

**EXPLORACION DE DEFICIENCIAS NUTRITIVAS CON SUELOS EN
MACETAS. XXV. INFLUENCIA DE LA PUREZA DE NPKCaS EN
MUESTRAS DE CAUTIN. I PARTE¹**

**Survey of soil nutritive deficiencies using pot experiments. XXV. Influence
of the NPKCaS purity on samples from Cautín. Part I**

Gotardo Schenkel S.², Pedro Baherle V.³ y Mauricio Gajardo M.⁴

S U M M A R Y

This Part I includes only the Introduction and the Literature Review. Part II will include Materials and Methods, Results and Discussion, and Conclusions, obtained from the experimental comparison between two equivalent NPKCaS fertilizations: a. chemical substances of analytical quality; and b. commercial fertilizers.

The general conclusion is that the number of soils poor in micronutrients has been underestimated, because of the micronutrients contained as impurities in the commercial fertilizers.

INTRODUCCION

Generalmente, suelos con respuesta a Ca, aplicado como carbonato de calcio, tienen también problemas con los micronutrientes (Schenkel y otros, 1974). Algunos suelos son simultáneamente pobres en Mg y en micronutrientes (Schenkel, Baherle y Gajardo, 1985). Esta asociación ha permitido la obtención de relaciones lineales y directas entre las disponibilidades de micronutrientes y las de Ca y/o Mg (p. ej. en Magallanes; Schenkel y otros, 1974). Por tanto, con la inclusión de Mg en la fórmula de fertilización NPKCaMgS, se eleva a menudo — pero no siempre — la fertilidad de numerosos suelos chilenos a niveles que pueden estimarse satisfactorios (Schenkel y otros, 1985).

La respuesta, ocasionalmente insatisfactoria, lograda con las abonaduras NPKCaS y NPKCaMgS en tales suelos, ha sido atribuida a una modificación ejercida sobre la disponibilidad de uno o más micronutrientes (Schenkel y otros, 1985). Es implícito a esta interpretación que puedan causarse problemas nutritivos más serios, debido a deficiencia o toxicidad de micronutrientes que a falta de Ca o Mg, en abundantes suelos procedentes de las provincias entre Arauco y Magallanes.

Este enfoque, para encarar los problemas de fertilidad debidos a una deficiencia nutritiva múltiple con la participación de microelementos, no es nuevo en Chile; ya Vogel (1945 y 1947) postulaba enfáticamente que los suelos chilenos no son deficientes en Ca, salvo casos muy aislados y debidos a una razón especial. Weinberger y Wenzel (1973), con suelos de la X Región, determinan un efecto similar sobre la producción de algunas especies vegetales, mediante el agregado de Mo, o en su reemplazo, mediante el encalado, que origina una mayor solubilidad del Mo, siempre que se trate de un problema de solubilidad y no de falta. Resultados experimentales de Albert, Ansorge y Jauert (1981), obtenidos en ensayos permanentes, muestran que las aplicaciones continuadas de escorias básicas aumentan el contenido de Mo disponible en el suelo, a expensas de disminuir los contenidos de Mn. Además, comprueban que en la absorción de estos elementos por las plantas, se reflejan los correspondientes efectos.

¹ Recepción de originales: 6 de noviembre de 1984.

Este artículo completa esta serie, iniciada en 1970 (Agricultura Técnica 30 (4): 173—187) y sirve de enlace con la serie "Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos en macetas", iniciada en 1982 (Agricultura Técnica 42 (2): 105—114). Por su extensión excepcional, se publica en dos secciones: Revisión de Literatura y Experimental. Parte de él fue presentada al IV Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Chile, Valdivia, 24—26 de septiembre de 1984.

² Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, U. de Concepción, Casilla 537, Chillán, Chile.

³ Estación Experimental La Platina (INIA), Casilla 5427, Santiago, Chile.

⁴ Estación Experimental Carillanca (INIA), Casilla 58—D, Temuco, Chile.

La pureza de las sustancias químicas usadas para la identificación de la deficiencia nutritiva, es un tema de extraordinaria importancia (Hewitt, 1966; Hignett, 1979), especialmente cuando se estudia la nutrición de las plantas con microelementos. Los productos químicos empleados en trabajos con macronutrientes, no necesitan generalmente de una purificación prolija, siempre que ellos sean recristalizados o de pureza analítica. En tales condiciones están generalmente libres de impurezas, consistentes de metales pesados a concentraciones tóxicas (Hewitt, 1966).

Sin embargo, los compuestos químicos de menor pureza, como los fertilizantes, pueden estar contaminados con algunos micronutrientes, tales como Mo, Co, B, Zn, o bien llegar a contener cantidades excesivas y perjudiciales de B, Zn, Fe (Hewitt, 1966), Cd (Mortvedt, Mays y Osborn, 1981; Khan y otros, 1982) u otros constituyentes. Es bien conocida la apreciable cantidad de Mo que puede contener el salitre chileno (Warrington, 1946), aparte de la contaminación con I que traen algunas partidas.

