

EXPLORACION DE DEFICIENCIAS NUTRITIVAS CON ENSAYOS EN MACETAS. XXIV COMPORTAMIENTO DEL MAGNESIO EN UNA FORMULA DE FERTILIZACION NPKCaMgS¹

Survey of soil nutritive deficiencies using pot experiments. XXIV Behavior of Mg in a fertilization formula NPKCaMgS

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

S U M M A R Y

In a pot experiment, 458 soils from the area between Arauco and Magallanes were seeded with *Lolium perenne* x *L. multiflorum* and fertilized with NPKCaMgS, using the commercial fertilizers Triple Superphosphate and Potassium Sulphate plus pure ammonium nitrate and magnesium carbonate.

It was detected that Mg forms part of a multiple deficiency, together with micronutrients. Four groups of soils were established:

- a. Soils deficient in Mg and micronutrients, with a poor response to NPKCaMgS and NPKCaS (39.43 per cent).
- b. Soils with no deficiency in Mg and micronutrients, and with good response to NPKCaMgS and NPKCaS (26.87 per cent).
- c. Soils with no deficiency in micronutrients and only occasionally deficient in Mg, with a poor response to NPKCaMgS and NPKCaS (though a little better to this last one) (18.50 per cent). This group has some soils with an excess of micronutrients, in which the complete fertilization formula gives lower yields than the formula with no micronutrients.
- d. Soils deficient in micronutrients and, in some cases, also in Mg, with a good response to NPKCaMgS and NPKCaS (15.20 per cent).

The responses observed, are explained by the presence of micronutrients in the commercial fertilizers and supposing the existence of two, and in some cases three, problematic micronutrients.

INTRODUCCION

Los primeros ensayos de campo, revelan que la respuesta a la abonadura fosfatada es la más evidente en Chile, mientras la importancia del encalado es secundaria, respecto a las aplicaciones de P y N (Letelier, 1944, 1950, 1953 y 1961). Estos resultados confirman después de un siglo, las observaciones de Bous-singault (citado por Gay, 1842): "falta en general el ácido fosfórico, ..., sumamente escaso en la tierra de Chile, en gran perjuicio de su agricultura venidera".

Para suelos derivados de cenizas volcánicas, deficientes en P y ricos en materia orgánica (Storie, 1945), hay una escasa respuesta a la cal, tendiendo a aumentar ligeramente "mientras menores sean el nivel de

¹ Recepción de originales: 8 de junio de 1982.

Parte de este trabajo fue presentado al Cuarto Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Soc. 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.

materia orgánica, el contenido de P aprovechable y el pH" (Letelier, 1953).

La fórmula NPK es siempre ligeramente superior a la NPKCa (NPK + 1.000 kg cal apagada/ha, con 30% CaO). Además, se determinan rendimientos de papa aún inferiores al testigo, con 1.000 kg/ha de cal apagada. Los ensayos señalan al P como el principal fertilizante para la papa y al N y la potasa en segundo término, debiendo destacarse que el N no debe aplicarse solo, sino en presencia, por lo menos, de fosfato (Letelier y Montaldo, 1945 y 1954).

Una fórmula, que contiene a los tres elementos nutritivos principales (NPK), es capaz de producir grandes aumentos de rendimiento, cuando se aplica en cantidades adecuadas (Letelier y Montaldo, 1945, 1954; Letelier, 1969). Con esta conclusión concuerdan los antecedentes obtenidos a partir de ensayos de macestas, pero a condición de incluir al S (Schenkel y otros, 1982a y c, 1975, 1974b, 1973a, b y c, 1972b, 1971a y c). Esto lo han comprobado Goic (1968), Chile, IANSA (1962/63 y 1964/1965), Richter y Muñoz (1970) y Bernier (1981).

El Ca es el principal catión acompañante de los abonos fosfatados en el país (Letelier, 1965). Por ello, se estima propio reconocerlo como el quinto elemento de la fórmula NPKCaS.

Una buena forma de comprender mejor los problemas de fertilidad, entre las provincias de Arauco y Magallanes, es comparar las líneas de producción NPKCaS y NPKCaMgS. Así, debería quedar "de manifiesto la importancia relativa del Mg y de los microelementos, como integrantes de una deficiencia nutritiva múltiple" (Schenkel y otros, 1982a).

Con el propósito señalado, se sembró ballica en 458 muestras de suelo, incluyendo tres tratamientos: los dos mencionados más el correspondiente a la fertilización completa.

REVISION DE LITERATURA

Sólo muy ocasionalmente se observan efectos favorables de las aplicaciones de enmiendas calcáreas (Letelier, 1950, 1961, 1965 y 1969), comparados con los obtenidos con dosis eficientes bajo condiciones europeas (Möller, 1962). Estos resultados son totalmente contrarios a las primeras estimaciones que se hicieron sobre los suelos chilenos. En efecto, Matthews (1945) sostiene que "de Colchagua al sur hay deficiencia de calcio en tierras de cultivo, ..., porque están sometidas al proceso de descalcificación constante por elevada precipitación anual". Los resultados obtenidos en 5823 análisis de suelo llevan "a la conclusión que,

desde Curicó al sur, los análisis indican deficiencia de cal" (Monje, citado por Rodríguez, 1945). Otros antecedentes sobre la materia han sido expuestos por Urbina (1964). Rodríguez (1945) sintetiza así el pensamiento de esa época: "los suelos que quedan de Colchagua al sur están sometidos a un empobrecimiento de bases por lixiviación, debido a condiciones elevadas de precipitación anual, dando origen a pH inferiores a 6,5, lo que es necesario corregir para mantener los suelos en condiciones de más elevada productividad".

Vogel (1945) expresa "una opinión que es contraria a todo lo que hasta ahora han creído los técnicos" (Marull, 1945), que los suelos de Chile "pobres en calcio o en estado de descalcificación son pocos, constituyendo fenómenos locales bien aislados". El fracaso del encalado se pone en evidencia con los ensayos de campo efectuados por Letelier (1944 y 1945). Esta modalidad experimental lleva a atribuir "el fracaso del encalado al hecho que se midió el efecto de la cal en resultados anuales, sin incluir la acción residual en términos de una rotación cultural completa" (Marull, 1945).

Numerosos ensayos de campo efectuados con remolacha (Möller, 1962; Urbina, 1962b; Chile, IANSA, 1962/1963 y 1964/1965); con forrajeras (Azócar, 1962b, 1964; Cerviño, 1962; Urbina, 1962a; Azócar y Ortiz, 1964; Gutierrez, 1964); con papa (Letelier, 1946; Letelier y Montaldo, 1945, 1954); con trigo (Letelier, 1950, 1961, 1965, 1969); etc., muestran una falta de respuesta generalizada al encalado en los más diversos suelos. Möller (1962), basándose en sus propios trabajos, expresa que hasta fines del decenio 1950/1960 se mantiene como un dogma que la cal no tiene ninguna importancia como abono, en los suelos situados entre La Serena y Punta Arenas. Reconoce haber encontrado, en forma aislada, con dosis de 1 ton/ha y en los cultivos más sensibles, como remolacha y raps, un efecto máximo entre 2 y 4 ton/ha, siendo depresivo el encalado a dosis mayores. Buenas respuestas al encalado, también, observan aisladamente otros investigadores, por ejemplo en el establecimiento de alfalfa, en un suelo de Osorno (Rockefeller Foundation, 1962) y de una mezcla forrajera, en un ñadi (Azócar, 1962a).

Todos estos antecedentes experimentales apoyan el planteamiento de Vogel (1945): "corrientemente no tienen ningún efecto las encaladuras en los suelos de trumao y sólo se observa un efecto muy limitado en suelos antiguos, derivados de loess volcánico, lavas andesíticas e, incluso, rocas graníticas" (Letelier y Wright, 1962). Letelier (1964) ratifica "que los efectos del encalado son en general moderados o nulos en los trumao del Llano Central".

En ausencia de P, es posible obtener una pequeña respuesta al encalado, pero cuando se aplica P, desaparece esta respuesta (Urbina, 1964a y 1964b).

Recientemente, se ha reivindicado para la enmienda calcárea, aplicada a suelos Andosoles chilenos, algunas bondades que inciden sobre sus propiedades de humectación y disponibilidad de P (Ellis, McDonald y Vyhmeister, 1979). "En tanto la eficacia de los abonos fosfatados ha sido evidente e inmediata, no ha sucedido lo mismo respecto de las encaladuras" (Lettelier, 1953). Este último, además, considera "poco probable que dentro de la agricultura chilena se presenten problemas graves de deficiencia de calcio en las plantas cultivadas", criterio general con el cual concuerdan Schenkel y otros (1982b, 1980, 1974a y c, 1973d, 1972a y c, 1971b y d).

Con suelos alofánicos neozelandeses (Saunders, 1959) y con trumaos (Vergara, 1963; Pucheu, 1963), se ha observado que aumenta la fijación de P cuando se intensifica el encalado, afectando además, en los suelos chilenos, a la mineralización del N. A un pH 8,5 (Saunders, 1959) hay una liberación efectiva del P, con el encalado de los suelos neozelandeses. Semejante solución es de alto costo e inadecuada a la práctica agrícola regional, debido al gran poder tampón del trumao (Pucheu, 1963) y a la dificultad de mantener esta reacción del suelo en Andosoles expuestos a intensas lluvias. Pucheu (1963) observa que el encalado aumenta la fijación de P, cuando se sobrepasa pH 6,5 en trumaos y 6,2 en los restantes suelos. Pareciera que los beneficios del encalado, en suelos chilenos, serían posibles de observar únicamente cuando su deficiencia en P haya sido corregida, debido a su asociación con la disponibilidad de micronutrientes (Schenkel y otros, 1974a y c).

El pH óptimo "es de importancia secundaria y probablemente estará en un nivel más bajo en Chile que en Europa" (Rathsack, 1962a), fijándolo tentativamente en pH 5,8 para los trumaos. Esta apreciación la hace considerando que el pH óptimo tiende a bajar, a medida que aumenta el contenido de materia orgánica.

Tampoco puede establecerse que exista un pH óptimo para la mejor nitrificación en todos los suelos (Vergara, 1963). Pincheira (1963) estima que la acción de las enmiendas, en remolacha, en un suelo de la transición Bulnes/Arrayán, debe atribuirse a un efecto nutritivo, en mayor medida que a una consecuencia directa de la corrección de la acidez del suelo. Comparte el criterio de Albrecht (1941), que los materiales encalantes actuarán como correctores de la acidez, si ella es extrema, y como elemento nutritivo de las plantas, en condiciones de menor acidez.

Un efecto depresivo de las sales potásicas, agregadas a algunos suelos chilenos junto a la fertilización NP,

ha sido encontrado por Schwabe (1961), pudiendo evitarse mediante la inclusión de cal. Esto puede atribuirse a una activación del Al por las sales potásicas, la cual se evita con cal (Rathsack, 1962b), pero también con fosfato (Schenkel y Baherle, 1982a; Schenkel, 1969).

