

IDENTIFICACION DE MICRONUTRIENTES DEFICIENTES CON ENSAYOS DE MACETAS. IV. MEDIANTE *Trifolium pratense*, EN SUELOS DE LA PROVINCIA DE ARAUCO¹

Pot experiments for the identification of deficient micronutrients in Chilean soils. IV. Using *Trifolium pratense*, Arauco Province

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

SUMMARY

The deficiencies of B, Mo, Zn, Cu, and/or Mn were studied in 69 soils of the Arauco Province (South-central Chile). In general, multiple micronutrient deficiencies predominate.

Molybdenum deficiency was the most prevalent and intense. But soils deficient in all the other micronutrients studied were also detected. Though B deficiency showed the lowest frequency, it was very severe in some soils.

Only in two soils, deficient in micronutrients, the addition of Mo showed a depressive effect on yield. Manganese and B were identified as the micronutrients that showed a depressive effect in a larger number of soils, when added as a fertilizer.

Red clover was a good indicator for both excess and scarcity of micronutrients, when used without inoculation and no nitrogen. Though, in general, a good correspondence was observed when micronutrient deficiencies were determined with red clover and with ryegrass, there were some differential responses between species.

INTRODUCCION

Todos los micronutrientes pueden ser tóxicos a las especies vegetales, cuando se presentan a elevadas concentraciones (Hewitt, 1953 y 1954; Warrington, 1954; Patel, Wallace y Mueller, 1976; Wallace y otros, 1977b). Alguna duda existe respecto del Mo (Wallace y otros, 1977b), porque mientras las plantas son generalmente muy resistentes a la toxicidad de Mo (Johnson, 1966; Kubota, 1975), son en cambio muy susceptibles a sus excesos los animales de pastoreo (Eide, 1962, Johnson 1966; Alloway, 1973; Kubota, 1975).

Diversos factores pueden modificar la fitotoxicidad de los microelementos. Los agentes quelantes pueden incluso llegar a variar las cantidades absorbidas por las plantas, como ha sido observado para Fe, Cu, Co y Zn, entre otros elementos químicos (Wallace y Mueller, 1973). Se reconoce una función importante del Ca en la prevención o disminución de la toxicidad de los microelementos (Wallace y otros, 1977a). El Ca se caracteriza por su contenido relativamente elevado en las plantas, asociado a un requerimiento no muy superior al de un microelemento, y a una presencia siempre abundante en el suelo, aunque desuniforme (Bursström, 1968).

Al determinar la posible fitotoxicidad de los distintos micronutrientes, es necesario considerar el contenido de Ca en las plantas (Bursström, 1968; Lonergan y Snowball, 1969; Wallace y otros, 1977a). En las diversas condiciones ecológicas, pueden ser más trascendentales las consecuencias secundarias de la variación en el contenido de Ca, que las directas (Bursström, 1968). Por tal motivo, manifiestan generalmente poca

¹ Recepción de originales: 8 de junio de 1982.

² Fac. 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.

tolerancia, las plantas con bajas concentraciones de Ca, a ciertos microelementos (Wallace, Romney y Kinnear, 1977e). El uso de un exceso de carbonato de Ca, que aumenta el pH, no influye más sobre las concentraciones de los microelementos en las plantas de lo que hace el catión Ca (Wallace y otros, 1977a).

El empleo de abonos químicos con efecto fisiológico acidificante, tal como el sulfato de amonio, suele agravar los problemas de acidez en el suelo, intensificando los síntomas de toxicidad de Mn (Siman y otros, 1971); su efecto detrimento se corrige fácilmente mediante la aplicación de carbonato de Ca.

Los desórdenes de la deficiencia de Ca no son causados, necesariamente, por su deficiencia. Otros cationes o aniones acompañantes y las condiciones de transporte dentro de la planta, pueden tener una considerable influencia sobre la ocurrencia de los síntomas, sin desestimarse los efectos mutuos de unos nutrientes sobre otros (Bunemann y Ludders, 1970).

Los excesos de algunos microelementos, particularmente Zn, influyen sobre la traslocación del P y probablemente también sobre su absorción (Wallace y otros, 1977a), disminuyendo ligeramente las concentraciones de P en el tejido vegetal (Wallace y otros, 1977b; Wallace, Alexander y Chaudhry, 1977) y, a veces, también las de Mo (Wallace, Romney y Kinnear, 1977d). Se ha observado que grandes cantidades de fosfato dan origen a perturbaciones en la nutrición vegetal, debido a las interacciones Cu/P y Mo/P (Olsen, 1972). Elevadas dosis de fosfato, aplicadas a suelos derivados de cenizas volcánicas, producen un amarillamiento en las hojas jóvenes de alfalfa, debido a los bajos niveles de B foliar (Igarashi y otros, 1973).

Los antecedentes expuestos indican que, al trabajar con un único micronutriente aplicado sobre un sistema suelo-planta, se originan efectos directos e indirectos sobre el desarrollo de las plantas. Una mayor complicación surge en estas relaciones cuando se agregan, simultáneamente, varios microelementos, junto a los demás nutrientes, especialmente si el suelo soporta un cultivo que ha de servir a la nutrición ganadera. Por su relación con el tema de este trabajo, se ilustra con la dupla Cu—Mo.

En ovejunos (Alloway, 1973) y en vacunos (Thornton, Kershaw y Davies, 1972a y 1972b), se agrava la deficiencia de Cu, cuando son elevados los contenidos de Mo en el forraje. En estos casos, se obtiene buena respuesta a la suplementación regular con Cu, inyectado a los animales afectados (Eide, 1962; Thornton y otros 1972a y 1972b; Alloway, 1973), sin que el forraje pueda considerarse pobre en Cu, pues la causa radica en un exceso de Mo en la dieta. Por consiguiente, aunque los contenidos de Cu en las plantas son adecuados

a la nutrición vegetal, resultan insuficientes para la nutrición animal, por perturbaciones provenientes de la riqueza en Mo de tales suelos. Aunque se ignora el rol del Mo para disminuir la disponibilidad bioquímica del Cu a los animales, se sabe que en el heno es menos tóxico a los rumiantes que iguales contenidos altos en las plantas verdes, por lo que la henificación es una alternativa práctica para utilizar tales forrajes (Kubota, 1975).

Los suelos con alto contenido de materia orgánica, particularmente los turbosos recientemente recuperados o incorporados a la producción, son junto a los suelos arenosos, los más frecuentemente deficientes en Cu. Sin embargo, se necesita más Cu en los suelos ricos en humos, para la corrección de su deficiencia, que en los demás tipos de suelo (Sommer, 1945).

Una cabal interpretación de los efectos que producen los distintos tratamientos de fertilización con diversos microelementos, requiere de la información de un análisis elemental completo del tejido vegetal correspondiente, condición imposible de satisfacer, al momento de desarrollar el presente trabajo. Además, el análisis foliar de los microelementos no siempre ilustra sobre las toxicidades que pueden afectar a las raíces (Wallace y Cha, 1977; Furlani y Clark, 1981).

Una alternativa satisfactoria para estudiar los efectos depresivos causados por los micronutrientes, ya sea debidos a su deficiencia o a su toxicidad, la ofrece el diagrama de fertilidad (Schenkel, 1971), cuando se complementa con el criterio usado para definir los niveles críticos de deficiencia y toxicidad. Se ha definido el nivel crítico de deficiencia de un elemento (Ulrich, 1952; Ulrich y Hills, 1969 y 1973; Ohki y Ulrich, 1977) como la concentración en el tejido vegetal asociada con un 10% de disminución del crecimiento máximo, o como lo expresa Ulrich, citado por Munson (1977), la concentración crítica de deficiencia de un nutriente es el punto en el cual el crecimiento es un 10% menor que el crecimiento máximo. Por analogía, Ohki (1975) y Ohki y Ulrich (1977) definen al nivel crítico de toxicidad como la concentración máxima en el tejido vegetal asociada con un 10% de disminución en el crecimiento.

Las concentraciones críticas de deficiencia de un nutriente (Ulrich y Hills, 1973; Munson, 1977) y, por similitud, las de toxicidad, se determinan generalmente agregando cantidades crecientes de dicho elemento, asumiendo que todos los demás se encuentran presentes en cantidades óptimas.

La contaminación puede deberse a los excesos de un solo micronutriente (Suzuki, 1963/64; Valenzuela y Sepúlveda, 1977) o de varios, distribuidos en el suelo (Wallace y Romney, 1977). En el caso de toxicidades

múltiples (dos o más elementos, no necesariamente nutrimentos todos ellos) puede ocurrir que la depresión total sea estrictamente aditiva del efecto perjudicial parcial provocado por cada elemento (Wallace y otros, 1977c). También, puede suceder que se originen interacciones, donde se manifiesten efectos antagónicos y sinérgicos (Wallace y Romney, 1977). Para la dupla Cu/Zn, se determina un efecto tóxico sinérgico en *Phaseolus vulgaris*, porque se sobrepasa el efecto depresivo aditivo, cuando se aplican ambos microelementos juntos.

Por tanto, se dispone de una metodología simple para interpretar los resultados experimentales obtenidos para la identificación de micronutrientes deficientes, en suelos de la provincia de Arauco, mediante el diagrama de fertilidad (Schenkel, 1971). Primero se establece si la producción de trébol rosado de la abonadura completa supera a la del tratamiento respectivo, que excluye a todos los micronutrientes. Si esto ocurre, puede concluirse que el suelo dispone de una deficiencia de microelementos, ya sea simple o múltiple, ocurriendo en el caso contrario una toxicidad, que también puede ser simple o múltiple. Enseguida, incorporando los valores antes dados para definir las concentraciones críticas de deficiencia o de toxicidad, se podrán adaptar éstos a los coeficientes de posición del diagrama de fertilidad. Si el coeficiente de posición de una línea de fertilidad o de producción es inferior a $\log A = \log 90$, se estará frente a una deficiencia o toxicidad, grave o intermedia, según el comportamiento del tratamiento que no recibió micronutrientes. En los casos de toxicidad, sólo se mide la interacción final de todos los microelementos agregados.