Por lo tanto, la producción de diversos cultivos, en bastantes suelos situados al sur de la provincia de Arauco, puede estar afectada en forma más intensa por problemas definidos por los micronutrientes — por deficiencia o por exceso — que por pobreza en Ca o Mg. Es afín a esta hipótesis que los niveles de microelementos en el suelo pueden condicionar la respuesta al Ca o al Mg, cuando se subsana el problema de fertilidad ocasionado por ellos, y siempre que se corrijan las deficiencias de N, P, K y S. De aquí surgen dos complicaciones de gran incidencia en la parte experimental:

1. La deficiencia de un micronutriente del suelo puede agravarse por la adición de otro, contenido en él o los fertilizantes agregados con la abonadura y con el cual interactúa.
2. Se desconoce la proporción en la cual pueden ser absorbidos por las plantas los diversos microelementos contenidos en los abonos empleados.

Luego, el esclarecimiento de los factores que condicionan una baja respuesta a las fórmulas de fertilización NPKCaS y NPKCaMgS, en no pocos suelos del país (Schenkel y otros, 1985), tiene una considerable importancia práctica para mejorar las producciones de los cultivos.

Con la ayuda del diagrama de fertilidad (Schenkel, 1971), es posible analizar el curso seguido por la línea de producción NPKCaS, llamada antes impropriamente NPKS, porque en ella no se incorporó carbonato de calcio, aunque sí recibió este elemento como constituyente del superfosfato triple. Se han suministrado

abundantes ejemplos para demostrar que la fertilidad definida por esta fórmula debe considerarse óptima en los respectivos suelos, (p. ej. Schenkel y otros, 1982b y 1971a). Sería imposible obtener esta buena respuesta a la abonadura NPKCaS, si por su intermedio no se corrigen las deficiencias de, por lo menos, un micronutriente carencial y la de Ca, que pudiese tener cada uno de los suelos considerados, supuesto que éste cuente con suficiente Mg. Este enfoque se respalda, además, en los resultados dados a conocer por Chávez, Onetto y Murúa (1968), de los análisis efectuados a diversos fertilizantes recolectados en Chile, los que contienen prácticamente todos los micronutrientes, aunque en cantidades muy diversas, dependiendo del tipo de fertilizante.

En esta Parte XXV se compara, en un ensayo de macetas, el rendimiento de materia seca de ballica (*Loium perenne* x *L. multiflorum*) sembrada en 28 suelos, procedentes de la provincia de Cautín, con dos abonaduras NPKCaS. Presumiendo distintos grados de pureza para sus componentes, se integra la fórmula de fertilización citada en un caso con sustancias de pureza analítica, mientras en el otro caso se eligen abonos comerciales.

REVISION DE LITERATURA

Los microelementos disponibles para las plantas están contenidos en cantidades variables en los diferentes segmentos de la corteza terrestre (Kubota y Allaway, 1972). Además, se encuentran como sustancias químicas de distinta solubilidad (Krauskopf, 1972) y su distribución en el perfil de suelo es generalmente desuniforme (Benes, 1982; Willems, Pedersen y Jorgensen, 1981).

Debido a la variabilidad en textura, contenido de humus y reservas de macroelementos, Vaculik y Dostal (1981) distinguen diversos subtipos de suelos aluviales, de acuerdo a los cambios que tienen con la profundidad, el contenido, las reservas y la forma de distribución de las fracciones disponibles de los micronutrientes Mn, Zn, Cu, Co, B y Mo. Este efecto de la profundidad se manifiesta, pese a que los suelos aluviales empleados por ellos son homogéneos en el contenido de microelementos (Dostal y Vaculik, 1981a). Una complicación surge cuando un mismo horizonte del perfil presenta una gran variabilidad en el contenido de algunos microelementos y no de otros, como lo observan Afzal y Nordcliff (1982), en Inglaterra.

Por esta razón, se han hecho múltiples esfuerzos para asociar la distribución de los elementos trazas en los perfiles de suelos, con diversas características fáciles de reconocer. Entre los factores más relevantes, se puede mencionar:

- a. la roca madre subyacente del suelo formado (Butler, 1954; Mitchell, 1965; Oertel, 1961; Fleming, Gardiner y Ryan, 1963; Finch, Fleming y Ryan, 1964; Barragan e Iñiguez, 1973).
- b. el drenaje (Walsh, Ryan y Fleming, 1956; Mitchell, Reith y Johnston, 1957; Swaine y Mitchell, 1960).
- c. la materia orgánica (McLaren, Williams y Swift, 1983; Liberatti y Elliot, 1984; Benes, 1982).
- d. los óxidos de Fe y Mn (Obuhkovskaya, 1984; Liberatti y Elliot, 1984).

La concentración del Zn y de la mayoría de los demás cationes de elementos trazas presentes en los suelos ácidos es gobernada principalmente por procesos de adsorción y de desorción (Brunner, 1984) y no por reacciones de precipitación y disolución (Brunner y otros, 1983).

- e. las arcillas (Fushtey y Frank, 1981; Dostal y Vaculik, 1981b; McKenzie, 1957).
- f. la reacción del suelo (Yudintseva y otros, 1982; Kurdi y Doner, 1983).