Cualquiera sea el rol que se le asigna al Ca, debería reponerse con la abonadura, por lo menos, la cantidad extraída con el cultivo, finalidad que puede cumplirse perfectamente a través de los abonos fosfatados (Lettelier, 1965), y no necesariamente con enmiendas calcáreas. Este mismo criterio debería regir para el Mg, especialmente cuando su deficiencia "está seguramente bastante difundida pero sin haber sido observada con frecuencia todavía, porque puede estar oculta por otras manifestaciones carenciales" (Rathsack, 1962a). Además, la deficiencia de Mg afecta más intensamente a la fertilidad de los suelos chilenos que la falta de Ca (Schenkel y otros, 1982b, 1980, 1974a y c, 1973c y d, 1972c, 1971b y d).

Según Vogel (1959), "se comprobó que no bastan las fórmulas tradicionales NPK, con agregados de calcio, para cultivos con grandes exigencias en principios minerales; los elementos magnesio y azufre deben ser considerados en los ensayos futuros de aplicaciones de abonos sobre suelos de la zona comprendida entre Cautín y Chiloé". Además, se mencionan las deficiencias de Mg y Ca como los problemas que están comenzando a aparecer, a consecuencia de la intensificación de las explotaciones agrícolas (Utilización intensiva, 1969).

Por ello, es urgente la comparación entre el comportamiento de las fórmulas NPKCaMgS y NPKCaS, porque la aplicación de Mg se viene recomendando desde hace algunos años (Richter y Muñoz, 1970).

MATERIALES Y METODOS

Los suelos empleados en este trabajo (458 muestras) han sido identificados con anterioridad (Schenkel y otros 1982b, 1980, 1974a y c, 1973d, 1972a y c, 1971b). Cada suelo fue sembrado con ballica (*Lolium perenne* × *L. multiflorum*), en un ensayo de macetas, empleando la metodología descrita por Schenkel y Baherle (1971).

Los rendimientos de m.s. se comparan con los medios para la abonadura completa. Los tratamientos, que incorporan fertilizantes comerciales, mezclándolas homogéneamente con el suelo antes de la siembra, originan las líneas de producción respectivas. En el tratamiento NPKCaS, cada suelo recibe 2.900g de superfosfato triple (46,11% P_2O_5) y 2.000g de sulfato de potasio (46,07% K_2O). En trabajos anteriores, el

tratamiento NPKCaS había sido identificado como NPKS, pero se considera impropio desconocer el aporte de Ca que hace el superfosfato triple (Schenkel y otros, 1982a y c, 1975, 1974b, 1973a, c y e, 1972b, 1971a y c). El tratamiento NPKCaMgS recibe los mismos fertilizantes, añadiéndose 0,550g de 4 MgCO₃·Mg (OH)₂ (reactivo Baker Analyzed 2432).

Una vez que germina la ballica, se efectúan aplicaciones semanales de 10 ml de una solución 0,25N de nitrato de amonio, hasta finalizar con el cuarto corte del follaje.

Las diversas líneas de fertilidad han sido obtenidas en la forma descrita anteriormente (Schenkel y Baherle, 1971). La interpretación de los resultados se hace con ayuda del diagrama de fertilidad (Schenkel, 1971), calculando los coeficientes de las líneas de producción y de fertilidad, en la forma ya acostumbrada (Schenkel, Pino y Floody, 1971e). Los parámetros calculados para las líneas de producción de todos los suelos se proporcionan en el Cuadro 1, donde se ordenan por provincias.

RESULTADOS Y DISCUSION

Se parte de la premisa fundamental que, al agregar nitrato de amonio + superfosfato triple + sulfato de potasio + carbonato de magnesio, en la forma y cantidades estipuladas, se satisfacen adecuadamente los requerimientos de la ballica, en cada uno de los nutrientes integrantes de la fórmula NPKCaMgS. En consecuencia, cuando se determina una buena producción con este tratamiento, respecto del obtenido con la abonadura completa, debe aceptarse implícitamente que también es adecuada la nutrición de la planta en cada uno de los micronutrientes esenciales, debido a dos razones fundamentales: 1. porque hay buena disponibilidad de todos ellos, provenientes del suelo o de los fertilizantes agregados (como impurezas); y 2. porque no hay un efecto depresivo, causado por la presencia excesiva de algún microelemento, contenido en el suelo o agregado con alguno de los abonos.

En el Cuadro 1 se presentan los coeficientes de la línea de producción del tratamiento NPKCaMgS, para las 458 muestras de suelo. Estos valores permiten algunas observaciones:

CUADRO 1. Parámetros de las líneas de producción ($\log Y = mx + \log A$) para la fertilización NPKCaMgS con ballica, en suelos de diversas provincias

TABLE 1. Parameters of the production lines ($\log Y = mx + \log A$), for NPKCaMgS, with ryegrass, in soils from different provinces

Suelo	A	m*	Suelo	A	m*	Suelo	A	m*
PROVINCIA DE ARAUCO								
8913	85	+ 321	8938	89	— 178	9529	68	+ 336
8914	65	— 140	8939	82	+ 103	9530	97	+ 25
8915	100,5	0	8940	81	— 407	9531	73	+ 582
8916	73	+ 448	8941	69	+ 101	9532	76	+ 147
8917	97	+ 19	8942	48,5	+ 243	9533	83	+ 415
8918	74	+ 121	8943	71	+ 531	9534	113	— 279
8919	74,5	+ 781	8944	87	— 174	9535	67	— 1288
8920	82	— 117	8945	84	0	9536	70	+ 319
8921	63	— 314	8946	98	— 234	9537	80	+ 170
8922	100	+ 88	8947	87	— 320	9538	81	+ 235
8923	94,5	0	8948	95	+ 586	9539	102,5	+ 59
8924	67	+ 504	8949	83	+ 809	9540	62	+ 1153
8925	88	— 616	8950	86	+ 532	9541	96,5	+ 52
8927	77	— 101	8951	81	+ 763	9542	104	0
8928	57	+ 331	8952	101,5	0	9543	88,5	— 283
8929	85	+ 288	8953	98	+ 415	9544	91	+ 130
8930	98	— 78	8954	92	+ 172	9545	137	— 1094
8931	104	— 237	8955	77	— 166	9546	94	+ 159
8932	96	0	8923	70	+ 187	9547	95	— 21
8933	94,5	— 970	8924	89	— 778	9548	83,5	+ 79
8934	57,5	+ 161	8925	74	— 350	9549	78,7	+ 584
8935	111,7	— 2127	8926	61	— 1712	8926	81	+ 15
8936	107	— 739	8927	70,5	— 269			
8937	79,5	+ 507	8928	67,5	+ 75			

Continuación Cuadro 1. Parámetros de las líneas de producción ($\log Y = mx + \log A$).....

Suelo	A	m*	Suelo	A	m*	Suelo	A	m*
PROVINCIA BIOBIO								
8842	101	+ 391	8866	97	+ 73	8891	76	+ 122
8843	97	+ 221	8867	71	+ 576	8892	74	+ 436
8844	85	+ 504	8868	95	+ 268	8893	76	+ 277
8845	87	+ 153	8869	99	0	8894	88	+ 107
8846	87	+ 291	8870	100	+ 29	8895	82	+ 116
8847	120	– 87	8871	76	+ 348	8896	76	+ 153
8848	86	+ 211	8872	76	+ 251	8897	102	– 183
8849	83	– 97	8873	99	0	8898	60	+ 152
8850	109	– 23	8874	79	+ 250	8899	66,5	+ 235
8851	84	+ 329	8875	63	+ 717	8900	96	– 116
8852	90	+ 44	8876	68	+ 430	8901	88	– 29
8854	96	+ 485	8877	67	+ 669	8902	100	0
8855	58	+ 530	8878	100	– 258	8903	72,5	+ 1632
8856	119	– 78	8879	100	– 708	8904	90	+ 148
8857	152	– 674	8880	95	– 1160	8905	76	+ 35
8858	101	+ 42	8881	135	– 652	8906	96	+ 54
8859	100	+ 53	8882	111	– 245	8908	99,5	0
8860	82	+ 58	8883	100	0	8909	96,5	– 129
8861	120	– 44	8884	101	+ 14	8910	98	+ 153
8862	110	– 122	8885	86	0	8911	81	+ 305
8863	147	– 577	8886	97	+ 19	8912	67,5	+ 149
8864	121	+ 132	8887	105	– 56	8890	114	– 228
8865	82	+ 64	8888	90	+ 65			
			8889	97	+ 32			
PROVINCIA DE CAUTIN								
2369	59	+ 453	8801	76	+ 458	8817	86	+ 177
2370	70	– 2614	8802	70	+ 812	8818	121	– 123
2371	62	0	8803	83	+ 504	8819	84	+ 120
2372	52	+ 1671	8804	85	– 264	8820	98	+ 67
2373	81	– 284	8805	100	+ 118	8821	100	0
2374	75	+ 2041	8806	80	+ 404	8822	76	+ 298
2375	100	– 1549	8807	81	+ 295	8823	78	+ 225
2376	60	+ 745	8808	100	0	8824	125	– 359
2386	100	– 1910	8809	80	+ 165	8825	88	– 116
2387	76	– 1362	8810	86	– 79	8826	114	0
2388	65	+ 1336	8811	94	+ 237	8827	95	+ 106
2389	40	+ 2794	8812	77	+ 494	8829	104	0
2417	90	+ 143	8813	85	0	8830	102,5	0
8798	84	– 67	8814	83	+ 337	8831	92	+ 129
8799	89	+ 220	8815	73	+ 488	8853	80	+ 196
8800	117	+ 18	8816	62	+ 195			
PROVINCIA DE VALDIVIA								
2280	98	– 59	2315	72	– 440	2338	99	– 635
2281	57	+ 441	2316	68	– 98	2339	82	– 788
2282	72	+ 225	2317	80	– 644	2340	83	– 309
2295	90	– 528	2318	69	– 282	2341	95	– 824
2296	103	– 1439	2319	77	– 1118	2342	89	– 1447
2297	86	– 150	2320	72	– 184	2343	75,5	0
2298	111	– 1159	2321	120	– 1018	2344	55	+ 1731
2299	105	– 1041	2322	66	+ 1504	2345	84	– 974
2300	98	– 185	2323	65	– 456	2346	67	+ 245
2301	102	– 1042	2324	84	– 1073	2347	68	+ 931
2302	92	– 838	2325	103	– 1250	2348	81	– 352
2303	86	– 601	2326	70	– 698	2352	114	– 2676
2304	86	– 782	2327	79	– 597	2355	110	– 3319
2305	74	– 375	2328	77,5	0	2383	71,5	0
2306	63	+ 183	2329	77,5	0	2398	79	+ 465
2307	77	+ 239	2330	125	– 2711	2399	109	+ 167
2308	56	+ 485	2331	102,5	– 2591	2400	97	– 417

Continuación Cuadro 1. Parámetros de las líneas de producción ($\log Y = mx + \log A$).....