MATERIALES Y METODOS

En macetas, se siembran 70 suelos, procedentes de la provincia de Arauco, con trébol rosado (*Trifolium pratense*), en la forma descrita por Schenkel y Baherle (1982). La experiencia se ejecuta en la Estación Experimental Carillanca (INIA), Temuco. Estos suelos fueron explorados anteriormente, para determinar las restantes deficiencias nutritivas (Schenkel, Baherle, Floody y Gajardo, 1982), oportunidad en la cual se indicó su procedencia y se entregaron algunas de sus propiedades.

Se incluyeron siete tratamientos de fertilización, de los cuales uno corresponde a abonadura completa, (nutrientes macro + micro + secundarios). Las otras seis abonaduras incompletas, se generan por la técnica del elemento faltante, en la forma señalada por Schenkel y Baherle (1982), por omisión de boro (-B), molibdeno (-Mo), cinc (-Zn), cobre (-Cu), manganeso (-Mn) y del conjunto de todos los micronutrientes (-micro). No se trabajó con Fe ni Cl.

Las fechas de siembra y otros antecedentes de siembra, se proporcionan en el Cuadro 1.

Las producciones de materia seca se recolectan durante cuatro cortes sucesivos, esperando un tiempo no inferior a cuatro semanas, entre dos cortes consecutivos. La interpretación de los resultados se hace por intermedio del diagrama de fertilidad (Schenkel, 1971), calculando gráficamente los coeficientes que caracterizan a las respectivas líneas de fertilidad y producción (Schenkel, Pino y Floody, 1971). Los coeficientes de las ecuaciones semilogarítmicas se proporcionan en el Cuadro 2 (son sólo 69, porque la muestra 9549 se extravió).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se interpretan con un criterio similar al utilizado en la discusión de los suelos de la provincia de Malleco (Schenkel, Baherle y Gajardo, 1982a). Se separan aquéllos para los cuales el tratamiento que omite a todos los micronutrientes tiene rendimientos de materia seca inferior al que se obtiene con la fertilización que los incluye. Como se indica en el Cuadro 2, se trata de suelos con deficiencia de al menos un microelemento; se contabilizan 50 muestras en esta situación. En otros 19 suelos no se determina deficiencia de micronutrientes, porque el índice de rendimiento del tratamiento que excluye conjuntamente a todos los microelementos supera al de la correspondiente fórmula completa.

Para cada uno de los grupos señalados en el Cuadro 2, se calculan los promedios de los coeficientes angulares y de posición de sus líneas de fertilidad, con el objeto de confeccionar los diagramas de fertilidad representados en la Figura 1. Por razones de claridad en la discusión, se procede a analizar cada grupo separadamente.

Cualquiera sea el conjunto de suelos considerados en la Figura 1, todas las líneas de fertilidad del Mo coinciden en acusar una considerable disminución en los rendimientos, cuando se excluye al Mo de la fertilización. Este diagnóstico se confirma, cuando se atiende a los bajos índices de rendimiento de la línea de fertilidad del Mo, para las muestras del Cuadro 2 separadas como deficientes en micronutrientes, donde sobresale la carencia de Mo. También, en las muestras sin deficiencia de micronutrientes (Cuadro 2 y Figura 1), origina problemas la exclusión del Mo de la abonadura, pues agrava las depresiones de rendimiento causadas por los demás micronutrientes aplicados. Estas disminuciones se pueden originar por una interacción negativa del Mo con alguno de los micronutrientes agregados (Olsen, 1972). La interacción, provocada por la adición de los restantes microelementos, se acentúa en

CUADRO 1. Antecedentes de la siembra de trébol rosado en el ensayo de macetas con micronutrientes en suelos de la provincia de Arauco

TABLE 1. Information on the Arauco Province soil samples included in the micronutrients pot study

Suelo Nº	gramos/maceta ¹	Humedad o/o ²	Lugar de procedencia
FECHA DE SIEMBRA 26.11.73			
8913	1550	17,0	Contulmo
8914	1600	26,4	Contulmo
8915	1550	23,3	Contulmo; Licura
8916	1550	16,5	Lanahue; Huiquehue
8917	1650	17,5	Peleo
8918	1700	20,7	Hostería Lanahue
8919	1600	22,4	Cañete; Lomas de Reputo
8920	1350	24,6	Cañete; Lienquehue
8921	1350	50,7	Cañete; Lienquehue
8922	1500	21,6	Cañete; Lencán—Boido
8923	1550	18,8	Cañete; Ponotro
8924	1550	23,4	Cañete; Valle Cayucupil
8925	1800	7,8	Cañete
8926	1550	19,1	Paicaví; Lioncao
8927	1500	22,0	Paicaví
8928	1600	26,3	Paicaví
8929	1550	23,3	Paicaví
8930	1400	37,3	Antiquina
8931	1600	21,3	Quidico
8932	1550	33,6	Quidico
FECHA DE SIEMBRA 11.10.73			
8933	1750	31,2	Relún
8934	1300	24,8	Quidico
8935	1500	13,0	Quidico
8936	1600	30,1	Tirúa; Licura
8937	1600	38,0	Tirúa
8938	1550	35,1	Tirúa
8939	1750	9,3	Cañete; Valle de Reputo
8940	1700	19,4	Cañete; Pucomayo
8941	1650	17,7	Cañete
8942	1650	20,3	Antiguala
8943	1600	21,5	Curanilahue
8944	1650	20,1	Curanilahue
8945	1650	19,2	Pilpilco
8946	1550	10,6	Nahuelbuta (1.130 m.s.n.m.)
8947	1750	13,3	Nahuelbuta (1.130 m.s.n.m.)
8948	1650	15,7	Nahuelbuta (1.090 m.s.n.m.)
8949	1550	15,7	Los Alamos; Ranquilco
8950	1500	35,9	Los Alamos
8951	1600	29,1	Los Alamos
8952	1500	27,4	Curicó
FECHA DE SIEMBRA 30.10.73			
8953	1800	25,5	Las Raíces
8954	1500	28,9	Lebu
8955	1550	29,2	Lebu
9523	1650	31,6	Villa Alegre
9524	1750	13,5	Lebu
9525	1700	24,2	Lebu
9526	1400	33,7	Los Alamos
9527	1550	29,0	Los Alamos; Pangue
9528	1500	27,5	Pehuén
9529	1750	24,1	Los Alamos
9530	1850	18,5	Quiapo
9531	1750	29,0	Quiapo
9532	1700	28,8	Quiapo

Continuación Cuadro 1. Antecedentes de la siembra de trébol rosado en el ensayo de macetas

Suelo No	gramos/maceta ¹	Humedad o/o ²	Lugar de procedencia
9533	1750	16,9	Quiapo
9534	1750	15,9	Melirupe
9535	1500	30,1	Villa Alegre
9536	1650	26,9	Los Alamos
9537	1650	22,6	Los Alamos
9538	1650	27,1	Villa Alegre
9539	1700	26,5	Villa Alegre; Colico
FECHA DE SIEMBRA 08.11.73			
9540	1650	22,0	Arauco
9541	1600	18,1	Antiguala
9542	1550	25,8	Antiguala
9543	1450	31,5	Alto Contulmo (515 m.s.n.m.)
9544	1650	23,2	Curanilahue
9545	1550	19,2	Carampangue
9546	1500	31,1	Carampangue
9447	1650	20,4	Carmapangue
9548	1650	23,6	Arauco; Villa Alegre
9549	1600	31,6	Arauco; Llico

¹ Cantidad de suelo húmedo agregado a la maceta.

² Contenido de humedad, expresado por 100 gramos de suelo seco.

CUADRO 2. Valores de la ecuación $\log Y = mX + \log A$ para las diferentes líneas de fertilidad de los micronutrientes con *Trifolium pratense* en suelos de la provincia de Arauco

TABLE 2. Parameters of the equation $\log Y = mX + \log A$ for the micronutrients fertility lines, determined with *Trifolium pratense*. Arauco Province