Según Swaine y Mitchell (1960), Finch y otros (1964), Werigina y otros (1964) y Barragan e Iñiguez (1973), es la roca madre el factor pedogenético que influye más intensamente sobre el contenido de microelementos en el suelo. Sin embargo, Oertel (1961) y Tiller (1963) encuentran que las concentraciones de microelementos en el suelo no están relacionadas con su concentración en el material original, salvo en los lugares donde la intemperización de la roca madre es débil. La diversidad de resultados encontrados permite a Krauskopf (1972) la formulación de una hipótesis, por la cual el contenido de los microelementos en el suelo, al igual que el de los macronutrientes, parece estar estrechamente relacionado con la composición del material original en los estados iniciales de desarrollo del suelo, pero mucho menos en sus etapas finales. A su vez, las cantidades de microelementos del material original determinan su contenido en el suelo, pero no su distribución en el perfil de suelo, pues ésta queda definida por procesos de formación del suelo (Werigina y otros, 1964).

Pero, el contenido de elementos trazas también se ha estudiado en relación con su distribución relativa en las diferentes fracciones minerales del suelo (Le Riche y Weir, 1963; Connor, Shimp y Tedrow, 1957). Un mayor enriquecimiento de ellos se observa en las fracciones más finas (limo y arcilla), aunque esta tendencia es mucho menos notoria en los horizontes inferiores del perfil de un suelo bien drenado (Fleming y Ryan, 1964). Así, durante el proceso de formación de

suelo, por intemperización del material original, se introducen variadas modificaciones físicas y químicas, que dan origen a las correspondientes alteraciones en la concentración y distribución de los microelementos para las distintas partes del perfil de suelo, repercutiendo sobre su disponibilidad para las plantas (Hodgson, 1963).

Por tanto, es difícil hablar de una concentración promedio de los microelementos en el suelo, porque algunos muestran una marcada preferencia por acumularse en un cierto horizonte particular y no en otros, durante el desarrollo del perfil (Krauskopf, 1972; Willems y otros, 1981). Así se comprende que a menudo se atribuya la aparición de un problema con micronutrientes a su deficiencia o bien a su exceso en el material original (Hodgson, 1963).

Una complicación adicional surge cuando se hacen participar las especies vegetales, porque frecuentemente son evidentes las deficiencias de micronutrientes con ciertos cultivos, pero no con todos (Brown y otros, 1972). Para Kubota y Allaway (1972), la fertilización con micronutrientes es más común en cultivos de gran valor económico. Tal es el caso de los frutales y hortalizas, comparados con granos y forrajeras, porque los estudios más intensivos para conocer los requerimientos nutritivos han recaído sobre cultivos de gran retorno económico.

Las investigaciones con micronutrientes se asocian a dos problemas difíciles de subsanar. Ambos consisten en la imposibilidad experimental de remover completamente a un micronutriente determinado, en un caso de la semilla y en el otro del medio de crecimiento. Arnon (1950) recomienda resolver este problema mediante una selección de especies vegetales que tienen un gran requerimiento por un micronutriente específico (Wallace, 1953; Schenkel y Baherle, 1982) y usar, además, procedimientos de purificación capaces de reducir a un mínimo el nivel de contaminación en el medio de crecimiento. En la práctica, se traduce esta última recomendación en la elección de sustancias químicas de la mayor pureza analítica posible.

Entonces, cuando se investigan las deficiencias de micronutrientes, adquiere una gran importancia la pureza de las sustancias químicas usadas para las soluciones nutritivas (Hewitt, 1966) o para la fertilización directa de los suelos (Giesecke, 1954). La presencia de micronutrientes, como impurezas no detectadas en las sales químicas agregadas al suelo, previenen a las plantas de los efectos detrimentales de la deficiencia, permitiendo buenas producciones (Steward, 1963).

La naturaleza y la concentración de las impurezas en los reactivos de pureza analítica, pueden ser muy variadas y estar éstos a veces demasiado contaminados,

si no se contempla un tratamiento posterior de purificación (Hewitt, 1966). Este investigador sintetiza sus experiencias en las siguientes conclusiones:

- a. no hay ninguna garantía que un reactivo químico de algún grado de pureza, incluyendo al de mayor pureza analítica obtenible comercialmente, está libre de uno o más micronutrientes conocidos.
- b. las sustancias químicas de origen natural y comercializadas como fertilizantes, pueden contener a veces concentraciones, de Zn y de otros elementos químicos, menores que ciertos productos de pureza analítica.
- c. los fosfatos están con frecuencia intensamente contaminados con diversos microelementos, comparados con los nitratos; los compuestos de Mg aparecen con más impurezas que los potásicos (también, Mitchell, 1964).
- d. a veces es posible obtener partidas de cada macronutriente muy pobres en impurezas de micronutrientes, como para permitir la aparición de síntomas de deficiencia, sin la necesidad de someterlo a una purificación especial (también, Clark y Hill, 1958).
- e. los compuestos de Fe son fuentes notables de contaminación de micronutrientes (también Obuhovskaya, 1984; McLaren y otros, 1983).