Suelo	A	m*	Suelo	A	m*	Suelo	A	m*
PROVINCIA DE VALDIVIA								
2309	61	+ 138	2332	110	– 591	2401	96	+ 104
2310	68	+ 75	2333	92	– 2099	2402	109	– 401
2311	71	– 805	2334	92	– 1006	2403	70	+ 408
2312	56	+ 461	2335	67	+ 32	2404	87	– 184
2313	77	– 296	2336	84	– 308	2405	71	+ 381
2314	87	– 1289	2337	84	+ 445	2406	96	– 325
PROVINCIA DE OSORNO								
2233	82	+ 297	2293	104	– 1313	2384	70	+ 1068
2234	110	– 623	2294	93	– 162	2390	40	+ 4189
2235	88	+ 159	2350	56	+ 1054	2392	68	+ 957
2245	75	+ 240	2351	80	– 892	2393	95	– 1880
2246	60	– 84	2359	62	+ 351	2394	71	+ 850
2247	100	– 214	2360	71	– 1133	2395	82	+ 1308
2248	95	– 201	2361	85	– 2240	2396	104	– 995
2277	43,5	– 645	2362	70,5	0	2397	90	+ 286
2278	100	– 97	2363	37	+ 2334	2407	95	0
2279	78	+ 230	2364	65	+ 466			
2283	103	– 1312	2377	70	+ 47			
2284	106	– 3137	2378	88	– 816			
2287	78	– 495	2379	100	– 1982			
2288	100	– 531	2380	49	+ 2694			
PROVINCIA DE LLANQUIHUE								
2208	111	– 101	2236	81	+ 305	2261	106	– 181
2209	71	+ 440	2237	40	0	2262	36	– 2367
2210	116	– 475	2238	102,5	– 141	2263	69	– 623
2211	75,5	– 879	2239	62	– 486	2289	97	– 1289
2212	69	– 1793	2240	61	– 551	2291	89	– 484
2213	94	– 14	2249	106	– 33	2292	87	– 551
2214	82	– 789	2250	48	+ 191	2349	105	– 3242
2215	56	– 1130	2251	44	+ 191	2353	83	– 559
2216	33	– 4509	2252	125	– 194	2354	87	– 1467
2217	43	– 2879	2253	88	+ 159	2356	88	– 816
2218	107	+ 241	2254	28	– 903	2357	77	– 596
2219	90	– 183	2255	41,5	– 1526	2358	73	– 650
2220	86	– 382	2256	83	+ 426	2365	78	– 600
2221	81	+ 554	2257	94	– 430	2366	60	+ 3698
2230	110	– 951	2258	36	– 774	2367	85	– 986
2231	93	– 736	2259	93	– 242	2368	91	– 1662
2232	94	– 609	2260	89	– 282			
PROVINCIA DE CHILOE								
8766	83	+ 100	9019	92	– 156	9034	110	– 376
8767	73	+ 546	9020	85	+ 52	9035	81	– 283
8788	90	+ 254	9021	85	+ 191	9504	79	+ 853
8789	111	– 324	9022	70	0	9505	109	+ 98
8790	98	+ 289	9023	110	– 829	9506	88	+ 227
8791	81	+ 482	9024	108	– 24	9507	100	– 310
8792	79	– 235	9025	83	– 1212	9508	79	– 349
8793	112	– 186	9026	105	– 473	9509	68	+ 258
8794	87	– 448	9027	91	+ 49	9510	98	– 279
8795	83,5	– 442	9028	90	– 880	9511	84	+ 316
8796	78	+ 583	9029	101	– 346	9512	114	– 1014
9015	84	– 53	9030	75	– 120	9513	79	+ 512
9016	90	– 188	9031	99	– 115	9514	100	0
9017	120	– 605	9032	115	– 596			
9018	74	+ 102	9033	75	+ 581			

Continuación Cuadro 1. Parámetros de las líneas de producción ($\log Y = mx + \log A$).....

Suelo	A	m*	Suelo	A	m*	Suelo	A	m*			
PRIVINCIA DE AYSEN											
2408	93	0	2413	73	+	204	9516	100			
2409	99	— 522	2414	95	— 106	9517	108	— 237			
2410	95	— 244	2415	79	— 85	9518	105	+	231		
2411	88	— 102	2416	97	— 163	9519	52	+	701		
2412	96	— 896	9515	98	— 418	9520	58,5	— 52			
PROVINCIA DE MAGALLANES											
8956	88	+	13	8976	80	+	183	8997	102		
8957	97	— 42	8977	69	+	43	8998	84	+	61	
8958	102	— 72	8978	87	— 231	8999	83	+	172		
8959	113	0	8979	83	— 683	9000	97	— 102			
8960	115	— 29	8980	105	0	9001	105	— 68			
8961	95	— 69	8981	45	0	9002	106	— 163			
8962	87	+	55	8982	54	+	216	9003	97		
8963	98	+	92	8983	100	— 52	9004	76	+	102	
8964	92	+	278	8984	80	+	30	9005	99	— 32	
8965	95	+	124	8985	76	+	172	9006	102	+	63
8966	115	— 101	8986	126	— 295	9007	93	+	63		
8967	77	+	183	8987	38,5	+	223	9008	96	— 137	
8968	68	+	409	8988	104	+	72	9009	115	— 754	
8969	80	+	136	8989	131	— 335	9010	106	— 82		
8970	105	— 82	8991	100	0	9011	109	— 1040			
8971	102	— 39	8992	78,5	+	84	9012	109	+	54	
8972	96	— 111	8993	77	+	258	9013	94	+	43	
8973	110	0	8994	102	— 64	9014	100	+	275		
8974	87	— 51	8995	93	— 118						
8975	85	+	179	8996	89	+	46				

Valores promedios calculados para los suelos de las diferentes provincias:

Arauco (n = 70):	84,06	+	51,89
Biobío (n = 69):	92,75	+	82,74
Cautín (n = 47):	84,65	+	138,70
Valdivia (n = 69):	84,07	—	460,06
Osorno (n = 37):	80,11	—	60,05
Llanquihue (n = 50):	78,89	—	617,20
Chiloé (n = 43):	91,09	—	92,79
Aysén (n = 15):	89,10	—	117,67
Magallanes (n = 58):	93,07	—	21,40
Total (n = 458)			

(*) Todos los valores de m deben multiplicarse por 10^{-5}

1. En general, aunque no siempre, hay una buena respuesta a NPKCaMgS (Figura 1), independientemente a que el suelo tenga suficiente disponibilidad de Ca (muestra 8897), de S (2252), de Ca y Mg (8793) o de Ca y micronutrientes (9002). De aquí se infiere que la fórmula es eficaz para corregir las deficiencias de todos los macronutrientes. Esto significa que los macronutrientes se agregan en cantidades adecuadas y no provocan disminuciones de rendimiento, cuando el suelo dispone de suficiente Ca, Mg o S.

2. Pueden identificarse suelos afectados por una grave deficiencia de Mg, donde NPKCaMgS es claramente superior a NPKCaS (Figura 2). Las muestras 8909

y 2332, de Villucura y Máfil respectivamente, enseñan que las diferencias provenientes de la exclusión de Mg, pueden ser realmente espectaculares. Sin embargo, aplicando el mismo criterio a los suelos Oazy Harbour (9002), Chamiza (2252) y Mulchén (8897), debería manifestarse también una clara diferencia, porque sus diagramas de fertilidad indican una intensa deficiencia de Mg (Figura 1). La ausencia de una respuesta diferencial para estos suelos, indica que es incorrecto asociar ésta solamente con la disponibilidad de Mg, siendo indispensable involucrar otros factores.

3. Las deficiencias moderadas de micronutrientes que afectan a los suelos en la Figura 1, son eficiente-

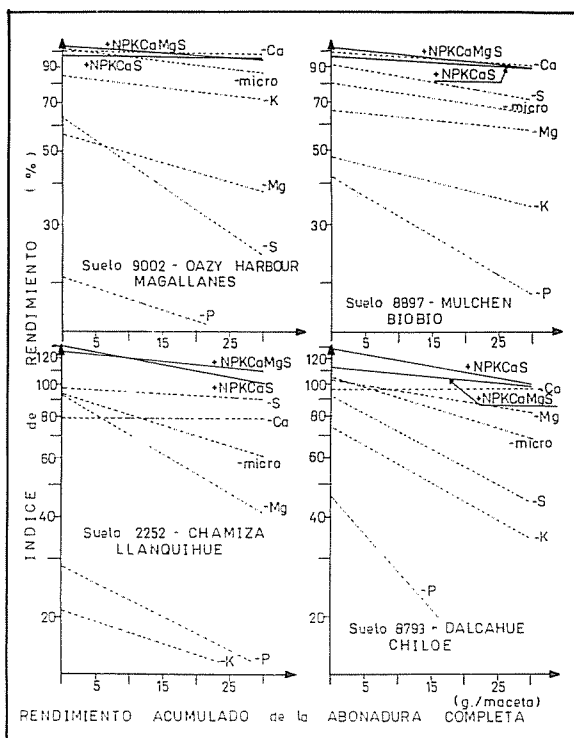


FIGURA 1. Diagramas de fertilidad de suelos, en que se corrigen todas las deficiencias aplicando NPKCaMgS y NPKCaS.
FIGURE 1. Fertility diagrams of soils which deficiencies are corrected with NPKCaMgS and NPKCaS.

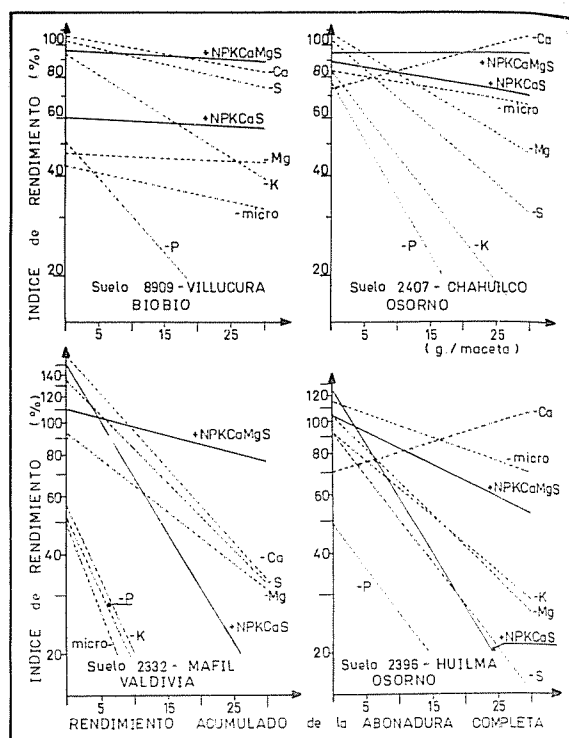


FIGURA 2. Diagramas de fertilidad de suelos con mejor respuesta a NPKCaMgS que a NPKCaS.
FIGURE 2. Fertility diagrams of soils with a better response to NPKCaMgS than to NPKCaS.

mente subsanadas con la adición de NPCaMgS, aunque ningún micronutriente fuera añadido como tal en esta fórmula. Igual resultado se obtiene en las muestras 8909 (Villucura) y 2407 (Chahuilco), aunque las intensidades de las deficiencias de micronutrientes y de Mg, pero no de Ca, difieren entre ambos suelos (Figura 2). En este caso, hay una clara inferioridad de NPKCaS respecto a NPKCaMgS, que se acentúa cuando se agrava la deficiencia de Mg (m. 2396; Huilma) y es aún más apreciable para el suelo 2332 de Máfil, donde se hace extraordinariamente grave la carencia de micronutrientes, junto a la de Mg.

