencia cuán conveniente es fomentar su empleo para mejorar, cuantitativa— y cualitativamente, los productos del agro. Este conocimiento ha recibido una atención preferente en los trabajos efectuados en el país, y lo sigue recibiendo.

En esta serie de publicaciones se sustenta la premisa básica que los efectos de una fertilización trascienden al suelo, cuando por su intermedio se mejora la producción vegetal originada en dicho suelo. De aquí na-

ce la tesis que mediante tales fertilizaciones se introducen cambios favorables en algunas propiedades adversas del perfil de suelo, que sumadas a través del tiempo, originan un efecto residual. El conocimiento de estas modificaciones es de la máxima importancia, por sus posibles proyecciones agronómicas y económicas.

Debido a la reconocida importancia que tienen los abonos fosfatados y nitrogenados en los suelos chilenos, se efectúa en esta I Parte una revisión de la literatura sobre el aluminio en el suelo, la disponibilidad y fijación de fósforo, nitrógeno total y la relación carbono/nitrógeno.

## LITERATURA CITADA

1. ABRUÑA, F.; CHANDLER, J., and PEARSON, R. 1964. Effects of liming on yields and composition of heavily fertilized grasses and on soil properties under humid tropical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 657–661.
2. ADAMS, F. and LUND, Z. 1966. Effect of chemical activity of solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. *Soil Sci.* 101(3): 193–198.
3. ADAMS, F. and PEARSON, R. 1967. Crop response to lime in the Southern United States and Puerto Rico. En: Pearson, R. and Adams, F. (ed.) *Soil Acidity and liming.* Madison, Wisconsin, Am. Soc. Agron. (Series Agronomy 12) p. 198–199.
4. ADAMS, F. 1970. Differential response of cotton and peanuts to subsoil acidity. *Agronomy J.* 62(1): 9–12.
5. APPELT, H. and SCHALSCHA, E. 1970. Effect of added phosphate on the inorganic phosphorus fractions in soils derived from volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34(4): 599–602.
6. ARNIGER, W.; FOY, C.; FLEMING, A. and CALDWELL, B. 1968. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. *Agronomy J.* 60(1): 67–70.
7. BAHERLE, P. 1965. Influencia de la fertilización fosfatada sobre aluminio y hierro extractable. Chillán, Chile. Fac. de Agronomía. U. de Concepción. 89 p. (tesis mimeografiada).
8. BESOAIN, E. 1969. Mineralogía de las arcillas de los suelos de cenizas volcánicas. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. 6–13 julio, 1969. Turrialba, Costa Rica, Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p. B.1.1–B.1.13.
9. BHUMBLA, D. and McLEAN, E. 1965. Aluminum in soils. VI. Changes in pH dependent acidity, cation exchange capacity and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 370–374.
10. BLACK, C. 1968. *Soil-plant relationships.* 2nd. ed. New York, John Wiley. 792 p.
11. BLASCO, M. 1969. Características químicas de los suelos volcánicos de Nariño, Colombia. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6–13 julio, 1969. Turrialba, Costa Rica, Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p. B.8.1–B.8.10.
12. BLAIHOLDER, H. 1965. Factores que afectan a la determinación de la fijación de fósforo en algunos suelos chilenos. Chillán, Chile. Fac. de Agronomía. U. de Concepción. 108 p. (tesis mimeografiada).
13. BOAWN, L. and RASMUSSEN, P. 1969. Phosphorus fertilization of hops. *Agronomy J.* 61(2): 211–214.
14. BROMFIELD, S. 1964. Relative contribution of iron and aluminum in phosphate sorption by acid surface soils. *Nature* 201: 321–322.
15. CLARKSON, D. 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.* 41: 165–172.
16. COLEMAN, N.; KAMPRATH, E.; and WEED, S. 1958. Liming. En: Norman, A. (ed.) *Adv. Agron.* 10: 475–522.
17. COLEMAN, N. and THOMAS, G. 1967. The basic chemistry of soil acidity. En: Pearson, R. and Adams, F. (ed.) *Soil acidity and liming.* Madison, Wisconsin, Am. Soc. Agron. (Series Agronomy 12) p: 1–41.
18. DEWAN, H. and RICH, C. 1970. Titration of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34(1): 38–44.
19. EVANS, C. and KAMPRATH, E. 1970. Lime response as related to percent aluminum saturation, solution aluminum and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34(6): 893–896.
20. FASSBENDER, H. 1969. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas en América Central. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6–13 julio, 1969. Turrialba, Costa Rica, Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p. B.4.1–B.4.10.
21. FASSBENDER, H.; MULLER, L. y BALERDI, F. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. *Turrialba* 18(4): 333–347.
22. FOX, R. 1969. La fertilización de los suelos de cenizas volcánicas de Hawai. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6–13 julio, 1969. Turrialba, Costa Rica, Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p. C.6.1.–C.6.14.
23. FOY, C.; ARMIGER, W.; BRIGGLE, L. and REID, D. 1965. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. *Agronomy J.* 57(5): 413–417.
24. FOY, C.; ARMIGER, W.; FLEMING, A.; and LEWIS, C. 1967. Differential tolerance of cotton varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. *Agronomy J.* 59(5): 415–417.
25. FOY, C.; ARMIGER, W.; FLEMING, A.; and ZAUMEYER, W. 1967. Differential tolerance of drybean, snapbean and lima bean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. *Agronomy J.* 59(6): 561–563.
26. FOY, C. and BROWN, J. 1964. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28(1): 27–32.
27. FOY, C. 1963. Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27(4): 403–407.
28. FOY, C.; BURNS, G.; BROWN, J.; and FLEMING, A. 1965. Differential aluminum tolerance of two varieties associated with plant induced pH changes around their roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29(1): 64–67.
29. FOY, C. and FLEMING, A. 1968. Root structure re-