Las cantidades disponibles en el suelo, inadecuadas para una nutrición óptima de las plantas y/o de los animales que las ingieren, pueden ser excesivas o insuficientes. Las aplicaciones abundantes de fertilizantes portadores de macronutrientes agotan gradualmente las formas asimilables de los microelementos originales del suelo, siendo necesario restituirlos (Di Gleria y Bartfay, 1964; Kowalenko, Maas y Vanlabhoven, 1980). Tampoco debe menospreciarse el enriquecimiento excesivo en el suelo de algún microelemento no deficiente, suministrado con intensa fertilización de macronutrientes que lo contienen en forma abundante (Anderson y Haklin, 1981; Mineev, Alekseev y Manzerova, 1982; Prasad, Singh y Sinha, 1980).

Los problemas detectados con la nutrición de los micronutrientes se analizan generalmente de acuerdo a su distribución geográfica (Beeson, 1945; Berger, 1962; Vlasyuk, 1964), porque la experiencia ilustra que a medida que se reconocen y corrigen las deficiencias de un nutrimento específico, otros se vuelven críticos para la producción vegetal (Kubota y Allaway, 1972). La combinación de los diversos factores causales específicos de la deficiencia, puede dar origen a la aparición de problemas locales o regionales con micronutrientes, según que comprometan a los suelos de una área restringida (nivel predial, por ejemplo) o a

una área muy extensa, respectivamente (Krauskopf, 1972).

La distribución geográfica de algunos de los problemas con microelementos ha sido notablemente alterada por la actividad humana (Kubota y Allaway, 1972). Algunos buenos ejemplos los constituyen los siguientes:

- a. la deficiencia de Zn inducida por la fertilización fosfatada.
- b. la deficiencia de B (Borlani, 1964; Kubota y Allaway, 1972) y de Mn (Finck, 1960), causada por el sobreencalado de los suelos ácidos.
- c. la deficiencia de Zn, presentada en manchas en ciertos suelos, originalmente con microrelieve, nivelados para el riego.
- d. la deficiencia de Mo, ofrecida por muchos cultivos solamente en suelos bastante ácidos, la cual desaparece cuando éstos se encalan.

Los factores climáticos se convierten en modificadores potentes de la intensidad con la cual se manifiesta la carencia, si no de todos, por lo menos de algunos micronutrientes (Lucas y Knezek, 1972). Un aumento de los daños causados por las deficiencias de B, Mn y Fe se observa casi invariablemente en los períodos secos, en relación a los encontrados en los mismos suelos en condiciones más húmedas (Wallace, 1953; Kubota y Allaway, 1972; Lucas y Knezek, 1972).

Otro factor, igualmente gravitante para alterar las condiciones de crecimiento de las plantas en los suelos afectados por una deficiencia o un exceso de uno o más micronutrientes, lo constituye su inclusión en el fertilizante comercial portador de los macronutrientes. Es relevante la notable observación hecha por Halvorson en 1954 (citado por Clark y Hill, 1958), según la cual, en ciertos suelos de Oregon, la respuesta a los superfosfatos producidos en el Oeste de los EUA supera a la de los superfosfatos manufacturados en el Este, debido a los mayores contenidos de Zn del producto elaborado con la roca fosfórica del Oeste (626—1280 vs. 0—100 ppm). También, Jacob (1953) muestra considerables diferencias, tanto para la naturaleza de los elementos químicos componentes como para su contenido, en la roca fosfórica procedente de distintos depósitos del mundo.

De entre los diferentes fertilizantes comerciales, Mitchell (1964) menciona a los fertilizantes fosfatados y al salitre sódico como aquéllos con mayor variación, ya sea en los elementos químicos constituyentes o en sus contenidos. El interés por los elementos acompañantes del fósforo subsiste actualmente y ha permitido observar diferencias en la composición de 16 rocas

fosfóricas de distinto origen y utilizadas en el proceso húmedo de la obtención de ácido fosfórico (Bradley, Woodis y Johnson, 1981). Tal variación se refleja, también, en la composición elemental de los fertilizantes, como puede observarse en el Cuadro 1.

No deben inducir a engaño los pequeños valores dados para algunos elementos químicos, desestimándolos porque sus contenidos son intrascendentes. Como ejemplo, la asociación "American Plant Food Control Officials" adoptó, para la mayoría de los estados federales de los EUA, la reglamentación que hace obligatoria rotular todo producto que contenga 0,0019/o de Mo o más, para que sirva de advertencia al usuario (Woodis y otros, 1980b). En consecuencia, debe aceptarse como una realidad que el empleo de un fertilizante fosfatado — igual sucede con otros — implica tácitamente la elección de una serie de otros microelementos acompañantes, suministrados por aquél. Pocas

veces se pondera el efecto correctivo o depresivo que tales impurezas pueden tener sobre la fertilidad de los suelos (Varma, 1974).

En el largo plazo, el uso de fertilizantes, enmiendas calcáreas o estiércol puede introducir cambios en la acumulación, de algunos, y agotamiento, de otros, microelementos (Prasad y otros, 1980; Albert y otros, 1981; Munk, 1980; Anderson y Haklin, 1981; Kowalenko y otros, 1980; Willems y otros, 1981. Para Mineev y otros (1982), no se modifica el contenido de metales pesados en el suelo (Mn, Fe, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb) suministrados con los fertilizantes portadores de macronutrientes, porque en el primer año desde su aplicación las plantas incorporan en sus tejidos a tales elementos. Maas (1980) se ha preocupado de calcular las cantidades de metales pesados aplicados a los suelos agrícolas belgas, con los principales fertilizantes usados.