Suelo No	- Micronutrientes				- Boro		- Molibdeno		- Cinc		- Cobre		- Manganeso								
	Ballica*		Trébol		A	m**	A	m**	A	m**	A	m**	A	m**							
SUELOS CON DEFICIENCIA DE MICRONUTRIENTES																					
8913	83	+	89	85	+	61	130	+	116	74	+	64	68	+	360	95	-	161	60	+	481
8915	95	-	474	76	-	1237	77	-	1273	140	-	291	125	-	68	61	+	249	69	+	504
8916	72	-	528	92	+	440	135	-	303	76	+	283	148	-	1310	131	-	1182	130	-	430
8917	97	-	262	89	+	89	99	+	24	70	-	235	113	-	123	114	-	132	103	0	0
8918	75	+	80	78	+	58	105	-	106	70	-	11	101	-	55	90,5	0	95	0	0	0
8919	67	+	236	95	-	40	136	-	136	80	+	71	71	+	34	133	-	218	125	-	220
8921	68	-	154	73	+	311	40,5	+	621	102	0	53,5	+	389	88	+	129	35	+	867	
8922	100	0	21,5	+	894	101	-	37	61,5	+	73	95	-	33	85,5	-	63	104	-	131	
8923	89	+	62	63,5	+	212	125	-	225	77	+	87	60	+	203	105	-	64	84	+	43
8924	104	-	1039	36	+	211	107	-	95	37	+	737	100	+	14	81	+	176	106	0	0
8925	118	-	1223	87,5	-	675	134	-	636	157	-	273	97	0	93	-	215	170	-	388	
8926	94	-	427	56	+	143	81	+	87	46	+	43	47,5	+	290	100	-	176	107	-	60
8930	90,5	-	360	92	+	139	61,5	+	449	87,5	+	141	75	+	284	78	+	292	80	+	176
8931	105	-	161	62	+	246	82	+	112	63,5	+	88	78,5	+	170	100	-	51	101	-	7
8932	100	-	477	37	+	422	250	-	1486	74	-	109	100	-	194	130	-	300	213	-	670
8934	72	-	2225	84	+	46	109	+	7	49	+	704	93	-	70	86	-	32	97,5	0	0
8935	97,5	-	1160	95	-	179	122	-	540	96	-	115	107	-	155	113	-	60	120	-	97
8936	108	-	1302	57	+	343	97	-	15	70,5	+	203	92,5	-	24	54	-	55	79	+	159
8937	89	-	748	71	+	298	108	-	49	97	-	265	57	+	397	73	+	304	74	+	177
8939	110	-	1489	58,5	+	31	161	-	646	53	-	108	114,5	+	151	105	+	63	105	+	378
8940	95,5	-	651	73,5	+	36	108	-	167	79	+	36	100	-	112	97	-	182	60	+	301
8941	102	-	1968	75	-	225	80,5	+	214	71	0	88,5	+	77	84,5	+	24	59,5	+	403	
8942	82	-	1456	83	+	123	39	+	132	43	0	175	-	313	54	+	254	76,5	+	205	
8947	60	-	1881	54	+	92	108	-	96	65,5	+	454	30,5	+	676	106	+	34	145	-	323
8948	92	+	181	44,5	+	279	101	-	44	17,3	+	1137	74	+	272	91	+	84	94	+	90
8950	85,5	+	267	89	0	93	+	81	82	+	90	84	+	50	93	+	69	80	+	91	
8952	116	-	598	43	+	156	73	-	46	68	+	112	97	+	31	77	+	83	130	-	190
8954	104	-	209	91,5	0	50,5	+	473	100	-	56	54,5	+	453	93	-	109	74	+	274	
9523	86	-	504	68	+	141	75	-	285	62	+	318	39,5	+	232	75	-	50	109	-	121
9524	80	-	1282	86	+	71	79	-	73	51,5	+	484	77,5	+	201	80	+	202	87	+	134
9525	83	-	937	24,5	+	597	83	+	150	78	+	67	141	-	262	166	-	274	114	-	50

Continuación Cuadro 2. Valores de la ecuación $\log Y = mX + \log A$ para las diferentes líneas de fertilidad

Suelo Nº	-Micronutrientes				- Boro		- Molibdeno		- Cinc		- Cobre		- Manganeso	
	Ballica*		Trébol		A	m**	A	m**	A	m**	A	m**	A	m**
	A	m**	A	m**										
9527	85	- 1129	69	+ 181	109	- 110	77	+ 205	102,5	0	83,5	+ 130	110	0
9528	78	- 235	78	+ 292	105	+ 72	103,5	0	101	+ 28	93	+ 350	109	- 107
9529	82	- 641	56	+ 107	90,5	0	70	- 262	103,5	- 107	91	- 43	78	+ 144
9530	97	- 59	51	+ 294	105	- 30	64	+ 248	108	+ 45	95	0	100	+ 12
9531	120	- 1309	57,5	- 27	53	+ 457	98	- 97	106	- 97	62	+ 170	65	+ 170
9532	102	- 886	ensayo perdido con trébol rosado											
9533	107	- 1120	52	+ 311	100	+ 72	42,5	+ 514	63,5	+ 394	83,5	+ 184	88	+ 142
9534	106	- 382	78	+ 124	96	+ 10	62	+ 176	89	+ 12	97	- 115	125	- 126
9535	91,5	- 1832	15,5	+ 944	92	+ 55	22	+ 722	117	- 175	68,5	+ 116	83	+ 61
9537	90,5	- 503	18,3	+ 295	54,5	+ 119	28	+ 494	69	+ 207	46	+ 256	176	- 278
9538	104	- 982	40	+ 272	135	- 205	8,8	+ 1262	100	- 255	43,5	+ 217	47	+ 145
9539	104	- 1221	39,5	+ 478	32,5	+ 1210	39	+ 583	31	+ 716	46	+ 388	17,5	+ 1087
9540	78	- 743	30	+ 1174	96	+ 236	41,5	+ 943	52	+ 768	36,5	+ 1047	62,5	+ 536
9541	104	- 447	53	- 97	97	- 405	47	+ 341	90	- 22	101	0	160	- 371
9542	100	- 884	36	+ 510	83	- 76	36	+ 594	89	+ 16	71	+ 170	88	+ 48
9543	99	- 875	35	+ 807	49,5	+ 418	26,5	+ 813	86	+ 55	79	+ 127	82	+ 176
9544	109	- 1110	52	+ 388	52,5	+ 548	57,7	+ 350	57	+ 198	175	- 450	111	- 174
9545	98	- 928	68,5	+ 262	98	- 468	64,5	0	78	+ 183	84,5	+ 135	80	+ 225
9547	82,5	- 953	61	+ 230	74	+ 214	71	+ 162	71	+ 126	67	+ 190	26	+ 693

SUELOS SIN DEFICIENCIA DE MICRONUTRIENTES O CON INTERACCIONES NEGATIVAS PROVOCADAS POR SU ADICION

8914	81	- 601	115	- 405	126	- 73	61	+ 406	112	- 201	46,5	+ 481	153	- 387
8920	61	- 167	125	- 104	94	- 31	102	- 143	96	- 122	108	- 104	95	- 46
8927	115	- 528	111	- 89	97	- 69	77,5	- 47	101,5	- 25	89	- 77	98,5	- 5
8928	69	0	121	- 82	82	+ 101	99	+ 104	80	0	100	0	112	- 67
8929	60	- 201	101	0	110	- 67	82	+ 332	97	+ 36	108	+ 19	108	+ 55
8933	97	- 993	109	- 69	100	0	89	+ 10	103	- 51	101	- 19	93	+ 16
8938	110	- 935	120	- 305	109	- 87	103	- 107	117	- 134	130	- 207	115	- 121
8943	102,5	- 861	138	- 301	51	+ 474	78	+ 124	112	- 141	82	+ 104	117	- 81
8944	94	- 1438	220	- 778	86	+ 64	51	+ 372	140	- 328	180	- 798	167	- 619
8945	120	- 1726	135	- 139	63	+ 199	44	- 73	73,5	+ 160	54,5	+ 311	51	+ 294
8946	92	- 431	119	- 360	104	- 456	114	- 112	170	- 606	99	- 250	125	- 346
8949	95	- 102	125	- 231	97,5	+ 24,4	100	- 163,4	91	+ 29	122	- 180	53,5	+ 435
8951	105	- 652	133	- 264	67	+ 171	27	+ 449	20	+ 753	24,5	+ 474	72	+ 36
8953	110	- 1280	127	- 173	28,5	+ 829	20	+ 927	30,5	+ 740	57	+ 313	200	- 438
8955	116	- 408	182	- 560	160	- 530	156	- 536	111	- 151	119	- 143	145	- 323
9526	100	- 1624	106	- 72	76	+ 108	81	+ 100	78	+ 9	67	+ 245	77	+ 113
9536	108	- 798	300	- 1539	232	- 1075	70	- 77	77,5	+ 191	600	- 1342	501	- 1435
9546	104	- 816	105	- 212	147	- 372	98	- 166	90	0	135	- 193	203	- 506
9548	94	- 406	115	+ 106	85	+ 164	93	+ 166	100	- 79	96	- 104	98	+ 171

PROMEDIO GENERAL (n = 69)

94,1	- 736,3	82,9	+ 59,6	97,7	- 39,2	71,6	+ 174,5	91,8	+ 45,2	99,1	- 3,6	107,9	+ 6,6
------	---------	------	--------	------	--------	------	---------	------	--------	------	-------	-------	-------

PROMEDIO SUELOS DEFICIENTES (n = 50)

93,2	- 736,8	61,9	+ 196,5	96,6	- 41,6	67,9	+ 209,5	90,7	+ 75,9	92,8	+ 24,5	97,2	+ 74,2
------	---------	------	---------	------	--------	------	---------	------	--------	------	--------	------	--------

PROMEDIO SUELOS SIN DEFICIENCIA (n = 19)

96,5	- 735,1	137,2	- 293,5	100,8	- 32,9	81,3	+ 82,4	94,7	- 35,4	120,7	- 77,4	136	- 171,3
------	---------	-------	---------	-------	--------	------	--------	------	--------	-------	--------	-----	---------

* Resultados dados por Schenkel (1982b), para *Lolium perenne* x *L. multiflorum*.

** El coeficiente angular m debe multiplicarse por 10⁻⁵.

ausencia de Mo, para muestras que no pueden ser consideradas pobres en él. Sin embargo, Munson (1977) expresa que, cuando uno o más elementos intervienen con concentraciones excesivas, puede deberse a que otro es deficiente, limitando el crecimiento. No es de extrañar que los valores promedios de la Figura 1 insinúen, además, problemas en la disponibilidad de B, Zn

o Cu, en algunos suelos donde uno de estos nutrientes podría aparecer como segundo, tercero o cuarto microelemento deficiente, junto al Mo ya mencionado.