No obstante, el conocimiento de la existencia de una deficiencia de micronutrientes, sola o asociada a la de Mg, no constituye un elemento de juicio suficiente para poder predecir el grado de respuesta diferencial entre los tratamientos NPKCaMgS y NPKCaS, ni para saber cuán buena es la respuesta a cualquiera de ellos. Así se desprende de la Figura 3, donde queda de manifiesto que los dos tratamientos corrigen las carencias de micronutrientes en los cuatro suelos, y también la deficiencia de Mg, con la sola abonadura NPKCaS.

4. La mala respuesta a NPKCaS observada en la Figura 2, podría atribuirse a la pobreza de K que caracteriza a dichos suelos, la que también sería responsa-

ble de una igualmente mala respuesta a la aplicación de NPKCaMgS. En suelos pobres en K, ha sido encontrado por Mercik, Goralski y Gozłinski (1977), con ensayos de macetas, que las bajas dosis de K aumentan los rendimientos, aunque no se agregue Mg ni Na.

Un análisis cuidadoso de cada uno de los diagramas de fertilidad, permitió identificar efectivamente una grave deficiencia de K en todas las muestras, la cual tampoco difiere notoriamente de las indicadas en los suelos de las figuras 1 y 3, que tienen muy buenos índices de rendimiento con dicha fertilización, al igual que con la completa y con NPKCaMgS. Por estas razones, se descarta que la diferencia observada entre las dos líneas de producción NPKCaS y NPKCaMgS (Figura 2) se pueda atribuir a una insuficiencia de K; además, porque la fuente y cantidad de K suministrada con ambas fórmulas es la misma.

Anteriormente, se había encontrado una asociación entre los valores de los coeficientes de posición de las líneas de fertilidad de los micronutrientes y del Ca y/o Mg (Schenkel y otros 1974a). Reconociéndose la prioridad de las carencias de P, K y S (Schenkel y otros 1974b y 1975), junto a la de N, se atribuye una importancia compartida al Mg y a los micronutrientes, para explicar la a veces insatisfactoria respuesta obtenida.

CUADRO 2. Promedios del coeficiente de posición de líneas de fertilidad y de producción de 77 suelos con muy mala respuesta a NPKCaMgS ($A < 70$), agrupados según disponibilidades de Ca, Mg, o micronutrientes

TABLE 2. Average position coefficients of fertility and production lines of 77 soils with very low response to NPKCaMgS ($A < 70$)

Disponibilidad de	Valores de A de las líneas del diagrama de fertilidad que se indican					
	+ NPKCaMgS	- Calcio	- Magnesio	- Micronutrientes	+ NPKCaS	- Potasio
Calcio						
(45) deficiente ¹	58,4	73,3	79,7	79,0	74,1	54,1
(32) suficiente ²	58,5	101,9	89,0	89,0	86,1	49,3
Magnesio						
(52) deficiente ¹	57,9	79,2	75,9	78,6	76,6	52,8
(25) suficiente ²	59,6	95,8	99,5	92,7	84,2	51,7
Micronutrientes						
(53) deficiente ¹	59,1	80,3	80,8	75,4	74,7	51,7
(24) suficiente ²	56,9	94,0	89,5	100,4	88,9	53,0

¹ $A < 90$

² $A > 90$

el coeficiente de posición de las líneas de producción NPKCaMgS es inferior en suelos con deficiencia de Mg, sucede lo inverso para las muestras pobres en micronutrientes.

La discusión precedente permite considerar promisorio la agrupación de los 454 suelos según su disponibilidad de micronutrientes, para buscar una relación entre ellos. Con este objeto, se confecciona el Cuadro 3, donde se entregan los valores promedios provinciales para los dos parámetros que caracterizan a la ecuación semilogarítmica: $\log Y = \log A + mx$, de las correspondientes líneas del diagrama de fertilidad.

El mayor número de suelos (179 = 39,430/o) es deficiente en micronutrientes y, por tanto, tiene mala respuesta a NPKCaMgS. Este resultado indica que con dicha fertilización no se incorpora él o los microelementos carenciales en cantidad adecuada para corregir la deficiencia. Además, en los suelos que componen a este grupo, hay asociada una deficiencia de Ca y de Mg a la de micronutrientes, dando lugar a una deficiencia múltiple. De este modo se confirma la interpretación anterior, efectuada en base a las muestras más pobres en su respuesta a NPKCaMgS (Cuadro 2).

Aunque se obtiene una mejor respuesta, en este grupo con NPKCaS que con NPKCaMgS, tampoco es buena la producción así alcanzada. Por tanto, la deficiencia de micronutrientes no se corrige con ninguna de las dos fertilizaciones consideradas. Así se explica la gran similitud entre el valor promedio de A para las líneas

de fertilidad de los micronutrientes (77,2) y de producción NPKCaMgS (75,1), ligeramente superada por la de producción NPKCaS (83,5). La adición de Mg, deteriora la respuesta en este conjunto de suelos, observación similar a la hecha previamente con el Cuadro 2. Esto significa que la función del carbonato de magnesio, consiste en disminuir la disponibilidad del o de los micronutrientes deficientes. Probablemente puede hacerse extensiva esta propiedad al carbonato de calcio. De ser así, habría una explicación adicional para comprender por qué la aplicación de enmiendas calcáreas a los suelos en estudio se asocia con disminuciones de rendimiento.

En abundancia (122 = 26,870/o; Cuadro 3) siguen las muestras que tienen óptima respuesta a NPKCaMgS y a NPKCaS, por no ser deficientes en micronutrientes y simultáneamente estar bien provistas en Mg y en Ca. Esta característica se observa no solamente en los valores promedios totales, sino que se cumple igualmente para cada uno de los promedios provinciales. Con alguna libertad, puede sostenerse que en este grupo hay una disponibilidad abundante de microelementos y de Mg, lo cual explica y justifica que se obtengan rendimientos similares con ambas fertilizaciones. Desde luego, no hay lugar a diferencias originadas por la ausencia o presencia de magnesio en las respectivas fórmulas de fertilización, porque las cantidades presentes en el suelo satisfacen las necesidades de la planta.

Las interpretaciones hechas previamente sirven para explicar satisfactoriamente la buena o mala respuesta

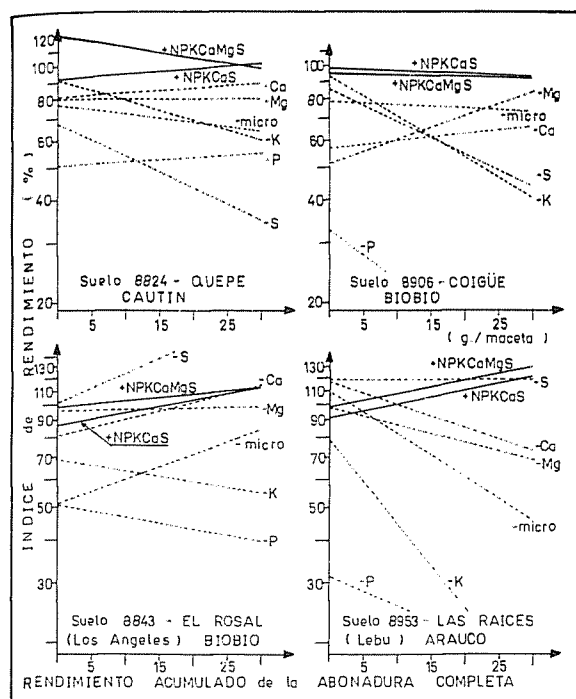


FIGURA 3. Diagramas de fertilidad de suelos con igual respuesta a NPKCaMgS y NPKCaS.

FIGURE 3. Fertility diagrams of soils with the same response to NPKCaMgS and NPKCaS.

nida con la línea de producción NPKCaS. Por ello, puede afirmarse que, a lo menos para algunos suelos en estudio, las disponibilidades de micronutrientes dependen frecuentemente en forma directa de las determinadas para Ca y/o Mg. Cuando se consideran algunos antecedentes mineralógicos, es posible dar una explicación a esta relación. Ciertas arcillas, como la smectita, presentes en muchos de los suelos aquí incluidos (ORSTOM, 1974a y b), tienen una marcada preferencia por el catión divalente cúprico, cuando hay un intercambio entre Na monovalente y Cu divalente, y la arcilla es pobre en Cu (McBride, 1976). De este modo, la eficacia de las fertilizaciones NPKCaS y NPKCaMgS puede ser interferida por las interacciones entre y/o con micronutrientes (Olsen, 1973; Schenkel y Baherle, 1982b). Pero, si esta interpretación rige para las dos fertilizaciones anteriores, también tiene validez para explicar la falta de respuesta, o lo contradictorio de ésta, a las aplicaciones de las enmiendas calcáreas, como ocurre en la realidad (Revisión de Literatura)

La complicación que proviene de las relaciones entre nutrientes, tiene su expresión en los resultados de Schenkel y otros (1974c), cuando encuentran una asociación entre las disponibilidades de K y de Ca y/o Mg y, también, entre las de K y micronutrientes. Consecuentemente, se ha atribuido la eficacia de la fór-

mula NPKCaS a la disponibilidad de Ca, Mg o micronutrientes (Schenkel y otros, 1974b; 1975). De aquí se desprende que "aunque se da la condición general que la deficiencia de micronutrientes es menos frecuente de lo observado con las carencias de P, K y S, en los suelos de Biobío, no deben menospreciarse por el daño que causan a las plantas desde su desarrollo inicial" (Schenkel y otros, 1980).