- flects differential aluminum tolerance in wheat varieties. *Agronomy J.* 60(2): 172—176.
30. FOY, C.; FLEMING, A.; and ARMIGER, W. 1969. Differential tolerance of cotton varieties to excess manganese. *Agronomy J.* 61(5): 690—694.
  31. FOY, C. 1969. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. *Agronomy J.* 61(4): 505—551.
  32. FRIED, M. and PEECH, M. 1946. The comparative effects of lime and gypsum upon plants grown on acid soils. *J. Am. Soc. Agron.* 38: 614—623.
  33. GOIC, P. 1962. Contenido y fracciones de fósforo en muestras de suelo procedentes de alfalfares chilenos. Chillán, Chile. Fac. de Agronomía. U. de Concepción. 243 p. (tesis mimeografiada).
  34. GRAVEN, F.; ATTOE, O.; and SMITH, D. 1965. Effect of flooding on manganese toxicity in alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29(6): 702—706.
  35. HOURIGAN, W.; FRANKLIN, R.; McLEAN, E.; and BHUMBLA, D. 1961. Growth and calcium uptake by plants as affected by rate and depth of liming. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25(4): 491—494.
  36. HOYT, P. and NYBORG, M. 1971. Toxic metals in acid soils. I. Estimation of plant-available aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35(2): 236—240.
  37. HSU, P. 1965. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acidic soils. *Soil Sci.* 99: 398—402.
  38. HURTADO, R. 1963. Potasio, nitrógeno y materia orgánica en suelos dedicados al cultivo de la alfalfa. Chillán, Chile, Fac. de Agronomía. U. de Concepción. 295 p. (tesis mimeografiada).
  39. HUTCHINSON, F. and HUNTER, A. 1970. Exchangeable aluminum levels in two soils as related to lime treatment and growth of six crop species. *Agronomy J.* 62(6): 702—704.
  40. KAMPRATH, E. 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34(2): 252—254.
  41. KURTZ, L. and QUIRK, J. 1965. Phosphate adsorption and phosphate fractions in field soils of varying histories of phosphate fertilization. *Aust. J. Agric. Res.* 16: 403—412.
  42. LANCE, J. and PEARSON, R. 1969. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33(1): 95—98.
  43. LEE, C. 1971. Influence of aluminum on plant growth and tuber yield of potatoes. *Agronomy J.* 63(3): 363—364.
  44. LETELIER, E. 1969. Respuesta a la fertilización de los suelos volcánicos chilenos (trumaos) según resultados de ensayos de campo. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6—13 julio, 1969. Turrialba, Costa Rica, Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p. C.3.1.—C.3.14.
  45. LOGANATHAN, P. and SWINDALE, L. 1969. The properties and genesis of four middle altitude Dystrandept volcanic ash soils from Manuna Kea, Hawaii. Reprinted from: *Pacific Science* 23(2): 161—171.
  46. LONG, L. and FOY, C. 1970. Plant varieties as indicators of aluminum toxicity in the A<sub>2</sub> horizon of a Norfolk soil. *Agronomy J.* 62(5): 679—681.
  47. MARTINI, J. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Centro América. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6—13 julio, 1969. Turrialba, Costa Rica. Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p. A.5.1.—A.5.17.
  48. McLEAN, E. and CHIASSON, T. 1966. Differential performance of two barley varieties to varying aluminum concentration. *Can. J. Soil Sci.* 46: 147—153.
  49. McLEAN, E.; HOURIGAN, W.; SHOEMAKER, H. and BUMBLA, D. 1964. Aluminum in soils. V. Form of aluminum as a cause of soil acidity and a complication in its measurement. *Soil Sci.* 97: 119—126.
  50. MACLEOD, L.; BISHOP, R.; CALDER, F.; and MAC-EACHERN, C. 1964. Effect of various rates of liming and fertilization on certain chemical properties of a strongly acid soil and on the establishment, yield, botanical and chemical composition of a forage mixture. *Can. J. Soil Sci.* 44: 237—247.
  51. MACLEOD, L. and BRADFIELD, R. 1963. Effect of liming and potassium fertilization on the yield and composition of an alfalfa—orchard grass association. *Agronomy J.* 55(5): 435—439.
  52. MACLEOD, L. and JACKSON, L. 1967. Aluminum tolerance of two barley varieties in nutrient solution, peat, and soil culture. *Agronomy J.* 59(4): 359—363.
  53. MACLEOD, L. 1967. Water soluble and exchangeable aluminum in acid soils as affected by liming and fertilization. *Can. J. Soil Sci.* 47(3): 203—210.
  54. MACLEOD, L. 1965. Effect of concentrations of the aluminum ion on root development and establishment of legume seedlings. *Can. J. of Soil Sci.* 45: 221—234.
  55. MOSCHLER, W.; JONES, G. and THOMAS, G. 1960. Lime and soil acidity effects on alfalfa growth in a red-yellow podzolic soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 507—509.
  56. NEENAN, H. 1960. The effects of soil acidity on the growth of cereals with particular reference to the differential reactions of varieties thereto. *Plant Soil* 12: 324—338.
  57. NYE, P.; CRAIG, D.; COLEMAN, N.; and RAGLAND, J. 1961. Ion exchange equilibrium involving aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25(1): 14—17.
  58. OUELLETE, G. and DESSUREAUX, L. 1958. Chemical composition of alfalfa as related to degree of tolerance to manganese and aluminum. *Can. J. Plant Sci.* 31: 206—218.
  59. OUELLETE, G. et GENEREUX. 1965. Influence de l'intoxication manganique sur six variétés de pomme de terre. *Can. J. Soil Sci.* 45(1): 24—32.