Para facilitar la interpretación de la incidencia que tienen las carencias de micronutrientes, se procede a clasificar sus deficiencias según la intensidad con la cual se

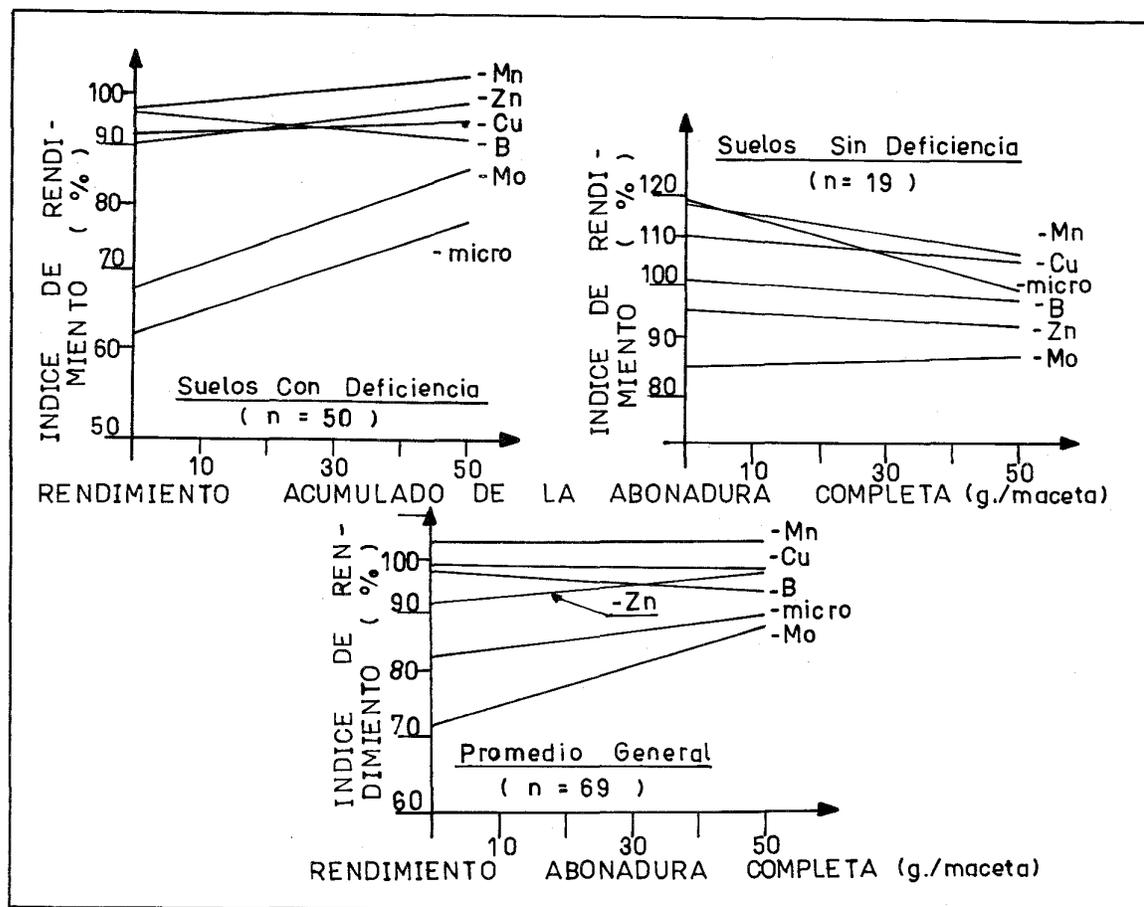


FIGURA 1. Líneas de fertilidad promedio obtenidas para 5 micronutrientes con *Trifolium pratense*. Arauco
 FIGURE 1. Average fertility lines, obtained with *Trifolium pratense*, for five micronutrients. Arauco Province.

presentan. Sirve a este propósito el valor del coeficiente A, que tiene cada líneas de fertilidad de los microelementos estudiados, en su ecuación semilogarítmica (Cuadro 2), cuando se aplica arbitrariamente la siguiente pauta: $A \leq 80$, deficiencia grave; $80 < A \leq 90$, deficiencia intermedia; $90 < A \leq 95$, deficiencia leve; $95 < A \leq 105$, sin deficiencia; $105 < A$, presencia excesiva.

La deficiencia leve indica que a bajos niveles de producción no hay deficiencias, pero que la deficiencia puede aparecer con un uso más intensivo del suelo.

Los resultados expuestos permiten reconocer diversas características en los suelos de la provincia de Arauco, pobres en microelementos:

1. El micronutriente más frecuentemente deficiente es el Mo, afectando a 41 de los 48 suelos, y donde su carencia debe calificarse como grave. Las mues-

tras 9535 y 8922 (Figura 2), demuestran que las líneas de fertilidad del Mo identifican su deficiencia, diagnóstico que se confirma con la carencia detectada en el tratamiento de fertilización sin micronutrientes. Se repite el resultado encontrado con muestras de la provincia de Malleco, donde también el Mo fue mayoritariamente deficiente (Schenkel y otros, 1982a).

2. Los suelos pobres en micronutrientes, generalmente presentan deficiencia múltiple, que coexiste con la de macronutrientes (Schenkel y otros, 1982b). De aquí surgen dificultades en la corrección de su fertilidad como ocurre con 42 suelos pobres en dos o más microelementos. Excepcionalmente, ocurren suelos deficientes en un único micronutriente: cuatro, con deficiencia grave en Mo, y dos, levemente deficientes en cobre (Cuadro 3).

3. El trébol rosado ha resultado ser una excelente

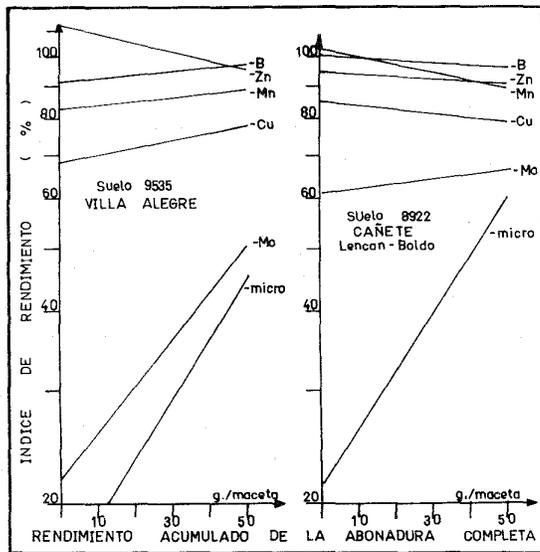


FIGURA 2. Deficiencia múltiple, de varios microelementos, que excluye al B. Arauco.

FIGURE 2. Multiple microelements deficiency, that excludes boron, Arauco Province.

planta indicadora de las disponibilidades de microelementos; su producción fue sensible, no sólo a la pobreza en el suelo, sino también a sus excesos (Figura 3). Se han detectado las carencias conjuntas de dos microelementos: Mo-Cu (27 muestras); Mo-Zn (26 muestras); Cu-Mn (23 muestras); Zn-Cu (21 muestras); B-Mo, B-Cu y Zn-Mn (18 muestras c/u); B-Zn y B-Mn (15 muestras c/u); así como, de tres, en un mismo suelo: Mo-Zn-Cu y Mo-Cu-Mn (18 muestras c/u); Zn-Cu-Mn (17 muestras); B-Cu-Mn y Mo-Zn-Mn (15 muestras c/u); B-Mo-Cu (14 muestras); B-Mo-Zn (13 muestras); B-Zn-Cu (12 muestras); B-Mo-Mn (11 muestras); y B-Zn-Mn (10 muestras).

4. Las duplas de micronutrientes deficientes más comúnmente encontradas son parejas que siempre excluyen al B e incluyen al Mo o al Cu. Quiere verse en esta característica el siguiente significado:

a. La identificación de las deficiencias de Mo y Cu, podrían no siempre corresponder a una pobreza de ambos microelementos, sino a una inadecuada relación entre sus cantidades disponibles. Con la fertilización de los diversos tratamientos, se adiciona algún microelemento en cantidad suficiente para inducir la deficiencia de Cu o de Mo, debido a las interacciones que

CUADRO 3. Intensidad de las carencias de los microelementos B, Mo, Zn, Cu y Mn en suelos deficientes de la Provincia de Arauco

TABLE 3. Intensity of the micronutrient (B, Mo, Zn, Cu, and Mn) deficiencies of soils from the Arauco Province

Suelo No	Intensidad de la deficiencia nutritiva según su coeficiente A				
	Grave A ≤ 80	Intermedia 80 < A ≤ 90	Leve 90 < A ≤ 95	Sin deficiencia 95 < A ≤ 105	Exceso 105 < A
8913	Mn, Zn, Mo	---	Cu	---	B
8915	Cu, Mn, B	---	---	---	Mo, Zn
8916	Mo	---	---	---	Zn, B, Mn, Cu
8917	Mo	---	---	B, Mn	Zn, Cu
8918	Mo	---	Cu	Mn, Zn, B	---
8919	Zn, Mo	---	---	---	B, Mn, Cu
8921	Mn, B, Zn	Cu	---	Mo	---
8922	Mo	Cu	Zn	B, Mn	---
8923	Zn, Mo	Mn	---	Cu	B
8924	Mo	Cu	---	Zn	Mn, B
8925	---	---	Cu	Zn	B, Mo, Mn
8926	Mo, Zn	B	---	Cu	Mn
8930	B, Zn, Cu	Mn, Mo	---	---	---
8931	Mo, Zn	B	---	Cu, Mn	---
8932	Mo	---	---	Zn	Cu, Mn, B
8934	Mo	Cu	Zn	Mn	B
8935	---	---	---	Mo	Zn, Cu, Mn, B
8936	Cu, Mo, Mn	---	Zn	B	---
8937	Zn, Cu, Mn	---	---	Mo	B
8939	Mo	---	---	---	Cu, Mn, Zn, B
8940	Mn, Mo	---	---	Cu, Zn	B
8941	Mn, Mo	B, Cu, Zn	---	---	---
8942	B, Mo, Cu, Mn	---	---	---	Zn
8947	Zn, Mo	---	---	---	Cu, B, Mn