Es de interés dilucidar la importancia relativa de las disponibilidades de Ca, Mg o microelementos presentes en el suelo, como posibles factores condicionantes de la respuesta observada a NPKCaMgS. Con este objeto, se procede a separar del Cuadro 1 a todas las muestras que ofrecen una pésima respuesta a esta fertilización (A de la línea de producción ≤ 70). En el Cuadro 2 se proporcionan los valores promedios de A, calculados para las líneas de producción NPKCaMgS y NPKCaS y para las líneas de fertilidad de Ca, Mg, K y micronutrientes, cuando los suelos con muy mala respuesta a NPKCaMgS se agrupan de acuerdo a las disponibilidades de Ca, Mg o microelementos. Esta disponibilidad se mide por intermedio del valor de A, en la respectiva líneas de fertilidad, considerando deficiente el suelo para el cual se calculan valores inferiores a 90.

El Cuadro 2 muestra que la disponibilidad de Ca, en los 77 suelos con mala respuesta a NPKCaMgS, no tiene ninguna influencia sobre ésta, porque los coeficientes de posición de esta línea de producción coinciden para las muestras deficientes y suficientes en Ca. En cambio, se observa una influencia sobre el correspondiente tratamiento NPKCaS, siendo la respuesta peor en suelos con deficiencia de Ca. En ambos subgrupos, son superiores los índices de rendimiento obtenidos con esta abonadura que con NPKCaMgS. Así, resulta depresiva la inclusión del Mg, especialmente cuando hay suficiencia de Ca y de Mg. Además, suelos con suficiencia de Ca, tienen una deficiencia de K más intensa que suelos con deficiencia de Ca, lo cual puede deberse al antagonismo Ca/K (Sumner, 1978).

También, la separación entre suelos con y sin deficiencia de Mg, tiene escasa incidencia sobre el coeficiente de posición de la línea de producción NPKCaMgS y de fertilidad del K (Cuadro 2). Por el contrario, hay una separación nítida entre suelos con y sin pobreza de Mg, definiendo las muestras más ricas una mejor respuesta a NPKCaS. A su vez, los suelos pobres en Mg tienen menores disponibilidades de Ca y de micronutrientes. Por tanto, la deficiencia de Mg integrará una carencia nutritiva múltiple, junto a la de micronutrientes y de Ca, si esta última existe. De igual modo, suelos con suficiencia de micronutrientes, por lo general, tampoco tienen deficiencia de Ca ni de Mg. El Cuadro 2 pareciera indicar, finalmente, que mientras

CUADRO 3. Valores promedios provinciales de los parámetro de algunas líneas del diagrama de fertilidad de todos los suelos, agrupados según sus disponibilidades de micronutrientes y su respuesta a NPKCaMgS

TABLE 3. Provincial average parameters of some lines of the fertility diagram of all the soils, grouped according to available micronutrients and response to NPKCaMgS

Nº	Suelos Provincia	+ NPKCaMgS m ¹		+ NPKCaS m ¹		– Calcio m ¹		– Magnesio m ¹		– Micronutrientes m ¹						
		A		A		A		A		A						
a. Buena respuesta a NPKCaMgS y con deficiencia de micronutrientes (B + Mo + Zn + Cu + Mn) ²																
4	Arauco	96,4	–	83	93,5	–	47	100,3	–	58	97,8	–	448	88,5	–	421
18	Biobío	98,8	–	39	92,5	+	170	87,7	–	57	84,8	–	277	76,1	–	138
8	Cautín	101,2	–	168	95,6	–	65	90,3	–	70	87,4	–	600	87,3	–	228
7	Valdivia	104,0	–	1054	115,9	–	1706	11,7	–	939	106,1	–	2131	80,3	–	1624
2	Osorno	95,0	–	101	99,8	–	203	79,3	+	478	102,5	–	698	83,0	–	217
2	Llanquihue	94,0	–	1742	88,0	–	918	96,0	–	749	91,5	–	1798	89,5	–	609
4	Chiloé	107,3	–	460	119,8	–	855	95,0	–	229	89,0	–	1008	82,3	–	988
2	Aisén	99,0	–	247	81,5	+	254	89,5	–	357	94,0	–	485	77,0	–	378
22	Magallanes	101,6	–	0	105,2	–	17	89,2	–	43	81,7	–	58	74,6	+	9
69	Promedio	100,8	–	228	100,7	–	219	92,1	–	167	88,2	–	547	79,0	–	341
b. Buena respuesta a NPKCaMgS y sin deficiencia de micronutrientes ²																
19	Arauco	101,9	–	228	92,2	–	337	97,8	–	143	98,8	–	579	102,2	–	671
21	Biobío	110,3	–	122	108,3	–	33	97,1	+	2	98,2	–	241	103,7	–	452
8	Cautín	105,4	–	223	99,1	–	195	96,9	–	173	91,6	–	572	98,6	–	482
14	Valdivia	104,8	–	1058	110,4	–	1331	98,5	–	378	99,8	–	1468	104,6	–	1021
12	Osorno	100,4	–	997	103,4	–	875	102,6	–	507	102,4	–	1077	105,1	–	843
13	Llanquihue	104,3	–	378	109,3	–	189	105,5	–	102	101,9	–	546	102,5	–	348
14	Chiloé	103,9	–	213	110,1	–	459	102,5	–	100	104,4	–	1005	105,6	–	806
8	Aisén	98,5	–	242	101,3	–	148	93,0	+	17	100,5	–	499	110,0	–	558
13	Magallanes	104,6	–	194	101,3	–	33	95,6	+	20	89,5	–	180	98,9	–	108
122	Promedio	104,3	–	392	104,1	–	396	99,0	–	146	98,8	–	565	103,4	–	592
c. Mala respuesta a NPKCaMgS y con deficiencia de micronutrientes ²																
24	Arauco	72,7	+	111	74,4	+	183	85,0	+	106	83,3	–	356	77,7	–	640
22	Biobío	74,5	+	318	88,5	+	179	85,3	+	116	79,3	–	220	71,8	–	75
26	Cautín	74,6	+	294	82,3	–	2	79,8	+	198	80,8	–	590	73,8	–	150
38	Valdivia	74,2	–	219	82,1	–	584	95,3	–	450	92,6	–	1391	82,1	–	631
13	Osorno	62,8	+	820	76,8	+	429	76,7	+	300	79,3	–	229	78,2	+	61
19	Llanquihue	73,1	–	585	94,1	–	428	91,6	–	56	92,4	–	1321	80,6	–	102
16	Chiloé	80,2	+	104	87,4	–	187	83,0	+	53	79,3	–	847	79,9	–	377
3	Aisén	63,2	+	188	69,7	+	243	61,0	–	152	80,3	–	367	74,3	–	357
18	Magallanes	79,2	+	50,4	86,6	+	97	81,9	+	66	77,4	+	6	75,6	–	70
179	Promedio	75,1	–	101	83,5	–	95	85,7	–	13	84,1	–	694	77,2	–	303
d. Mala respuesta a NPKCaMgS y sin deficiencia de micronutrientes ²																
23	Arauco	79,0	+	68	78,8	–	31	90,3	–	31	92,6	–	408	107,7	–	925
8	Biobío	82,4	+	257	91,6	+	145	98,6	–	11	91,5	–	202	102,0	–	375
5	Cautín	77,2	+	399	90,0	–	560	98,4	–	607	92,5	–	1178	97,2	–	1407
9	Valdivia	77,6	–	17	91,9	–	378	96,7	–	598	94,1	–	928	99,1	–	753
9	Osorno	75,8	–	199	89,2	–	198	90,8	–	515	90,6	–	515	103,3	–	439
16	Llanquihue	62,7	–	710	104,4	–	173	96,8	–	68	90,3	–	810	100,3	–	134
8	Chiloé	81,4	–	134	93,6	–	285	86,6	+	37	90,8	–	737	102,4	–	768
2	Aisén	80,5	+	51	79,5	+	221	77,0	+	326	87,0	–	40	98,5	–	432
4	Magallanes	61,8	+	174	59,1	+	287	92,0	–	25	85,5	–	32	94,8	–	143
84	Promedio	74,0	+	65	88,5	–	131	93,0	–	170	91,4	–	583	101,5	–	616

¹ los valores de m deben multiplicarse por 10⁻⁵

² se considera buena respuesta a NPKCaMgS cuando A > 90 y mala cuando A < 90.

de 301 muestras (66,30%/o). Del tercio restante, hay 69 suelos (15,20%/o), con buena respuesta a NPKCaMgS, aunque deficientes en micronutrientes (Cuadro 3). El coeficiente promedio de la línea de fertilidad de los micronutrientes acusa la existencia, para los suelos de todas las provincias, de una pobreza en micronutrientes, a veces acompañada por la de Mg y, menos frecuentemente, por una insuficiencia de Ca. Se repite así, en este grupo, que no es la carencia de Mg ni de micronutrientes la que impide alcanzar la fertilidad óptima con NPKCaMgS y NPKCaS, determinándose con ambas el mismo valor de A(100,7 y 100,8). Este antecedente revela dos cosas:

1 La pobreza, en uno o más micronutrientes, tiene que haber sido corregida con la adición de a lo menos uno de los abonos integrantes de la fórmula de fertilización común a ambos tratamientos. El respectivo micronutriente está contenido en ese producto comercial como impureza.

2 La depresión de rendimiento observada para la línea de fertilidad del Mg puede estar agravada por una relación inadecuada de este elemento químico con otro antagonico, y no corresponde siempre a una deficiencia de Mg propiamente tal ¿Cuál es el otro elemento?

La circunstancia que el superfosfato triple y el sulfato de potasio sean comunes a ambos tratamientos de fertilización, permite reconocer que son estos los productos responsables de la contaminación del suelo con el microelemento carencial. Además, radicaría aquí la causa para entender por qué los coeficientes de posición y las pendientes de las dos líneas de producción (NPKCaMgS y NPKCaS) de los suelos integrantes de este grupo son tan parecidos, descartándose alguna participación del carbonato de magnesio. Esta interpretación se refuerza con los resultados dados a conocer por Hewitt (1966), cuando sostiene que los compuestos fosfatados "tanto naturales como procesados, están a menudo severamente contaminados, pero variando considerablemente la naturaleza y el grado de contaminación". Las sustancias químicas usadas para suministrar los macronutrientes constituyen tradicionalmente serias fuentes de contaminación de varias impurezas (Steward, 1963). A modo de ejemplo, señala Hewitt (1966) que "el fosfato africano contiene entre 66 y 116 ppm de B, mientras otros fosfatos tienen 10 a 72 ppm". También ha establecido que las sustancias fosfatadas pueden estar severamente contaminadas con Zn (600 hasta 1.000 ppm). Las determinaciones efectuadas por Chávez, Oneto y Murúa (1968) permiten hacer extensivas estas observaciones a otros micronutrientes contenidos en los diversos fertilizantes utilizados por los productores agrícolas de Chile.