CUADRO 1. Variaciones observadas en la composición (o/o) de algunos elementos para diversas muestras de fertilizantes (n) por los investigadores indicados

TABLE 1. Changes observed in the elemental composition of different fertilizer samples (n) analyzed by the given researchers

Elemento	CONTENIDO (‰)						Otros	
	Mitchell 1964 (53)	Mc Bride 1965a, b (8)	Mc Bride 1967 (7)	Pracht y Jones 1973 (8)	Benton 1982			
As	0-0,12							
B	0-0,07			0,016 — 0,092	0,023- 2,90 (16)	0,047 —0,2206	Melton y otros, 1978	
B						0,05 —0,276	(15) Woodis y otros, 1980a	
Ba	0-0,03					0,00288-0,0202	(8) Pickett y Pau, 1973	
Br	0-0,2							
Cr	0-0,5							
Cu	0-0,008	0,009 —0,470	0,0008- 1,33	0,023 — 0,055	0,002- 8,94 (8)	0,003 —0,4	(5) Jones y Pracht, 1971	
Cu		0,0015-0,620				0,0065 —0,0595	(5) Weble y Nance, 1960	
Cu						0,0004 —0,0138	(20) Clark y Hill, 1958	
I	0-0,0035							
Pb	0-0,02							
Mn	0-0,16	0,0039-0,325	0,020 — 1,49	0,04 — 0,540	0,025- 3,85 (19)	0,0001 —0,129	(3) Mortvedt y otros, 1981	
Mn		0,0196-0,704				0,07 —0,3	(4) Jones y Pracht, 1971	
Mn						0 —0,0245	(20) Clark y Hill, 1958	
Mn						0,0065 —0,027	Varma, 1974	
Sr	0-0,2							
Ti	0-0,14							
V	0-0,24							
Mg		0,0009-3,18	0,174 — 2,90	0,42 — 1,38	0,42 —14,06 (24)	0,257 —7,59	(25) Aten y otros, 1983	
Mg		0,164 —2,33						
Ca		0,0069-8,000	0,12 —12,96	2,74 —12,20	2,19 —13,75 (17)			
Fe		0,34 —3,47	0,539 — 4,72	0,35 — 0,68	0,350- 0,894 (15)	0,29 —8	(5) Jones y Pracht, 1971	
Fe		0,01 —5,21				0,233 —2,87	(12) Aten y otros, 1983	
Zn		0,0037-0,0702	0,011 — 1,59	0,053 — 0,93	0,025- 2,27 (18)	0,005 —0,0165	Varma, 1974	
Zn						0,028 —0,93	(5) Jones y Pracht, 1971	
Zn						0,330 —0,918	(7) Aten y otros, 1983	
Zn						0 —0,128	(20) Clark y Hill, 1958	
Mo				0,002 — 0,011		0,0013 —0,40	Woodis y otros, 1980b	
Mo						0,00018-0,003	(20) Clark y Hill, 1958	
Co				0,0024		0,0005 —0,945	(5) Hodgson y Lazar, 1965	
Co						0,0001 —0,0004	(20) Clark y Hill, 1958	
Cd						0,0002 —0,0153	(3) Mortvedt y otros, 1981	
Cd						0,00223-0,0118	Anderson y Haklin, 1981	
Na						0,0025 —1,447	(8) Corominas y otros, 1980	
Na						0,0022 —7,549	(9) Corominas y otros, 1980	