Continuación Cuadro 3. Intensidad de las carencias de los microelementos

Suelo Nº	Intensidad de la deficiencia nutritiva según su coeficiente A				
	Grave A ≤ 80	Intermedia 80 < A ≤ 90	Leve 90 < A ≤ 95	Sin deficiencia 95 < A ≤ 105	Exceso 105 < A
8948	Mo, Zn	---	Cu, Mn	B	---
8950	Mn	Mo, Zn	Cu, B	---	---
8952	Mo, B, Cu	---	---	Zn	Mn
8954	B, Zn, Mn	---	Cu	Mo	---
9523	Zn, Mo, Cu, B	---	---	---	Mn
9524	Mo, Zn, B, Cu	Mn	---	---	---
9525	Mo	B	---	---	Mn, Zn, Cu
9527	Mo	Cu	---	Zn	B, Mn
9528	---	---	Cu	Zn, Mo, B	Mn
9529	Mo, Mn	---	B, Cu	Zn	---
9530	Mo	---	Cu	Mn, B	Zn
9531	B, Cu, Mn	---	---	Mo	Zn
9533	Mo, Zn	Cu, Mn	---	B	---
9534	Mo	Zn	---	B, Cu	Mn
9535	Mo, Cu	Mn	B	---	Zn
9537	Mo, Cu, B, Zn	---	---	---	Mn
9538	Mo, Cu, Mn	---	---	Zn	B
9539	Mn, Zn, B, Mo, Cu	---	---	---	---
9540	Cu, Mo, Zn, Mn	---	---	B	---
9541	Mo	Zn	---	B, Cu	Mn
9542	Mo, Cu, B	Mn, Zn	---	---	---
9543	Mo, B, Cu	Mn, Zn	---	---	---
9544	B, Zn, Mo	---	---	---	Mn, Cu
9545	Mo, Zn, Mn	Cu	---	B	---
9547	Mn, Cu, Zn, Mo, B	---	---	---	---
Resumen:					
B :	15	4	3	12	15
Mo :	39	2	0	6	2
Zn :	20	6	3	10	10
Cu :	17	8	9	6	9
Mn :	17	7	1	6	18

existen entre los nutrientes (Introducción). Especialmente cierta resulta esta interpretación para la deficiencia de las duplas Mo—Cu y Mo—Zn, caracterizadas por ser las más abundantes. Las deficiencias múltiples pueden vincularse con las interacciones Mo—Cu (Miels, 1966; McKay, Chipman y Gupta, 1966; Olsen, 1972) y Cu—Zn (Gilbey, Greathead y Gartrell, 1970; Olsen, 1972). También, elevadas cantidades de P, dan origen a veces a deficiencias de Cu, Zn o Mo, debido a las interacciones P/Cu, P/Zn o P/Mo (Olsen, 1972). Para suelos derivados de cenizas volcánicas, se inducirá una deficiencia de B, con grandes aplicaciones de fosfato (Igarashi y otros, 1973).

b. Las escasas parejas de micronutrientes deficientes encontradas (Cuadro 3), indicarían una adecuada disponibilidad de, a lo menos, uno de ellos en las condiciones naturales. Cuando se agrega una cantidad adicional de dicho micronutriente con la fertilización, pueden provocarse efectos adversos en el crecimiento de las plantas. Para los micronutrientes más abundantemente deficientes, habrá un menor número de muestras con trastornos por exceso (cantidades nativas del

suelo + incorporadas con la fertilización). Según el Cuadro 2, es precisamente lo que sucede, pues sólo dos muestras son depresivas a las aplicaciones de Mo, frente a 41 muestras pobres en dicho micronutriente, identificado como la principal deficiencia (Figura 2). Por otra parte, se determina para B y Mn el mayor número de muestras con efecto depresivo sobre el crecimiento de las plantas (Cuadro 3), sin duda causado por el exceso resultante de agregar cantidades adicionales a las ya adecuadas existentes en el suelo (Figura 3). Se trata precisamente de los dos microelementos cuyas deficiencias son más escasas. Cabe recordar que el efecto depresivo (cuadros 2 y 4) queda en evidencia por la mayor producción que se obtiene con el tratamiento de fertilización incompleta (sin dicho microelemento), que con la correspondiente abonadura completa.

Los nutrientes Cu y Zn tienen un comportamiento intermedio. Los suelos deficientes en ellos son menos numerosos que los con carencia de Mo, pero más abundantes que las muestras pobres en Mn y B. Análogamente, hay menos suelos que acusan una disminu-

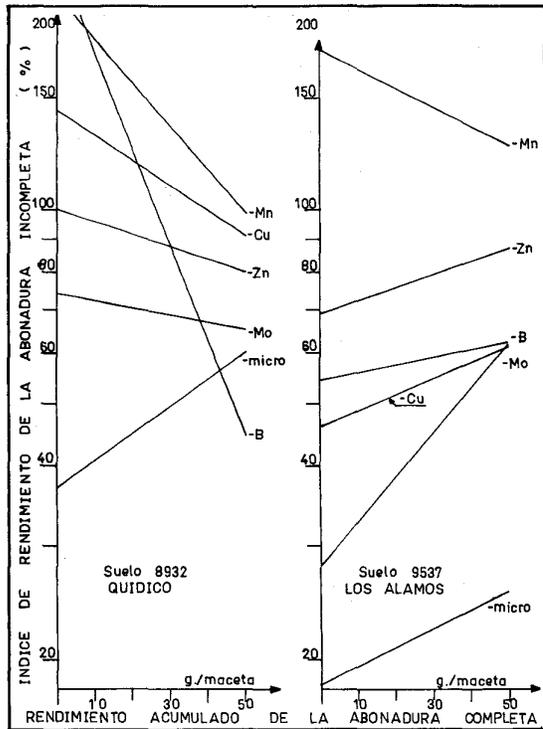


FIGURA 3. Efecto depresivo del Mn (9537) o del Mn, B y Cu (8932) en suelos con deficiencia múltiple. Arauco.

FIGURE 3. Depressive effect of Mn (9537) or Mn, B and Cu (8932) in soils with multiple deficiency. Arauco Province.

ción de rendimiento originada por la adición de Mo, que por la de Cu o Zn, sin que estos últimos superen en número, a las muestras afectadas por los excesos de Mn o de Cu (Cuadro 3).

c. El número de suelos bien provistos en cada uno de los microelementos es mayor para B (12 muestras) y Zn (10 muestras), que para Mo, Cu o Mn, todos los cuales presentan suficiencia en seis muestras, aunque afectando a distintos suelos. Si a estas cifras se suman las muestras identificadas con un exceso de algún micronutriente (Cuadro 3), se advierte cuán inadecuada es la aplicación irrestricta de todos los microelementos a cualquier suelo de Arauco que presente deficiencia en algún microelemento. Este problema se complica aún más, cuando se toman en cuenta los suelos "sin deficiencia de micronutrientes", además de los que la tienen (cuadros 2, 3 y 4).

Pareciera prudente abstenerse todavía de emplear una fertilización con micronutrientes en los suelos de la provincia de Arauco, hasta mientras no se perfeccione la técnica capaz de dar, a nivel predial, una buena asesoría para el correcto uso de los micronutrientes deficientes. Existe aún una larga experimentación por desarrollar, antes de poder dar exitosamente la asisten-

cia técnica requerida. Es insuficiente saber que la aplicación de Mo tiene más probabilidades de mejorar los rendimientos que las adiciones de B o de Mn. Entre otras razones, se desconocen las relaciones mutuas entre nutrientes y, también, su efecto sobre la nutrición animal, por ejemplo, por un exceso de Mo, como se expusiera en la Introducción.

5. Para ocho suelos, hay una deficiencia nutritiva múltiple, integrada por los cinco microelementos (suelos 8921 y 9547, en Figura 4). Generalmente, se trata de las mismas muestras que tienen una falta de B-Mo-Zn-Mn. Es mayor el número de suelos que disponen de los demás cuartetos de microelementos conjuntamente deficientes en un mismo suelo. Se determina: 10 muestras para cada uno de los cuartetos: B-Mo-Zn-Cu y B-Zn-Cu-Mn; 11 muestras para B-Mo-Cu-Mn; y 14 muestras para Mo-Zn-Cu-Mn. Esto sugiere que la deficiencia de B no es la más frecuente, aunque puede llegar a ser extremadamente grave, como ocurre con las muestras de Antigua y Cañete-Llenquehue (Figura 4).

CUADRO 4. Efectos de microelementos agregados al suelo de macetas en que no se detectó su deficiencia sobre el crecimiento de *Trifolium pratense**

TABLE 4. Effects of microelements added to the soil of pots not showing deficiency, on *Trifolium pratense* growth

Suelo Nº	Microelemento identificado como**		
	Depresivo	No depresivo	Dudoso
8914	Mn, B	Zn	Mo, Cu
8920	varios	?	todos
8927	varios	? (¿Zn?)	todos
8928	varios	? (¿Mn?)	todos
8929	B, Cu, Mn	Zn	Mo
8933	varios	? (¿Zn, B, Cu?)	todos
8938	Cu	Zn, Mn, (¿Mo?)	B
8943	varios	?	todos
8944	varios	?	todos
8945	varios	?	todos
8946	Zn, Mn	Mo	Cu, B
8949	varios	Cu	B, Mo, Zn, Mn
8951	varios	?	todos
8953	Mn	?	B, Mo, Zn, Cu
8955	varios	?	todos
9526	varios	?	todos
9536	Cu, Mn	?	B, Mo, Zn
9546	Mn, B, Cu	?	Mo, Zn
9548	varios	?	todos

* Se usan los coeficientes de posición de cada línea de fertilización, pero transformados en función del rendimiento de la fertilización incompleta (por omisión de todos los microelementos) en vez del rendimiento de la abonadura completa.