Para ser consecuente con las hipótesis antes mencionadas, es necesario presumir que hay a lo menos dos micronutrientes distintos implicados en la deficiencia múltiple de nutrientes, pero donde uno solamente puede ser corregido con la fertilización NPKCaS. En efecto, en los suelos de la provincia de Malleco se identifica al Mo como al micronutrimiento más frecuentemente carencial (Schenkel, Baherle y Gajardo, 1982d), aunque su intensidad puede verse superada por la mayor gravedad que reviste la falta de B, en unas pocas muestras. El perjuicio ocasionado sobre diversos cultivos por la falta de B en algunos suelos chilenos ha merecido preocupación (Tollenar, 1969; Vogel, 1959; Chile, IANSA, 1964/65; Letelier, 1969; Etchevers y Merino, 1966; Kocher, Villalobos y Valenzuela, 1966; Schenkel y Baherle 1982b). Por su parte, Binsak, citado por Weinberger (1971) y Weinberger, citado por Schenkel y otros (1971a), comprueban la existencia de una grave deficiencia de Mo en algunos suelos trumcos, mientras Urzúa y Pinilla (1981) encuentran cierto efecto favorable para la fijación de nitrógeno por trébol blanco, cuando los tratamientos incluyen P y Mo, junto con carbonato de Ca. También debe concederse atención a la mala nutrición de algunos animales vacunos, debido a la deficiencia de Zn, observada por el Méd. Vet. F. Herrmanns (comunicación personal), en diversas áreas situadas al sur de la provincia de Malleco.

Un último grupo del Cuadro 3, compuesto por 84 muestras (18,50%/o), está caracterizado por suelos que no tienen deficiencia de micronutrientes y, sin embargo, ofrecen una mala respuesta a NPKCaMgS y, aunque considerablemente mejor, a NPKCaS. Nuevamente, debe atribuirse al carbonato de magnesio la principal responsabilidad en el empeoramiento de la respuesta, cuando el nutriente magnesio se agrega a la abonadura. Por cuanto la línea de producción NPKCaS determina siempre índices de rendimiento inferiores a los definidos con las líneas de fertilidad de Ca, Mg y microelementos, no puede atribuirse la mala respuesta a una pobreza en estos nutrientes. Todavía más, no existe en este grupo una deficiencia de micronutrientes, como se desprende de todos los valores promedios provinciales, que indican una buena disponibilidad de ellos.

En cambio, es correcto suponer que cantidades adicionales de uno o más micronutrientes, suministrados con la abonadura NPKCaS, y todavía más con NPKCaMgS, convierten a la cantidad total (nativa del suelo más la añadida) en excesiva para una nutrición óptima de la ballica. Bien podría dudarse de la validez de este argumento, pensando que suelos con pobreza en algún micronutriente son insensibles a la toxicidad provocada por la adición de otro no deficiente. Sin embargo, Schenkel y otros (1982d) convalidan esta interpretación, por cuanto suelos deficientes en un micronutriente son perjudicados por los excesos alcanzados

con la adición de otro u otros no carenciales. Dicho enriquecimiento puede producirse mediante la aplicación de fertilizantes comerciales, no específicos para corregir las carencias de micronutrientes.

Del presente trabajo emana otro antecedente que sirve para apoyar la última interpretación. En 16 muestras (190/o) de los 84 suelos integrantes del grupo d (Cuadro 3), se constatan efectos depresivos causados por un exceso de micronutrientes presentes en el suelo. El valor A del coeficiente de posición de su línea de fertilidad es igual o superior a 110. Tal condición ha sido definida de toxicidad (Schenkel, 1982; Schenkel y otros, 1985) y se caracteriza porque se determinan índices de rendimiento muy superiores con la fórmula de fertilización que omite al conjunto de todos los micronutrientes que con la abonadura completa.

Este trabajo le confiere una importancia preponderante a la disponibilidad nativa de microelementos del suelo, sumada a la agregada con la fertilización, para comprender las distintas respuestas observadas. Ambas líneas de producción originan una dualidad de respuesta, porque con algunos suelos se sobrepasan, mientras con otros no se alcanzan, los índices de rendimiento definidos con la correspondiente líneas de fertilidad de los micronutrientes. Con anterioridad, Schenkel y otros (1982a) se hicieron las siguientes reflexiones relativas al tema:

1. La existencia de a lo menos dos microelementos carenciales distintos, de los cuales solamente uno podría ser corregido con NPKCaS.
2. Una modificación de la disponibilidad de micronutrientes, causada por la fertilización.
3. Un efecto antagónico entre las concentraciones de los diversos elementos químicos disponibles para las plantas.

La peculiaridad que, tanto con NPKCaS como con NPKCaMgS (Cuadro 3), se obtengan tendencias similares en sus respuestas, relega al Mg de su función como nutriente y lleva a anteponer su posible interacción (antagónica o sinérgica) con algún micronutriente carencial o excesivo. Por esta razón, es apropiado contemplar una cuarta explicación.

4. Participación de a lo menos dos microelementos críticos en el suelo, uno de los cuales tiene una disponibilidad excesiva, mientras el otro es deficiente. Refundiendo la primera y cuarta explicación, se origina una quinta, más general:
5. Participación de a lo menos dos y tal vez tres micronutrientes, problemática donde solamente para

uno de ellos puede haber una disponibilidad excesiva, mientras él o los otros microelementos son deficientes. Con la fertilización NPKCaMgS, se añadirá solamente uno de los micronutrientes carenciales, para el caso que existan dos deficiencias, y podría eventualmente favorecerse el enriquecimiento del micronutriente presente en exceso. Con esta hipótesis, se dejarían interpretar los cuatro casos condensados en el Cuadro 3. La explicación para cada uno de los cuatro grupos de suelos se da en el Cuadro 4.

Es de interés buscar una confirmación adicional a la trascendencia que tienen los distintos micronutrientes disponibles, en relación con la magnitud de las respuestas medidas con las fertilizaciones NPKCaS y NPKCaMgS. Con esta finalidad, se efectúa un recuento de las muestras que tienen, en sus líneas de fertilidad o de producción, valores de su coeficiente de posición que pueden considerarse deficientes, suficientes o excesivos.

Al proceder de este modo, se obtienen las cifras proporcionadas en el Cuadro 5. El mayor número de suelos (247) está afectado por una deficiencia de micronutrientes, cifra que supera a las muestras con mala respuesta a NPKCaS (205), pero no a las con mala respuesta a NPKCaMgS (263). Curiosamente, se corrigen más frecuentemente con la fertilización NPKCaS, sin Mg, las carencias de micronutrientes y de Mg que afectaban a algunos suelos, que con la NPKCaMgS. Esta circunstancia refuerza la concepción previa que una pobre respuesta, en suelos deficientes en Mg y/o micronutrientes, puede involucrar, en algunos casos, una relación iónica inadecuada entre nutrimentos y no corresponder siempre estrictamente a una deficiencia de ellos.

La interpretación precedente contaría con un valioso apoyo, si se pudiese demostrar que, bajo las condiciones experimentales aquí empleadas, son sensibles los rendimientos de ballica de ciertos suelos, pero no de todos, a la presencia de impurezas contenidas en los fertilizantes usados. Este objetivo se dilucidará en un trabajo posterior, mediante el empleo de una misma fórmula de fertilización, integrada por sustancias químicas de distinta pureza y que, por razones de simplificación, prescinda del Mg.

CONCLUSIONES

1. Múltiples ensayos de campo (Revisión de Literatura) muestran una falta generalizada de respuesta a la encaladura, cuando ésta se mide en términos de mayor rendimiento de los diversos cultivos. La a veces controvertida respuesta se ha pretendido asociar con el tipo de suelo, con la disponibilidad de fósforo y con la modificación de algunas propiedades físicas del

CUADRO 4. Condiciones que generarían, con la fertilización NPKCaMgS, a cada uno de los cuatro grupos de suelos distinguidos en el Cuadro 3

TABLE 4. Conditions generating, with the application of NPKCaMgS, each of the four groups indicated in Table 3

Características del grupo descrito en el Cuadro 3					Acción de la fertilización NPKCaMgS sobre los micronutrientes		
Grupo	No	Muestras o/o	Respuesta a NPKCaMgS	Deficiencia de micronut.	Micronut. deficientes		Micronut. excesivos
					1a. deficiencia	2a. deficiencia	
a	69	15,20	buena	hay	Se corrige	no hay	no hay
b	122	26,87	buena	no hay	no hay; disponibilidades aumentan.	no hay	no hay
c	179	39,43	mala	hay	Si existiese, se corrige	no se corrige	Si hubiesen se agravan.
d	84	18,50	mala	no hay	no hay; disponibilidades aumentan pudiendo llegar a excesivas.	no hay	disponibilidades de este u otro son excesivas.

¹ Suministrado con la fertilización NPKCaMgS.

² No suministrado con NPKCaMgS.

CUADRO 5. Recuento por provincias de los suelos con respuestas o disponibilidades deficientes, suficientes o excesivas, para las fertilizaciones o nutrientes que se indican*

TABLE 5. Number of soils with deficient, sufficient or excessive response or availability, for the fertilizations or nutrients indicated

Provincia	Respuesta a las Fertilizaciones					
	NPKCaMgS			NPKCaS		
	Deficiente	Suficiente	Excesiva	Deficiente	Suficiente	Excesiva
Arauco	47	20	3	53	17	0
Biobío	31	29	9	23	34	12
Cautín	31	12	4	23	24	0
Valdivia	46	19	4	35	21	13
Osorno	23	14	0	18	13	6
Llanquihue	34	13	3	9	26	15
Chiloé	24	14	5	18	13	12
Aisén	5	10	0	7	8	0
Magallanes	22	29	7	19	30	9
TOTAL	263	160	35	205	186	67

Provincia	Disponibilidad de Nutrientes								
	Magnesio			Micronutrientes			Calcio		
	Deficiente	Suficiente	Excesiva	Deficiente	Suficiente	Excesiva	Deficiente	Suficiente	Excesiva
Arauco	31	32	7	28	36	6	31	36	3
Biobío	33	33	3	40	24	5	33	29	7
Cautín	38	9	0	34	13	0	23	23	1
Valdivia	21	40	8	46	14	9	18	42	9
Osorno	19	12	5	14	17	5	18	14	4
Llanquihue	14	33	3	21	24	5	15	28	7
Chiloé	18	16	8	19	20	4	20	17	6
Aisén	5	10	0	5	7	3	10	5	0
Magallanes	45	11	2	40	17	1	29	25	4
TOTAL	224	196	36	247	172	38	197	219	41

* Las respuestas deficientes, suficientes o excesivas tienen valores de A que son menores de 90, entre 90 y 110, ó superiores a 110, respectivamente.

suelo. Los resultados aquí expuestos permiten presumir que la aplicación de carbonato de magnesio (y por similitud de cualquier material encalante) puede cambiar la disponibilidad del o de los micronutrientes integrantes de una deficiencia múltiple. Los materiales encalantes actuarán excepcionalmente como correctores de la acidez; en condiciones de menor acidez, habrá una satisfactoria reposición del calcio extraído por las plantas con las cantidades suministradas con los abonos fosfatados que lo contienen como catión acompañante. Así se explica la satisfactoria respuesta observada en este ensayo de macetas, cuando el suelo se fertiliza con NPKCaMgS o NPKCaS y no interfiere algún micronutriente

2. El mayor número de muestras es deficiente en micronutrientes (247), seguidos por Mg (224) y finalmente por Ca (197). Las dos primeras cifras superan a las muestras con mala respuesta a NPKCaS (205) pero no a las con mala respuesta a NPKCaMgS (263).