LITERATURA CITADA

- AFZAL, M. and St. NORDCLIFF. 1982. Variability of selected soil micronutrients in a single soil series in Berkshire, England. *J. Soil Science* 33 (4): 763–770.
- ALBERT, E.; ANSORGE, H. und JAUERT, R. 1981. Wirkung einer langjährigen Anwendung von konzentrierten Mikronährstoffdüngern und ballastreichen Einnährstoffdüngern auf Mikronährstoffgehalt und Mikronährstoffgehalt des Bodens. *Soil and Fertilizers* 44 (4): 334. Abstract 2893.
- ANDERSON, A. and HAKLIN, M. 1981. Cadmium effects from phosphorus fertilization. *Swedish J. Agricultural Research* 11 (1): 3–10.
- ARNON, D. 1950. Criteria of essentiality of inorganic micronutrients for plants with special reference to molybdenum. En: T. Wallace (ed), *Trace elements in plant physiology*. Waltham, Mass. Chronica Botanica, International Union Biological Sciences. Series B (Colloquium Nº 1).
- ATEN, C.; BOURKE, J. and WALTON, J. 1983. Determination of Mg, Fe and Zn in fertilizers by flame atomic absorption and by inductive coupled plasma emission spectroscopy. Comparison of methods. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 66 (3): 766–768.
- BARRAGAN, E. e IÑIGUEZ, J. 1973. Correlación cuantitativa de oligoelementos en suelos y roca madre. *Anales de Edafología y Agrobiología* 32 (1/2): 89–97.
- BEESEON, K. 1945. The occurrence of mineral nutritional diseases of plants and animals in the United States. *Soil Science* 60 (1): 9–13.
- BENES, S. 1982. Differences in microelement content in the topsoil and subsoil layers. *Soils and Fertilizers* 45 (2): 128. Abstract 1762.
- BENTON, J. 1982. Simultaneous determination of total boron, calcium, copper, iron, magnesium, manganese, phosphorus, potassium and zinc in fertilizers by inductively coupled argon plasma emission spectroscopy. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 65 (4): 781–785.
- BERGER, K. 1962. Micronutrient deficiencies in the United States. *J. Agriculture Food Chemistry* 10: 178–181.
- BORLANI, Z. 1964. The behavior of water soluble boron in limed soils. Bucharest, Romania. *Transactions 8th. International Congress Soil Science*, IV, 39: 357–365.
- BRADLEY, G.; WOODIS, F.; and JOHNSON, F. 1981. Simultaneous determination of aluminium, iron, calcium and magnesium in wet-process phosphoric acid by DC argon plasma spectroscopy. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 64 (1): 25–27.
- BROWN, J.; AMBLER, J.; CHANEY, R.; and FOY, C. 1972. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. En: J. Mortvedt, P. Giordano and W. Lindsay (ed), *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisc. Soil Sci. Soc. Am. p: 389–418.
- BRUNNER, G. 1984. Adsorption and desorption or precipitation and dissolution as processes determining the solution concentrations in soils. *Soils and Fertilizers* 47 (1/3), 10. Abstract 113.
- BRUNNER, G.; TILLER, K.; HERMS, U.; and CLAYTON, P. 1983. Adsorption-desorption and/or precipitation-dissolution processes of zinc in soils. *Geoderma* 31 (4): 337–354.
- BUTLER, J. 1954. Trace element distribution in some Lancashire soils. *J. Soil Science* 5: 156–166.
- CLARK, L. and HILL, W. 1958. The occurrence of manganese, copper, zinc, molybdenum and cobalt in phosphate fertilizers and sewage sludge. *J. Ass. Official Agricultural Chemists* 41 (3): 631–637.
- CONNOR, J.; SHIMP, N.; and TEDROW, J. 1957. A spectrographic study of the distribution of trace elements in some podzolic soils. *Soil Science* 83 (1): 65–73.
- COROMINAS, L.; BOY, V.; and GUIJOSA, M. 1980. Preliminary comparison of methods for determining sodium in fertilizers. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 63 (3): 551–553.
- COROMINAS, L.; BOY, V.; and ROSAS, P. 1981. Comparisons of methods for determining sodium in fertilizers. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 64 (3): 705–708.
- CHAVEZ, G.; ONETO, C. y MURUA, M. 1968. Determinación de micronutrientes en fertilizantes. Santiago, Chile. Universidad Técnica del Estado, Instituto Pedagógico Técnico. 43 p. (Tesis Profesor del Estado).
- DI GLERIA, J. und BARTFAY, E. 1964. Einfluss der Behandlung des Saatgutes mit biologisch aktiven Microelementen auf den Ernteertrag. Bucharest, Romania. *Transactions 8th. International Congress Soil Science*, IV, 43: 395–401.
- DOSTAL, P. and VACULIK, R. 1981a. Biochemical parameters of microelements (manganese, zinc, copper) in alluvial soils of the Moravia River (Czechoslovakia). *Biological Abstracts* 71 (6): 4412. Abstract 42101.
- DOSTAL, P. and VACULIK, R. 1981b. Available micronutrients manganese, zinc, copper, boron, molybdenum in soils. *Biological Abstracts* 71 (6): 4414. Abstract 42122.
- FINCH, T.; FLEMING, C.; and RYAN, P. 1964. Trace element status of soil developed from geologically different parent materials in Southwest Ireland. Bucharest, Romania. *Transactions 8th. International Congress Soil Science*, IV, 47. p: 425–434.
- FINCK, A. 1960. Principles and problems of the chemical estimation of the supply of available soil manganese. *Plant and Soil* 12 (1): 39–46.
- FLEMING, G.; GARDINER, M.; and RYAN, P. 1963. Influence of parent material on the physical and chemical composition of 3 Wexford soils. *Irish J. Agricultural Research* 2 (1): 37–48.
- FLEMING, G. and RYAN, P. 1964. Trace element distribution in whole soils and their mineral fractions. Bucharest, Romania. *Transactions 8th. International Congress Soil Sciences*, IV, 30: 297–308.
- FUSHTEY, S. and FRANK, R. 1981. Distribution of mercury residues from the use of mercurial fungicides on golf course grass. *Canadian J. Soil Science* 61 (3): 525–527.