** Depresivo: $A > 105$; no depresivo: $95 < A < 105$; dudoso: $A < 95$.

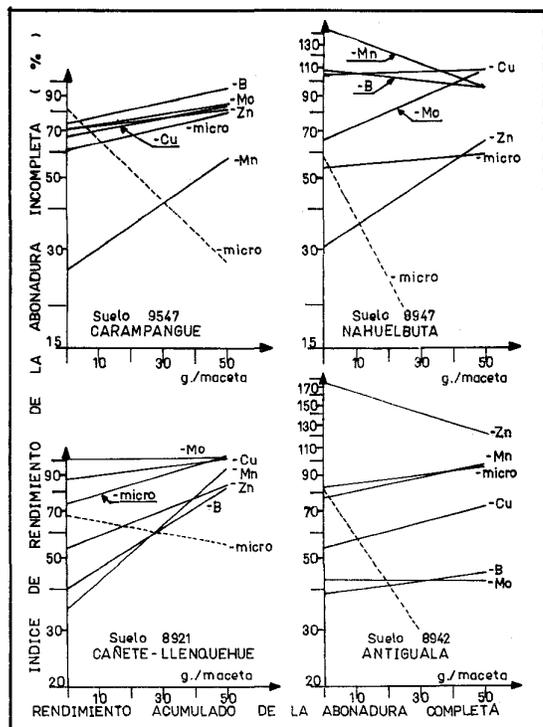


FIGURA 4. Deficiencia múltiple, detectada con trébol rosado (—) y con ballica (---), cuando se omiten varios microelementos. Arauco.

FIGURE 4. Multiple deficiency, detected with red clover (—) and ryegrass (---), when the microelements are omitted. Arauco Province.

Tal vez sea apropiado atacar los problemas de fertilidad en los suelos de Arauco con el criterio aplicado por Kline (1954), en Australia, partiendo de la base que todo suelo de la región tiene problemas de fertilidad derivados de una deficiencia nutritiva múltiple, que puede incluir a todos los macro y micronutrientes. Solamente una vez que se determina la suficiencia de un nutriente, se le excluye de la fórmula de fertilización. Para hacer realidad esta concepción, se necesita disponer de un método de análisis, aplicable a toda la región y a las diversas plantas cultivadas (agrícolas, forrajeras y forestales), capaz de entregar con rapidez y confiabilidad una información, a nivel predial, sobre los problemas de fertilidad.

En el Cuadro 2, también, se ha incluido a otro grupo de suelos, para los cuales no hay deficiencia de micronutrientes, porque se determinan menores producciones con el tratamiento abonadura completa, que con la correspondiente fertilización incompleta, por falta de todos los micronutrientes. Esto significa que uno o varios micronutrientes, agregados con la fertilización completa, deprime los rendimientos de materia

seca, porque el suelo ya rico en él (o ellos), ofrece una cantidad excesiva a las plantas, cuando se le suma la cantidad agregada con el abono.

El cálculo del índice de rendimiento se hace tradicionalmente comparando las producciones de cualquier tratamiento con el de la abonadura completa, por partir de la premisa que con ésta se alcanza la fertilidad óptima del suelo. Ciertamente, no se cumple con esta condición cuando hay un mayor rendimiento de materia seca con un tratamiento de fertilización incompleta. En consecuencia, resulta más correcto calcular los índices de rendimiento, de las muestras sin deficiencia de micronutrientes, en función de la producción del tratamiento sin micronutrientes, que en relación a la de la abonadura completa, como rige para los demás suelos con carencia de micronutrientes. Una y otra producción corresponden a un rendimiento que puede ser considerado óptimo.

Un análisis de la situación creada para cada microelemento y con todos los suelos, se hace en el Cuadro 4, previa transformación de los coeficientes de posición de las diversas líneas de fertilidad, en la forma antes descrita. Cuando todos estos coeficientes (cinco micronutrientes) son inferiores a 95, se deduce que hay por lo menos dos microelementos que son depresivos al trébol rosado, si se agregan al suelo. Sin embargo, no es posible identificarlos. En efecto, para conocer la línea de fertilidad de uno cualquiera de ellos, se suprime dicho micronutriente en la fórmula de fertilización, causando él o los restantes microelementos agregados una depresión de rendimiento, por una excesiva disponibilidad para el trébol rosado. De ninguna manera se puede inferir que exista una deficiencia de cualquiera de estos micronutrientes depresivos, porque cuando se omiten todos ellos en la fertilización, superan al rendimiento obtenido con la abonadura completa. Por este motivo se colocan "varios" en la columna que identifica a los microelementos depresivos del Cuadro 4. Se puede afirmar con seguridad que hay, a lo menos, dos micronutrientes que disminuyen los rendimientos cuando se agregan al suelo, siendo imposible precisar cuales son.

De los 5 microelementos ensayados (B—Mo—Zn—Cu—Mn), se consideran "no depresivos" a aquéllos cuya línea de fertilidad se caracteriza por poseer un coeficiente de posición transformado comprendido entre 95 y 105, por estimarlo igual al de la fertilidad potencial, cuando se tolera un error de $\pm 5\%$ en la experimentación. Puede ser motivo de reflexión, si estos valores límites no debieran ser 90 y 110% respectivamente, en razón de los argumentos dados en la Introducción (Ulrich y Hills, 1973; Ohki y Ulrich, 1977).

Cuando existen dos microelementos depresivos, por ejemplo Cu y Mn en la muestra 9536 (cuadros 2 y 4),

sucede a menudo que su adición al suelo provoca disminuciones de rendimiento, que se agravan cuando están ausentes de la abonadura el Mo o el Zn, ambos antagonistas del Cu (Olsen, 1972) y del Mn (Wallace y otros, 1977b), respectivamente, en relación a la depresión más moderada observada cuando se agrega Mo y Zn, pero se omite al B. De ningún modo se puede inferir que exista una deficiencia de B, Mo o Zn, pues los rendimientos de la abonadura que excluye a todos los micronutrientes supera a la producción de la fertilización que los incluye. Se trata más bien de desbalance entre nutrientes. Wallace y otros (1977d) han encontrado, en *Phaseolus vulgaris*, que en presencia de bajos niveles de Ca, es fácil provocar una toxicidad de Cu. Igual efecto se ha observado sobre la toxicidad de Mn (Burström, 1968; Robson y Loneragan, 1970; Wallace y otros, 1977a). Esta causa se elimina en el presente trabajo, por las fuertes adiciones de fosfato de calcio, que se hacen al suelo de cada maceta (Schenkel y Baherle, 1982).

A veces es posible identificar a un microelemento no depresivo (por ejemplo Mo o Cu, en las muestras 8946 y 8949), pero sin que sea posible clasificar a los demás. En los casos mencionados, es posible sostener que tanto el Zn como el Mn son depresivos en la muestra 8946, pero subsistiendo la duda para los microelementos Cu y B. Esta situación se produce porque se considera depresivo al micronutriente cuyo coeficiente de posición (A), en la línea de fertilidad, supera al valor 105, condición que se cumple para Zn y Mn, pero no para B y Cu. Los tratamientos de las líneas de fertilidad del B y del Cu incluyen a los microelementos depresivos Zn y Mn, en la muestra 8946. Una mayor complejidad tiene la muestra 8949, donde aparte de sostener que el Cu no es depresivo, hay una absoluta imposibilidad para clasificar a los demás microelementos, según la pauta aplicada en el Cuadro 4.

Generalmente son buenas las existencias de Mn, B y Cu (Cuadro 4), pues aparecen como los microelementos más frecuentemente identificados como depresivos, cuando se agregan con el fertilizante. Su significado es que los suelos respectivos disponen de cantidades suficientes para la adecuada nutrición del trébol rosado, haciendo perjudicial un aumento adicional. Curiosamente, se confirma por esta vía el mismo resultado encontrado anteriormente con el Cuadro 3, cuando se concluye que pocas muestras de Arauco son pobres en B y Mn. La toxicidad de Mn se desarrolla fácilmente en algunas leguminosas, cuando se producen condiciones climáticas extremas, que influyen sobre la disponibilidad de agua; así ocurre con suelos inundados, debido a lluvias intensas y, también, cuando los suelos se exponen a una sequía prolongada, con tiempo caluroso (Siman, Cradock y Hudson, 1974). Ninguno de los dos casos se presentó en la presente experiencia, porque se controlaron los riegos.

Por cuanto son ácidos todos los suelos incluidos en este trabajo, es oportuno recordar que el problema más importante que se presenta con microelementos en estos, dice relación con las toxicidades de Al y de Mn y con la escasa disponibilidad de Mo (Pearson y Adams, 1967). Aquí se comprueba que la deficiencia de Mo se convierte en la más abundante carencia de micronutrientes, mientras la falta de Mn es muy ocasional, en oposición a la gran frecuencia con la cual se comprueba su exceso (Figura 3). Pero ambos aspectos negativos de los suelos ácidos no se manifiestan con la misma intensidad en las diversas especies vegetales. También, las variedades difieren considerablemente en su tolerancia al exceso de Al (Furlani y Clark, 1981) y de Mn (Jackson, 1967; Andrew y Hegarty, 1969), del mismo modo que presentan una respuesta diferencial a las deficiencias de B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn (Reith 1968; Brown y otros, 1972; Viets y Lindsay, 1974).