60. OUELLETE, G. 1965. Influence du pH et des elements fertilizants sur l'intoxication manganique de la pomme de terre. *Can. J. Soil Sci.* 45(3): 347-353.
61. OZANNE, P.; KIRTON, D. and SHAW, T. 1961. The loss of phosphorus from sandy soils. *Aust. J. Agric. Res.* 12: 409-423.
62. PARKER, M.; HARRIS, H.; MORRIS, H.; and PERKINS, H. 1969. Manganese toxicity of soybeans as related to soil and fertility treatments. *Agronomy J.* 61(4): 515-518.
63. PEARSON, R. and ADAMS, F. (ed.). 1967. Soil acidity and liming. Madison, Wisconsin. Am. Soc. Agron. (Series Agronomy 12) 274 p.
64. PIONKE, H. and COREY, R. 1967. Relation between acidic aluminum and soil pH, clay and organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31(6): 749-752.
65. PRATT, P. 1966. Aluminum. En: Chapman, H. Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. of California. Div. of Agric. Sci. p. 3-12.
66. PRATT, P. and BAIR, F. 1961. A comparison of three reagents for the extraction of aluminum from soils. *Soil Sci.* 91: 357-359.
67. RAGLAND, J. and COLEMAN, N. 1962. Influence of aluminum on phosphorus uptake by snapbean roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26(1): 89-90.
68. RAGLAND, J. 1959. The effect of soil solution aluminum and calcium on root growth. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 23: 355-357.
69. REES, W. and SIDRAK, G. 1961. Interrelationships of aluminum and manganese toxicities toward plants. *Plant Soil* 14: 101-117.
70. REEVE, N. and SUMNER, M. 1971. Cation exchange capacity and exchange aluminum in Natal Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35(1): 38-42.
71. REEVE, N. 1970. Lime requirement of Natal Oxisols based on exchangeable aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34(4): 595-598.
72. REEVE, N. 1970. Effects of aluminum toxicity and phosphorus fixation on crop growth on Oxisols in Natal. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34(2): 263-267.
73. REID, D.; JONES, C.; ARMIGER, W.; FOY, C.; KOCH, E.; and STARLING, T. 1969. Differential aluminum tolerance of winter barley varieties and selections in associated greenhouse and field experiments. *Agronomy J.* 61(2): 218-222.
74. RIOS, M. and PEARSON, R. 1964. The effect of some chemical environmental factors on cotton root behaviour. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 232-235.
75. RORISON, H. 1958. The effect of aluminum on legume nutrition. En: Hallsworth, E. Nutrition of the legumes. London, Butterworths Scientific Pub. Proceedings of the Univ. of Nottingham, 5th. Easter School of Agricultural Science. p. 43-61.
76. SALGADO, M. 1963. Fracciones de fósforo presentes en cuatro suelos empleados para ensayos de maceteros en alfalfa, con dosis crecientes de fosfato. Chillán, Chile. Esc. de Agronomía, U. de Concepción. 169 p. (tesis mimeografiada).
77. SAINI, G. and MacLEAN, A. 1965. Phosphorus retention capacities of some New Brunswick soils and their relationship with soil properties. *Can. J. Soil Sci.* 45(1): 15-18.