3. La existencia de una deficiencia de Mg no se asocia siempre con una mejor respuesta a la fertilización NPKCaMgS que NPKCaS, porque es indispensable considerar otros factores que condicionan los rendimientos. Una importancia preponderante se le concede a la disponibilidad de micronutrientes, para comprender la intensidad de las diferencias de respuesta encontradas. La peculiaridad que, tanto con NPKCaMgS como con NPKCaS, se obtengan tendencias similares, relega al Mg de su función nutritiva y lleva a anteponer su posible interacción (antagónica o sinérgica) con algún micronutriente problemático, ya sea por causar una intensificación en su carencia o en su exceso.

4. Cuando se ordenan los 458 suelos de acuerdo a la magnitud de la respuesta observada con la fertilización NPKCaMgS y según la disponibilidad de micronutrientes (B + Mo + Zn + Cu + Mn), pueden definirse los siguientes 4 grupos:

- uno mayoritario (179 suelos; 39,430/o), deficiente en micronutrientes y Mg, con mala respuesta a NPKCaMgS y a NPKCaS.
- otro minoritario (69 suelos; 15,200/o), con buena respuesta a NPKCaMgS y a NPKCaS, aunque deficientes en micronutrientes, pero no siempre en Mg.
- un grupo (122 suelos; 26,870/o), que no tiene carencia de micronutrientes ni de Mg, con buena respuesta a las fertilizaciones NPKCaMgS y NPKCaS.
- un grupo (84 muestras; 18,500/o), sin deficiencia de micronutrientes y sólo ocasionalmente de Mg, con mala respuesta a NPKCaMgS y también, aunque superior, a NPKCaS.

5. Dos tercios de las muestras responde a la fertilización NPKCaMgS y NPKCaS de un modo que es previsible, porque son suelos:

- sin deficiencia de micronutrientes ni de Mg y, por tanto, con óptima respuesta cuando se corrigen todas las demás deficiencias; o
- con una deficiencia nutritiva múltiple, integrada por micronutrientes y Mg, que no se corrige con las impurezas contenidas en el superfosfato triple y sulfato de potasio.

6. El tercio restante de las muestras ilustra sobre los siguientes aspectos:

- la pobreza en uno o más micronutrientes, acompañada a veces por la de Mg y menos frecuentemente por la de Ca, que caracteriza a 69 suelos con óptima respuesta a NPKCaMgS y NPKCaS, tiene que haber sido corregida. El suministro de él o los nutrientes carenciales tiene que haberse producido con las impurezas contenidas en al menos uno de los abonos comerciales comunes a ambas fertilizaciones: sulfato de potasio o superfosfato triple.
- todos los promedios provinciales de las mismas 69 muestras, acusan una deficiencia de micronutrientes, frecuentemente acompañada por la de Mg, que se corrige con NPKCaS. Es difícil aceptar que las cantidades de Mg contenidas en el sulfato de potasio (y menos aún en el superfosfato triple) sean lo suficientemente abundantes como para corregir la carencia. Por esta razón, se sospecha que los menores rendimientos observados para el tratamiento sin Mg, pueden no deberse siempre a una deficiencia de Mg, sino más bien corresponder a una relación iónica inadecuada de éste con algún micronutriente. Es imposible deducir en este trabajo la identidad del micronutriente.
- la mala respuesta encontrada con la fertilización NPKCaS, en 84 suelos que no son deficientes en micronutrientes, se empeora cuando se incluye el carbonato de magnesio de pureza analítica (NPKCaMgS). De ninguna manera puede invocarse una pobreza en micronutrientes para justificar la mala producción observada, porque no hay tal carencia. En cambio, puede suponerse que cantidades adicionales de uno o más micronutrientes, proporcionados con la abonadura NPKCaS, convierten en excesiva a la cantidad total disponible, para una nutrición óptima de la ballica, particularmente en presencia de carbonato de magnesio. Un apoyo adicional a esta interpretación la proporcionan 16 muestras de este grupo, para las cuales se constatan disminuciones de rendimiento causados por la inclusión de todos los micronutrientes en la abonadura completa, respecto de la incompleta, por omisión de todos los microelementos.

7. Una suficiencia de microelementos y de Mg, determinada en 122 muestras, se asocia con rendimientos similares y buenos obtenidos con NPKCaMgS y NPKCaS. Lo contrario sucede con 84 suelos, donde la suficiencia de microelementos está acompañada por una cantidad de Mg que puede considerarse en el límite de la deficiencia. Contrariamente a lo esperado, los malos rendimientos encontrados en estos últimos con NPKCaS superan apreciablemente a los obtenidos con NPKCaMgS. Consecuentemente, no se trata de una deficiencia de Mg propiamente tal, sino más bien de una relación inadecuada entre nutrientes, que comprometen a algún micronutriente y al Mg.

8. Se supone la participación de a lo menos dos o, tal vez, tres microelementos problemáticos, pero donde solamente uno de ellos puede tener una disponibilidad excesiva, mientras él o los otros dos restantes son deficientes. Para el caso que existan dos micronutrientes carenciales, solamente uno de ellos podría ser corregido con la fertilización NPKCaMgS y, eventualmente, podría favorecerse el enriquecimiento del micronutriente presente en exceso, mediante las impurezas contenidas en los abonos comerciales aplicados.

9. Será difícil dar una correcta solución a los problemas generados por el Mg, para alcanzar la fertilidad potencial, cuando este nutriente integra una deficiencia múltiple, junto a los micronutrientes, si se carece de una información sobre la disponibilidad de cada uno de los micronutrientes esenciales.

10. Todo parece indicar que, para alcanzar la fertilidad potencial en algunos suelos pobres en micronutrientes, son eficientes las fertilizaciones NPKCaMgS y NPKCaS. La validez de esta conclusión se relaciona con dos aspectos importantes, que deberán estudiarse en el futuro:

- a. la existencia de uno o más micronutrientes deficientes en el suelo, cuya identificación es indispensable; y
- b. si las pequeñas cantidades de micronutrientes contenidas como impurezas en el superfosfato triple y el sulfato de potasio son específicas y suficientes para corregir todas las deficiencias de los suelos, con las fertilizaciones NPKCaS y NPKCaMgS. Una importante simplificación experimental representa la elección de la primera fórmula de fertilización mencionada.

RESUMEN

En un ensayo de macetas, fertilizado con NPKCaMgS, se sembró ballica (*Lolium perenne* × *L. multiflorum*) en 458 suelos, procedentes de la área comprendida entre las provincias de Magallanes y Arauco, ambas inclusive. Algunos de los nutrientes fueron suministrados como abonos comerciales (superfosfato triple y sulfato de potasio) y los restantes como sustancias químicas de pureza analítica (nitrato de amonio y carbonato de magnesio).

Los rendimientos de la fertilización NPKCaMgS se compararon con los de la abonadura completa y con NPKCaS, mediante el empleo del diagrama de fertilidad. Se adoptó el criterio general de considerar mala o deficiente una producción cuando el valor A de su coeficiente de posición es inferior a 90; buena o suficiente, cuando está comprendida entre 90 y 110, y excesiva, cuando es superior a 110.

El sólo conocimiento de la existencia de una deficiencia de Mg, no constituye un elemento de juicio suficiente para predecir con certeza la respuesta que se tendrá a la fertilización NPKCaMgS, porque junto con

los micronutrientes, integra una deficiencia nutritiva múltiple, donde es a menudo más intensa la pobreza en microelementos.

Se distingue en este trabajo cuatro grupos de suelos, de acuerdo a la magnitud de la respuesta observada a la fertilización NPKCaMgS:

- a. Un 39,43% (179 muestras), con mala respuesta a NPKCaMgS y a NPKCaS, deficientes en micronutrientes y también en Mg.
- b. Un 26,87% (122 suelos), con buena respuesta a NPKCaMgS y a NPKCaS, sin deficiencia de Mg ni de micronutrientes.
- c. Un 18,50% (84 muestras), con mala respuesta a NPKCaMgS y también, aunque algo mejor, a NPKCaS, que no son deficientes en micronutrientes y, sólo ocasionalmente, lo son en Mg. Este grupo tiene 16 suelos con exceso de micronutrientes, porque la abonadura completa produce rendimientos menores que cuando se omiten los microelementos.

d. Un 15,200/o (69 suelos), con buena respuesta a NPKCaMgS y NPKCaS, que aunque son deficientes en micronutrientes, no siempre lo son en Mg. Las buenas producciones obtenidas son posibles porque se han corregido las deficiencias de micronutrientes con las impurezas contenidas en los fertilizantes comerciales agregados.

Finalmente, se presenta una hipótesis general, que permite explicar la respuesta encontrada con cada grupo de suelos; básicamente, se supone la participación de a lo menos dos, o tal vez tres, microelementos problemáticos.