Parece interesante comparar los índices de rendimiento determinados con las dos especies usadas en los mismos suelos de Arauco, aunque sembrados en distinta fecha. En el Cuadro 2 se han indicado los resultados obtenidos con *Lolium perenne* x *L. multiflorum* (Schenkel y otros, 1982b) y también, los encontrados con *Trifolium pratense*, para el tratamiento que no recibe a ningún micronutriente, aunque se fertiliza con todos los demás nutrientes. En la Figura 4 se representan los diagramas de fertilidad de las muestras 9547, 8947, 8942 y 8921, todas con deficiencias múltiples de micronutrientes. Los suelos graficados tienen una mayor pendiente negativa con ballica que con trébol rosado, lo cual indicaría una menor capacidad de utilización del micronutriente carencial, por parte de la gramínea. Los coeficientes de posición tienden a ser mayores para la leguminosa, que en el caso del Mo se explica por la mayor cantidad de Mo que contiene la semilla leguminosa, respecto de la gramínea (Reisner, Walsh y Hoeft, 1974).

En lo principal, concuerda el diagnóstico, efectuado separadamente en base a cada una de las dos especies, para saber si las disponibilidades de micronutrientes en los cuatro suelos de la Figura 4 son suficientes o deficientes. Tal coincidencia es mayoritaria en los suelos de la provincia de Arauco, pero no siempre rigurosa, como ocurre por ejemplo con las muestras 8922, 8917, 8920 y 8928 (Cuadro 2). Las discrepancias poco frecuentes pueden explicarse, al menos parcialmente, por las respuestas diferenciales de estas especies a las deficiencias o excesos de micronutrientes (Andrew y Hegarty, 1969; Brown y otros, 1972) u otros elementos químicos no esenciales contenidos en el suelo (Vose y Randall, 1962; Wallace y otros, 1977; Furlani y Clark, 1981).

CONCLUSIONES

El empleo de 69 muestras de suelo, recolectadas en la provincia de Arauco y sembradas en un ensayo de macetas con trébol rosado, permite obtener las siguientes conclusiones:

1. En base al índice de rendimiento de la fórmula de fertilización completa sin adición de micronutrientes, es posible separar los suelos con deficiencia de micronutrientes de los que no la tienen.
2. El trébol rosado se comportó sensible para detectar las deficiencias nutritivas de los micronutrientes B, Mo, Zn, Cu y Mn. Ello ocurre en ausencia de una fertilización nitrogenada y prescindiendo de la inoculación.
3. Más de la mitad de los suelos investigados presentaron deficiencia grave en alguno de los microelementos citados; en 37 muestras se calculó un valor de su coeficiente de posición (A) inferior a 80%, cuando se omiten todos los microelementos pero se agrega PKSCaMg. Todos los fertilizantes agregados corresponden a sustancias químicas de pureza analítica.
4. Generalmente predominan las deficiencias múltiples de microelementos, asociadas a las posibles carencias de macroelementos. Excepcionalmente se encuentran suelos pobres en un único microelemento: Mo y Cu, en 4 y 1 muestras, respectivamente. Por consiguiente, la corrección de la fertilidad de los suelos de la provincia de Arauco está asociada a dificultades, por coexistir una pobreza de macronutrientes junto a la de por lo menos dos micronutrientes, cuya identificación es previa.
5. La deficiencia de Mo no solamente es la de mayor ocurrencia, sino que también la más intensa. Cuando se separan los 15 suelos con menores valores de A, para el tratamiento sin ningún micronutriente (Cuadro 3), se comprueba que, también, el Mo es la carencia más grave de microelementos, a veces acompañada por una gran pobreza en otro.
6. Pocos suelos son deficientes en B y Mn, siendo la deficiencia de B la menos frecuente, aunque puede llegar a ser extremadamente grave. Similar conclusión se había obtenido en la provincia de Malleco. El número de muestras bien provistas con B es 12 y supera a los 10 suelos, con deficiencia de micronutrientes, que tienen suficiente Zn.
7. Los dos microelementos más frecuentemente deficientes en un mismo suelo, incluyen al Mo o al Cu en todos ellos. Esta característica podría significar que:
 - a. una inadecuada relación entre sus cantidades disponibles para la nutrición de las plantas puede provocar la manifestación de deficiencia del micronutriente menos favorecido en la relación, por la interacción que hay entre ellos, y no debe atribuirse siempre a su pobreza en el suelo.
 - b. para los micronutrientes más abundantemente deficientes, habría un menor número de muestras donde las cantidades nativas del suelo sumadas a las incorporadas con la fertilización, provocan trastornos en la nutrición de las plantas. Solamente dos muestras son depresivas a las aplicaciones de Mo, frente a 41 muestras pobres en él.
8. En ocho suelos se identifica una deficiencia nutritiva múltiple, integrada por los cinco micronutrientes, B, Mo, Zn, Cu y Mn.
9. En presencia de bajos niveles de Mo o Zn, es fácil producir disminuciones de rendimiento por la adición de Cu o Mn, particularmente cuando hay abundancia de B.
10. El trébol rosado es, además, una excelente planta para detectar la presencia excesiva de algunos microelementos en los suelos, comprometiendo preferentemente al Mn y al Cu, en por lo menos 15 suelos. Sólo excepcionalmente fue depresiva la adición de Mo en suelos que no presentan deficiencia nutritiva de ningún microelemento.
11. Las más escasas parejas de micronutrientes conjuntamente deficientes (B y Mo), indican una adecuada disponibilidad de al menos uno de ellos en las condiciones naturales del suelo. Al aplicar una cantidad adicional de éste, a las ya existentes en el suelo, se originan efectos perjudiciales sobre la nutrición del trébol. Al sumarles a éstas las muestras con un exceso de algún micronutriente, se advierte cuán inadecuada es la aplicación irrestricta de todos los microelementos, a cualquier suelo de Arauco que presente alguna deficiencia de microelementos.
12. Los suelos de la provincia Arauco disponen en general de abundancia de Mn, B y Cu, pues aparecen como los microelementos más frecuentemente identificados como depresivos, cuando se agregan con la fertilización.
13. La toxicidad de Mn *in situ*, puede verse favorecida por condiciones climáticas o de riego, que mejoren la disponibilidad de agua y con ello, aumenten la actividad del Mn. La falta de Mn es muy ocasional, en oposición a la frecuencia con la cual se comprueba su exceso, característica común de observar en los suelos ácidos.

14. Para el grupo de suelos que no tienen deficiencia de micronutrientes, se determinan menores producciones de trébol rosado con el tratamiento fertilización completa que con la abonadura incompleta, a la cual faltan todos los microelementos. Por esta razón es más correcto calcular los índices de rendimiento de estas muestras particulares, en función de la producción del tratamiento fertilización completa sin micronutrientes, que en relación a la abonadura completa, como rige para los demás suelos, con carencia de micronutrientes. Una y otra producción se aproximan más a un rendimiento que puede ser considerado óptimo.

15. El diagnóstico de deficiencias de micronutrientes, efectuado separadamente con trébol rosado y con ballica, concuerda para gran número de suelos, aunque no coincide en todos ellos. En general, se observa una mayor pendiente negativa con *Lolium perenne* x *L. multiflorum*, que con *Trifolium pratense*, en la respectiva línea de fertilidad. Esta diferencia puede atribuirse a respuestas diferenciales de ambas especies a la deficiencia de micronutrientes esenciales o bien, a una distinta tolerancia a cantidades abundantes de estos micronutrientes o de otros elementos químicos, no esenciales para la nutrición de las plantas, contenidos en el suelo que no recibe micronutrientes.

RESUMEN

En un ensayo de macetas con *Trifolium pratense*, se identifican deficiencias de B, Mo, Zn, Cu y Mn, en 69 muestras de suelo de la provincia de Arauco. El diagnóstico de deficiencias se hace por intermedio del diagrama de fertilidad.

Una comparación entre las producciones de m.s. obtenidas con la abonadura completa (PKCaMgSBMoZnCuMn) y con la fertilización incompleta (PKCaMgS), permite separar los suelos con deficiencia de micronutrientes de aquéllos que no la tienen.

En general, predominan las deficiencias múltiples de micronutrientes, que junto a las respectivas carencias de macronutrientes previamente identificadas, confieren gran complejidad a los problemas de fertilidad de la provincia de Arauco.

El Mo es la deficiencia más abundante (41 muestras), entre todos los micronutrientes, y la más intensa. Sin embargo, se han encontrado suelos deficientes en todos los micronutrientes investigados, estos es: en Cu

(34), Zn (29), Mn (25) y B (22 suelos). Aunque la deficiencia de B es la menos frecuente, puede presentarse muy severa en unos pocos suelos.

Sólo excepcionalmente (2 muestras) fue depresiva la adición de Mo, en los suelos que presentaron deficiencia de microelementos. Por el contrario, el Mn y el B aparecen como los micronutrientes más frecuentemente identificados como depresivos, cuando se agregan con la fertilización.

Trifolium pratense fue sensible a los excesos de micronutrientes, como así también a sus deficiencias, cuando no se inocula ni se usa fertilizante nitrogenado alguno.

La detección de deficiencias de micronutrientes concuerda, para gran número de suelos, cuando se efectúa separadamente con *Trifolium pratense* y con *Lolium perenne* x *L. multiflorum*. Sin embargo, hay respuestas diferenciales entre especies.