- GIESECKE, H. 1954. Der Vegetationsversuch. Der Gefassversuch und seine Technik. Methodenbuch Band 9. Radebeul, Neuman Verlag. p: 5–173.
- HEWITT, E. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. 2nd. ed. Farnham, Bercksh., England. Commonwealth Agricultural Bureaux. 547 p. (Technical Communication N° 22).
- HIGNETT, T. 1979. Fertilizer Manual. International Fertilizer Development Center, United Nations Development Organization. 353 p.
- HODGSON, J. 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Advances in Agronomy* 15: 119–159.
- HODGSON, J. and LAZAR, V. 1965. Determination of cobalt in fertilizers. *J. Ass. Official Agricultural Chemists* 48 (2): 412–415.
- JACOB, J. 1953. (ed). Fertilizer technology and resources in the United States. Vol. III. New York, Academic Press. 454 p.
- JONES, C. and PRACHT, L. 1971. Collaborative study of a zincon ion exchange method for the quantitative determination of zinc in fertilizers. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 54 (4): 790–795.
- KHAN, N.; AHMAD, A.; NOMANI, N.; and AJMAL, M. 1982. Atomic absorption spectrophotometric studies of cadmium and zinc in commercial fertilizers, soils and river waters. *Soil and Fertilizers* 45 (6): 529. Abstract 6769.
- KOWALENKO, C.; MASS, E.; and VANLABCHOVEN, C. 1980. Residual effects of high rates of limestone, phosphorus, potassium and magnesium application: evidence of induced manganese and zinc deficiency in oats. *Canadian J. Soil Science* 60 (4): 757–762.
- KRAUSKOPF, K. 1972. Geochemistry of micronutrients. En: J. Mortvedt, P. Giordano and W. Lindsay (ed.). *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Soc. Am. p: 7–40.
- KUBOTA, J. and ALLAWAY, W. 1972. Geographic distribution of trace element problems. En: J. Mortvedt, P. Giordano and W. Lindsay (ed.). *Micronutrientes in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Soc. Am. p: 525–554.
- KURDI, F. and DONER, H. 1983. Zinc and copper sorption and interactions in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47 (5): 873–876.
- LE RICHE, H. and WEIR, A. 1963. A method for studying trace elements in soil fractions. *J. Soil Science* 14: 225–235.
- LIBERATTI, M. and ELLIOTT, H. 1984. Properties affecting retention of heavy metals from wastes applied to Northeastern U.S. soils. *Soils and Fertilizers* 47 (1/3): 12. Abstract 128.
- LUCAS, R. and KNEZEK, B. 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. En: J. Mortvedt, P. Giordano and W. Lindsay (ed.). *Micronutrients in Agriculture*. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Soc. Am. p: 265–288.
- MAAS, G. 1980. Estimation de la masse de métaux lourds déposés sur les sols agricoles belges par l'application d'engrais chimiques. *Revue de l'Agriculture* 33 (2): 329–336.
- McBRIDE, C. 1967. Determination of secondary and minor plant nutrients in fertilizers by atomic absorption spectrophotometry. Third collaborative study. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 50 (2): 401–407.
- McBRIDE, C. 1965a. Determination of minor nutrients in fertilizers by atomic absorption spectrophotometry. *J. Ass. Official Agricultural Chemists* 48 (2): 406–412.
- McBRIDE, C. 1965b. Determination of minor nutrients in fertilizers by atomic absorption spectrophotometry: Second collaborative study. *J. Ass. Official Agricultural Chemists* 48 (6): 1100–1103.
- McKENZIE, R. 1957. The distribution of trace elements in some South Australian red brown earths. *Australian J. Agricultural Research* 8: 246–252.
- McLAREN, R.; WILLIAMS, J. and SWIFT, R. 1983. The adsorption of copper by soil samples from Scotland at low equilibrium solution concentrations. *Geoderma* 31 (2): 97–106.
- MELTON, J.; HOOVER, W. and MORRIS, D. 1978. Argon plasma emission spectroscopic determination of boron in fertilizers. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 60 (4): 873–875.
- MINEEV, V.; ALEKSEEV, A. and MANZEROVA, E. 1982. Accumulation of heavy metals in soils as a result of applying high rates of mineral fertilizers. *Soils and Fertilizers* 45 (2): 127. Abstract 1751.
- MITCHELL, R. 1964. The spectrochemical analysis of soils, plants and related materials. Farnham Royal Buckstore, England. Commonwealth Agricultural Bureaux, Harpenden. p: 140–141. (Technical Bulletin N° 44).
- MITCHELL, R. 1965. Trace elements. En: F. Bear (ed). *Chemistry of the soil*, 2nd. ed. New York, Reinhold Publishing. p: 320–368.
- MITCHELL, R.; REITH, J. and JOHNSTON, I. 1957. Trace element uptake in relation to soil content. *J. Science of Food and Agriculture* 8: 51–59.
- MORTVEDT, J.; MAYS, D. and OSBORN, G. 1981. Uptake by wheat of cadmium and other heavy metal contaminants in phosphate fertilizers. *J. Environmental Quality* 10 (2): 193–197.
- MUNK, H. 1980. Influence of secondary elements in fertilizers. *Soils and Fertilizers* 43 (6): 496. Abstract 4526.
- OBUHKOVSKAYA, T. 1984. Mercury sorption by soil minerals. *Soils and Fertilizers* 47 (1/3): 12. Abstract 124.
- OERTEL, A. 1961. Relation between trace element concentrations in soil and parent material. *J. Soil Science* 12: 119–128.
- PICKETT, E. and PAU, J. 1973. Emission photometric determination of boron in unborated fertilizers, using the nitrous oxide–hydrogen flame. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 56 (1): 151–153.
- PRACHT, L. and JONES, C. 1973. New collaborative study of a zincon ion exchange method for the quantitative determination of zinc in fertilizer. *J. Ass. Official Analytical Chemists* 56 (4): 846–852.