78. SCHENKEL, G. 1969. Problemas de la acidez en suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6-13 julio, 1969. Turrialba, Costa Rica. Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p. B.9.1-B.9.11.
79. SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T. y GAJARDO, M. 1972. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. VIII. Macronutrientes, provincia de Valdivia. *Agricultura Técnica (Chile)* 32(1): 37-48.
80. SCHENKEL, G. 1971. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. VI. Macronutrientes, provincia de Cautín. *Agricultura Técnica (Chile)*: 31(4): 169-181.
81. SCHENKEL, G. 1970. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. I. Experiencia preliminar. *Agricultura Técnica (Chile)* 30(4): 173-187.
82. SCHENKEL, G. y GAJARDO, M. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. III. Fórmula de fertilización de la abonadura de corrección. Turrialba, Costa Rica 21(3): 272-279.
83. SHOOP, G.; BROOKS, C.; BLASER, R. and THOMAS, G. 1961. Differential responses of grasses and legumes to liming and phosphorus fertilization. *Agronomy J.* 53: 111-115.
84. SKEEN, J. and SUMNER, M. 1965. Measurement of exchangeable aluminum in acid soils. *Nature* 208: 712.
85. SMECK, N. and RUNGE, N. 1971. Phosphorus availability and redistribution in relation to profile development in an illinois landscape segment. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35(6): 952-959.
86. SMITH, A. 1965. Aluminum and iron phosphates in soils. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 31: 110-126.
87. SWINDALE, L. 1969. Las propiedades de suelos derivados de cenizas volcánicas. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6-13 julio, 1969. Turrialba, Costa Rica. Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p. B.10.1-B.10.9.
88. TAYLOR, A. 1965. Precipitation of phosphate by iron oxide and aluminum hydroxide from solution containing Ca and K. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29(1): 18-22.
89. THUN, R. HERRMANN, R. und KNICKMANN, E. 1955. Die Untersuchung von Boeden. Band 1. 3. Auflage. Berlin, Neumann Verlag. 271 p.
90. VLAMIS, J. 1953. Acid soil infertility as related to soil solution and solid phase effects. *Soil Sci.* 75: 383-394.
91. VOLKE, V. 1972. Factores de producción del trigo en

- suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín. *Agricultura Técnica (Chile)* 32(4): 189–200.
92. VOLKE, V. 1972. Fertilización nitrogenada y fosfatada del trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín. *Agricultura Técnica (Chile)* 33(1): 6–15.
93. VOLKE, V. 1963. Comparación de métodos extractivos de fósforo en suelos representativos de las provincias de Llanquihue y Osorno. Chillán, Chile. Fac. de Agronomía, U. de Concepción. 149 p. (tesis mimeografiada).
94. WILLIAMS, C. 1967. Nitrogen, sulphur and phosphorus. Their interactions and availability. En: Jacks, G. (ed.). *Soil Chemistry and Fertility. Meeting of Commission II and IV of the Int. Soc. Soil Sci. Aberdeen, September 1966*, Transactions. Aberdeen Univ. Press. Int. Soc. of Soil Sci. p. 93–111.
95. WRIGHT, K. and DONAHUE, B. 1953. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.* 28: 674–680.