LITERATURA CITADA

- ALLOWAY, B. 1973. Copper and molybdenum in swayback pastures. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 80 (3): 521–524.
- ANDREW, C. and HEGARTY, M. 1969. Comparative responses to manganese excess of 8 tropical and 4 temperate pasture legume species. *Aust. J. Agric. Research* 20 (4): 687–696.
- BROWN, J.; AMBLER, J.; CHANEY, R. and FOY, C. 1972. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. En.: *Micronutrients in Agriculture*. 1972. J. Mortvedt, P. Giordano and W. Lindsay (ed.) *Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin*. p: 389–418.
- BUNEMANN, G. and LUDDERS, P. 1970. Calcium uptake and calcium deficiency disorders of plants under the influence of other nutrients. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 36 (4): 285–291. También: *J. Sci. Food and Agric.* 22 (6), 1971. Abstract 1564.
- BURSTROM, H. 1968. Calcium and plant growth. *Biological Reviews* 43: 287–316.
- EIDE, R. 1962. Controlling molybdenum toxicity in livestock. *California Agriculture* 16 (5): 14–15.
- FURLANI, P. and CLARK, R. 1981. Screening sorghum for Al tolerance in nutrient solutions. *Agron. J.* 73 (4): 587–594.
- GILBEY, D.; GREATHEAD, K.; and GARTRELL, J. 1970. Copper requirements for South–eastern wheat belt. *J. of Agric. (West Australia)* 11: 70–72.
- HEWITT, E. 1953. Metal interrelationships in plant nutrition. I. Effects of some metal toxicities on sugar beet, tomato, oat, potato, and marrow stem kale, grown in sand culture. *J. Exp. Bot.* 4: 59–64.
- HEWITT, E. 1954. Metal interrelationship in plant nutrition. II. The relation of metal toxicity, molybdenum and nitrogen source to chlorophyll and magnesium content of beet in sand culture. *J. Exp. Bot.* 5: 110–118.
- IGARASHI, T.; KITAJIMA, S.; HASHIMOTO, H.; and KISHITA, A. 1973. Effects of phosphate and calcareous fertilizers on the growth of alfalfa cultivated on volcanic ash soils in the warm region of Japan. *Soils and Fertilizers* 38 (4): 103. Abstract 1180.
- JACKSON, W. 1967. Physiological effects of soil acidity. En: R. Pearson and F. Adams (ed.) *Soil Acidity and Liming*. *Agronomy* 12: 43–124.
- JOHNSON, C. 1966. Molybdenum. En: H. Chapman (ed.). *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. Univ. of California, Div. of Agric. Sci., Berkeley, California. p: 286–301.
- KLIN, Ch. 1954. Trace elements: reclaiming areas with ounces. *Agric. and Food Chem.* 2 (8): 404–408.
- KUBOTA, J. 1975. Areas of molybdenum toxicity to grazing animals in the Western States. *J. Range Manag.* 28 (4): 252–256.
- LONERAGAN, J. and SONOWBALL, K. 1969. Calcium requirements of plants. *Aust. J. Agric. Research* 20: 465–478.
- McKAY, D.; CHIPMAN, E.; and GUPTA, V. 1966. Copper and molybdenum nutrition of crops grown on acid spagnum peat soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30: 755–759.
- MIELS, C. 1966. Trace element deficiency in livestock in Europe. *World Review of Animal Production* 1: 51–58.
- MUNSON, R. 1977. Plant nutrition, food for thought (editorial) *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis* 8 (1): III–V.
- OHKI, K. 1975. Lower and upper critical zinc levels in relation to cotton growth and development. *Physiol. Plantarum* 35 (2): 96–100.
- OHKI, K. and ULRICH, A. 1977. Manganese and zinc appraisal of selected crops by plant analysis. *Communications in Soil Sci. and Plant Analysis* 8 (4): 297–312.
- OLSEN, S. 1972. Micronutrient interactions. En: Mortvedt, J., P. Giordano and W. Lindsay (ed.). 1972. *Micronutrients in Agriculture*. *Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin*. p: 243–264.
- PATEL, P.; WALLACE, A.; and MUELLER, T. 1976. Some effects of copper, cobalt, cadmium, zinc, nickel and chromium on growth and mineral element concentration in chrysanthemum. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 101 (5): 553–556.
- PAERSON, R. and ADAMS, F. 1967. *Soil acidity and liming*. *Agronomy* 12. ASA, Madison.
- REISENAUER, H.; WALSH, I.; and HOEFT, R. 1974. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. En: L. Walsh and J. Beaton. (ed.). 1974. *Soil Testing and Plant Analysis*. 2nd ed. Madison, Wisconsin, *Soil Sci. Soc. of Am.* p: 173–200.
- REITH, J. 1968. Copper deficiency in crops in North East Scotland. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 70 (1): 39–45.
- ROBSON, A. and LONERAGAN, J. 1970. Sensitivity of annual *Medicago* species to manganese toxicity, as affected by Ca and pH. *Aust. J. Agric. Research* 21 (2): 223–232.
- SCHENKEL, G. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca con ensayos de maceta. II Diagrama de fertilidad. *Turrialba (Costa Rica)* 21 (3): 263–271.
- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1982. Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos de macetas II. Método empleado con *Trifolium pratense*. *Agricultura Técnica (Chile)* 42 (3): 199–208.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; y GAJARDO, M. 1982a: Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos de macetas. III. Mediante *Trifolium pratense* en suelos de la provincia Malleco. *Agricultura Técnica (Chile)* 42 (4): 273–285.

- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1982b. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXII Macronutrientes, provincia de Arauco. *Agricultura Técnica (Chile)* 42 (1): 31–54.
- SCHENKEL, G.; PINO, E.; y FLOODY, T. 1971. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. III. Cálculo de las líneas de fertilidad sobre el diagrama de fertilidad. *Agricultura Técnica (Chile)* 31 (2): 106–115.
- SIMAN, A.; GRADOCK, F.; and HUDSON, A. 1974. The development of Mn toxicity in pasture legumes under extreme climatic conditions. *Plant and Soil* 41 (1): 129–140.
- SIMAN, A.; GRADOCK, F.; NICHOLLS, P.; and KIRTON, H. 1971. Effects of calcium carbonate and ammonium sulfate on manganese toxicity in an acid soil. *Aust. J. Agric. Research* 22 (2): 201–214.
- SOMMER, A. 1945. Copper and plant growth. *Soil Science* 60 (1): 71–79.
- SUDZUKI, F. 1963/1964. Relaves de cobre y aguas de riego del río Cachapoal. *Agricultura Técnica (Chile)* 23/24: 15–62
- THORNTON, I.; KERSHAW, G.; and DAVIES, M. 1972a. An investigation into copper deficiency in cattle in the southern Pennines. I. Identification of suspect areas using geochemical reconnaissance followed by blood copper surveys. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 78 (1): 157–163.
- THORNTON, I.; KERSHAW, G.; and DAVIES, M. 1972b. An investigation into copper deficiency in cattle in the southern Pennines. II. Response to copper supplementation. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 78 (1): 165–171.
- ULRICH, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 3: 207–228.
- ULRICH, A. and HILLS, T. 1969. Sugar beet nutrient deficiency symptoms, a color atlas and chemical guide. Univ. of California, Div. Agric. Sci., Berkeley, California. 36 p.
- ULRICH, A. and HILLS, T. 1973. Plant analysis as an aid in fertilizing sugar crops. Part I. Sugar Beets. En: L. Walsh and J. Beaton (ed.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin. p: 271–313.
- VALENZUELA, J. y SEPULVEDA, G. 1977. Exceso de boro en viñedos del valle de Elqui. *Agricultura Técnica (Chile)* 37 (2): 93–96.
- VIETS, F. and LINDSAY, W. 1974. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. En: L. Walsh and J. Beaton (ed.). 1974. *Soil Testing and Plant Analysis*. 2nd. ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin. p: 153–172.
- VOSE, P. and RANDAL, P. 1962. Resistance to aluminium and manganese toxicities in plants, related to variety and cation exchange capacity. *Nature* 196 (4849): 85–86.
- WALLACE, A.; ALEXANDER, G.; and CHAUDHRY, F. 1977. Phytotoxicity of cobalt, vanadium, titanium, silver and chromium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8 (9): 751–756.
- WALLACE, A. and CHA, J. 1977. Trace metals in 2 garden products derived from sewage sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8 (9): 819–821.
- WALLACE, A.; CHA, J.; ALEXANDER, G.; and ROMNEY, E. 1977a. Calcium deficiency and CaCO₃ on micronutrient status of plants grown in solution culture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8 (9): 781–785.
- WALLACE, A. and MUELLER, T. 1973. Effects of chelated and nonchelated cobalt and copper on yields and microelement composition of bush beans grown on calcareous soil in a glasshouse. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37 (6): 907–908.
- WALLACE, A. and ROMNEY, E. 1977. Synergistic trace metal effects in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8 (9): 699–707.
- WALLACE, A.; ROMNEY, E.; ALEXANDER, G.; and KINNEAR, J. 1977b. Phytotoxicity and some interactions of the essential trace metals iron, manganese, molybdenum, zinc, copper and boron. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8 (9): 741–750.
- WALLACE, A.; ROMNEY, E.; ALEXANDER, G.; and SOUFI S. 1977c. Some interactions of cadmium with other elements in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8 (9): 765–772.
- WALLACE, A.; ROMNEY, E.; and KINNEAR, J. 1977d. Frequency distribution of several trace metals in 72 corn plants grown together in contaminated soil in a glasshouse. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8 (9): 693–697.
- WALLACE, A.; ROMNEY, E.; and KINNEAR, J. 1977e. Metal interactions in bush bean plants grown in a glasshouse in amended serpentine soils from California. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 8 (9): 727–732.
- WALLACE, A. and SOUFI, S. 1975. Low and variable critical concentrations of calcium in plant tissues (potato tubers). *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 6 (3): 331–337.
- WARRINGTON, K. 1954. The influence of iron supply on toxic effects of manganese, molybdenum and vanadium on soybean, peas and flax. *Ann. Appl. Biol.* 41: 1–22.