- PRASAD, B.; SINGH, R. and SINHA, H. 1980. Accumulation and decline of some micronutrient elements with long term use of chemical fertilizers, lime and manure in multiple cropping. *J. Indian Society Soil Science* 28 (2): 263–264.
- SCHENKEL, G. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca con ensayos en macetas. II. Diagrama de fertilidad. Turrialba (Costa Rica) 21 (3): 263–271.
- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1982. Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos en macetas. II. Método usado con *Trifolium pratense*. *Agricultura Técnica (Chile)* 42 (3): 199–208.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P. y GAJARDO, M. 1985. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXIV. Comportamiento del magnesio en una fórmula de fertilización completa con 458 muestras de 399 suelos chilenos. *Agricultura Técnica (Chile)* 45 (2): 27–46.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H. y GAJARDO, M. 1982b. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXI. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia Biobío. *Agricultura Técnica (Chile)* 42 (1): 1–14.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H. y GAJARDO, M. 1974. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XVI. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia Magallanes, Continente. *Agricultura Técnica (Chile)* 34 (2): 68–83.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T. y GAJARDO, M. 1971a. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. VII. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia Cautín. *Agricultura Técnica (Chile)* 31 (4): 181–191.
- STEWART, F. 1963. *Plant Physiology, A Treatise*. New York, Academic Press, 811 p.
- SWAINE, D. and MITCHELL, R. 1960. Trace element distribution in soil profiles. *J. Soil Science* 11: 347–368.
- TILLER, K. 1963. Weathering and soil formation on dobrite in Tasmania with particular reference to several trace elements. *Australian J. Soil Research* 1 (1): 74–90.
- VACULIK, R. and DOSTAL, P. 1981. Soil properties and chemical composition of alluvial soils. *Biological Abstracts* 71 (6): 4413. Abstrac 42121.
- VARMA, A. 1974. Superphosphate as carrier of secondary elements—calcium and sulphur. *Soils and Fertilizers* 37 (1): 10–11. Abstract 99.
- VLASYUK, P. 1964. Mapping the content of minor elements in the soils of Ukrainian SSR and the efficiency of minor element fertilizers. Bucharest, Romania. *Transactions 8th. International Congress Soil Science*, IV, 35: 319–325.
- VOGEL, O. 1947. Contenido de calcio en los suelos chilenos. *Agricultura Austral (Chile)* 14 (170): 6452–6464.
- VOGEL, O. 1945. ¿Existe en realidad un problema de falta de calcio en nuestros suelos? *Agricultura Austral (Chile)* 13 (150): 5472–5475.
- WALLACE, A. 1953. *The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms*. New York, Chemical Publishing Co. 107 p. + 312 plates.
- WALSH, T.; RYAN, P.; and FLEMING, G. 1956. Cobalt deficiency in relation to weathering processes in soils. Paris. *Transactions 6th. International Congress Soil Science*, II, 53: 771–779.
- WARINGTON, K. 1946. Molybdenum as a factor in the nutrition of lettuce. *Annals Applied Biology* 33: 249.
- WEBLE, H. and NANCE, L. 1960. The determination of copper in fertilizers with 2,9-dimethyl-1,10-phenantroline. *J. Ass. Official Agricultural Chemists* 43 (3): 506–508.
- WEINBERGER, P. y WENZEL, H. 1973. El molibdeno en suelos de cenizas volcánicas (Chile) y su influencia en el metabolismo del nitrógeno de plantas de cultivo, especialmente en leguminosas. Turrialba (Costa Rica) 23 (2): 129–137.
- WERIGINA, K.; DOBRITZKAYA, J.; ZHURAWLEWA, E.; ORLOWA, L.; und SCHIRINSKAYA, M. 1964. Einfluss der Bodenbildung auf Zink, Kupfer, Kobalt und Molybdänverteilung in profilen der Hauptbodentypen des Europäischen Teils der UdSSR. Bucharest, Romania. *Transactions 8th. International Congress Soil Science*, IV, 48: 435–443.
- WILLEMS, M.; PEDERSEN, B.; and JURGENSEN, S. 1981. Accelerated leaching of some common and trace elements from soil mixed with sewage sludge or sludge ash. *Acta Agriculturae Scandinavica* 31 (3): 323–342.
- WOODIS, T.; HUNTER, B.; HOLMES, T.; and JOHNSON, F. 1980a. Argon plasma emission spectrometry of boron in fertilizers: comparison with spectrometric and distillation procedures. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 63 (1): 5–6.
- WOODIS, T.; HOLMES, J.; ARDIS, J.; and JOHNSON, F. 1980b. Argon plasma emission spectrometric determination of molybdenum in mixed fertilizers. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 63 (6): 1245–1247.
- YUDINTSEVA, Ye.; KHODOROVSKY, Yu.; ZYULIKOVA, A.; and SOKOLOVA, S. 1982. Behavior of 54 Mn and 65 Zn in soils. *Soviet Soil Science* 14 (3): 56–62.