LITERATURA CITADA

- ALBRECHT, W. 1941. Calcium as a factor in seed germination. *Agron. J.* 33 (2): 153—155.
- AZOCAR, P. 1964. Resultados de los ensayos de forrajeras en suelos de Ñadi. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 22, abril 1964. p: 101.
- AZOCAR, P. 1962a. Ensayo de abono en establecimiento de mezcla forrajera, fundo Santa Ana, Huiti. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 15, noviembre 1962. p: 132.
- AZOCAR, P. 1962b. Ensayo de abono en establecimiento de mezcla forrajera. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 15, noviembre 1962. p: 133.
- AZOCAR, P. y ORTIZ, F. 1964. Ensayo de abono en mezcla de forrajera (Trébol rosado, trébol ladino, ballica, pasto ovillo, festuka K—31) en Ñadi. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 22, abril 1964. p: 106.
- BERNIER, R. 1981. Exploración de deficiencias nutricionales en los suelos de la XI Región. En: Proyecto: Investigación en Técnicas Pecuarias en la XI Región de Chile. Coyhaique, julio 1981. Osorno, Chile, INIA—Remehue. p: 1—8.
- CERVIÑO, D. 1962. Tipos y dosis de cal en alfalfa. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 15, noviembre 1962. p: 198—199.
- CHAVEZ, G., ONETO, C. y MURUA, M. 1968. Determinación de micronutrientes en fertilizantes. Santiago. Instituto Pedagógico Técnico (UTE). 43 p. (Tesis mimeografiada).
- CHILE. Industria Azucarera Nacional (IANSa). 1964—1965. I Parte. Resultados de los ensayos de fertilizantes en remolacha azucarera. En: Resultados de la investigación agronomica en remolacha azucarera. Temporada 1964/1965. Santiago. p: 15—64.
- CHILE. Industria Azucarera Nacional (IANSa). 1962—1963. Resultados de la investigación agronomica en remolacha azucarera. Temporada 1962/1963. Santiago. p: 28—56.
- ELLIS, A.; McDONALD, R. y VYHMEISTER, E. 1979. Efecto de aplicaciones de CaO sobre humectación y disponibilidad de fósforo en suelos de ceniza volcánica. *Agro Sur (Chile)* 7 (2): 51—56.
- ETCHEVERS, J. y MERINO, R. 1966. Estudio del problema de las viñas de la área de secano en relación a los agentes carenciales. En: SACH, XVIII Jornadas Agronómicas, Santiago, Vitivinicultura. (Publicación especial N° 3). p: 39—52.
- GAY, C. 1842. Historia Física y Política de Chile. Vol. 3. Ensayo sobre la agricultura de Chile. Tomo 2. Paris, Ed. Claudio Gay. 450 p.
- GOIC, L. 1968. Fertilización en establecimiento de praderas en 5 series de suelos de Osorno. *Agricultura Técnica (Chile)* 28 (1): 16—22.
- GUTIERREZ, T. 1964a. Ensayo de cal y fosfato en línea en ballica inglesa y trébol rosado. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 22, abril 1964. p: 119.
- GUTIERREZ, T. 1964b. Ensayo de cal al voleo versus cal en línea, en ballica inglesa y trébol rosado. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 22. p: 121.
- GUTIERREZ, T. 1964c. Ensayo de abonos exploratorios NPK con y sin cal. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 22. p: 116.
- GUTIERREZ, T. 1964d. Cal y fosfato en alfalfa. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 22. p: 111.
- HEWITT, E. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. 2nd. ed. Farnham, Bucks, England. Commonwealth Agricultural Bureau. (Technical communication N° 22). 547 p.
- KOCHER, F.; VILLALOBOS, A. y VALENZUELA, J. 1966. Deficiencia de boro en suelos de Confluencia, provincia de Ñuble, detectada mediante sintomatología externa de vides cepa país. *Agricultura Técnica (Chile)* 26 (4): 172—175.
- LETELIER, E. 1969. Respuesta a la fertilización de los suelos volcánicos chilenos (trumaos), según resultados de ensayos de campo. En: IICA, Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6—13 julio 1969. Turrialba (Costa Rica), Centro de Enseñanza e Investigación. p: C. 3.1. — C. 3.14.
- LETELIER, E. 1965. Uso actual y necesidad potencial de fertilizantes en la agricultura chilena (I Parte). *Agricultura Técnica (Chile)* 25 (2): 45—51.

- LETELIER, E. 1964. Fertilidad de los trumacos. En: SACH. Mesa redonda de suelos volcánicos, Valdivia, 1964. (Publicación especial Nº 1). p: 109—117.
- LETELIER, E. 1961. Cien ensayos NPK en trigo. M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín técnico Nº 9. 43 p.
- LETELIER, E. 1953. El efecto del encalado sobre el rendimiento del trigo en Chile. Agricultura Técnica (Chile) 13 (2): 109—154.
- LETELIER, E. 1950. Abonos. En: Siete años de investigación agrícola, 1940—1947. Santiago, Chile. Departamento de Investigación Agrícola. p: 177—232.
- LETELIER, E. 1946. La fertilización de la papa en la zona del lago Llanquihue. Simiente (Chile) 16 (1): 40—42.
- LETELIER, E. 1945. La cal en los ensayos de abonos del Departamento de Genética y Fitotecnia. Simiente (Chile) 15 (3): 128—130.
- LETELIER, E. 1944. Tres años de ensayos en abonos en trigo. Agricultura Técnica (Chile) 4 (2): 209—223.
- LETELIER, E. y MONTALDO, A. 1954. Ensayos de abonos en papa, 1947—1952. Agricultura Técnica (Chile) 14 (1): 50—67.
- LETELIER, E. y MONTALDO, A. 1945. Ensayos de abonos en papas realizados en la Estación Genética "Centinela". Agricultura Técnica (Chile) 5 (2): 111—128.
- LETELIER, E. and WRIGHT, C. 1962. Some relationships between soil process and fertilizer responses in Chile. Transactions A3, International Soil Conference, New Zealand, 1962.
- MARULL, J. 1945. Necesidad de cal en los suelos chilenos. Simiente (Chile) 15 (3): 113—116.
- MATTHEWS, C. 1945. La realidad del problema del calcio en nuestros suelos. Simiente (Chile) 15 (3): 99—107.
- McBRIDE, M. 1976. Exchange and hydration properties of Cu^{++} on mixed-ion Na^{+} — Cu^{++} smectites. Soil Sci. Soc. Am. J. 40 (3): 452—456.
- MERCIK, S.; CORALSKI, J. GOZLINSKI, H. 1977. Effect of potassium—magnesium and potassium—sodium ion on yield and chemical composition of several crops. Soils and Fertilizers 40 (1): 20. (Abstract 164).
- MOLLER, E. 1962. Beitrage zur Frage der Kalkdüngung auf Südboden. En: Bund der Landwirte Dr. Bertrand Kalt, Tagungsberichte. Temuco, August 1962. Santiago, Talleres Gráficos Claus von Plate. p: 108—115.
- OLSEN, S. 1973. Micronutrient interactions. En: Mortvedt, J.; Giordano, P.; and Lindsay, W. (ed.), Micronutrients in Agriculture. 2nd. ed. Madison, Wisconsin. Soil Sci. Soc. Am. p: 243—264.
- ORSTOM, 1974a. Caracteristiques et proprietes hydriques des quelques sols derivees de cendre volcanique du Chili—Central, Martinique et Guadalupe. Publication ORSTOM—Antilles Nº 85. 119 p.
- ORSTOM, 1974b. Caracteristiques et proprietes hydriques des quelques sols derivees de cendre volcanique du Chili—Central. Annexe: Profiles et Analyses. Publication ORSTOM—Antilles Nº 85.
- PINCHEIRA, R. 1963. Ensayo de campo en remolacha con distintos métodos de aplicación, tipo y dosis de enmienda aplicada a la siembra. Chillán, Chile. U. de Concepción, Facultad de Agronomía (Tesis mimeografiada). 151 p.
- PUCHEU, C. 1963. Comparación entre métodos de determinación de necesidades de encalado. Chillán, Chile. U. de Concepción, Facultad de Agronomía. (Tesis mimeografiada) 163 p.
- RATHSACK, K. 1962a. Impresión sobre los problemas de fertilización en el sur de Chile. Conferencia en el M. de Agricultura. Santiago, octubre 15, 1962. (Traducción mimeografiada de Otto Vogel). 5 p.
- RATHSACK, K. 1962b. Der Nährstoffhaushalt landwirtschaftlicher Kulturböden Südmiles. En: Bund der Landwirte, Dr. Bertrand Kalt, Tagungsberichte. Santiago, Talleres Gráficos Claus von Plate. p: 59—72.
- RICHTER, C. y MUÑOZ, O. 1970. Fertilización y métodos de establecimientos de forrajeras para la provincia de Llanquihue. Llanquihue, Lechera del Sur S.A. 11 p.
- ROCKEFELLER FOUNDATION, 1962. Program in the Agricultural Sciences. Annual Report, 1961—1962. New York. p: 219—220.
- RODRIGUEZ, M. 1945. El empleo de la cal. Simiente (Chile) 15 (3): 109—111.
- SAUNDERS, W. 1959. Effect of phosphate topdressing on a soil from andesitic volcanic ash. N.Z. Agric. Res. 2 (4): 659—665.
- SCHENKEL, G. 1982. Prospección de deficiencias nutritivas con ensayos de macetas; algunas reflexiones. En: U. de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. 1a Reunión de Especialistas en Suelos Volcánicos. Santiago, 14—16 abril 1982. (Publicación Miscelánea Agrícola Nº 16). p: 175—202.
- SCHENKEL, G. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. II. Diagrama de fertilidad. Turrialba (Costa Rica) 21 (3): 263—271.
- SCHENKEL, G. 1969. Problemas de la acidez en suelos derivados de cenizas volcánicas. En: IICA. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, 6—13 julio 1969. Turrialba (Costa Rica), Centro de Enseñanza e Investigación del IICA. p: B.9.1 — B.9.11.
- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1982a. Cambios de fertilidad observados en perfiles de suelos chilenos. II. Con fertilización fosfatada en un suelo Vilcún (Typic Dystrandept) sembrado con alfalfa. Agricultura Técnica (Chile) 43 (2): 95—103.
- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1982b. Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos de macetas I. Antecedentes. Agricultura Técnica (Chile) 42 (2): 105—114.
- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1971. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. II. Método usado. Agricultura Técnica (Chile) 31 (1): 9—24.

- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1982a. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXIII. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia Arauco. Agricultura Técnica (Chile) 42 (2): 85–104.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1982b. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXII. Macronutrientes, provincia Arauco. Agricultura Técnica (Chile) 42 (1): 31–54.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1982c. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXI. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia de Biobío. Agricultura Técnica (Chile) 42 (1): 1–14.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1980. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XX. Macronutrientes, provincia Biobío. Agricultura Técnica (Chile) 40 (3): 111–129.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1975. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XIX. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia Aisén. Agricultura Técnica (Chile) 35 (1): 15–25.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1974a. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XVIII. Macronutrientes, provincia de Aisén. Agricultura Técnica (Chile) 34 (4): 189–200.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1974b. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XVII. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia de Magallanes, Continente. Agricultura Técnica (Chile) 34 (3): 116–136.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1974c. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XVI. Macronutrientes, provincia de Magallanes, Continente. Agricultura Técnica (Chile) 34 (2): 68–83.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1973a. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XV. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia de Chiloé. Agricultura Técnica (Chile) 34 (1): 19–29.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, H.; y GAJARDO, M. 1973b. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XIV. Macronutrientes, provincia de Chiloé. Agricultura Técnica (Chile) 33 (4): 213–224.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1973c. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XIII. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia de Llanquihue. Agricultura Técnica (Chile) 33 (3): 121–128.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1973d. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XII. Macronutrientes, provincia de Llanquihue. Agricultura Técnica (Chile) 33 (3): 111–121.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1973e. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XI. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia de Osorno. Agricultura Técnica (Chile) 33 (2): 53–72.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1972a. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. X. Macronutrientes, provincia de Osorno. Agricultura Técnica (Chile) 32 (2): 99–111.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1972b. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. IX. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia de Valdivia. Agricultura Técnica (Chile) 32 (1): 48–55.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1972c. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. VIII. Macronutrientes, provincia de Valdivia. Agricultura Técnica (Chile) 32 (1): 37–48.
- 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 de Cautín. Agricultura Técnica (Chile) 31 (4): 181–191.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1971b. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. VI. Macronutrientes, provincia de Cautín. Agricultura Técnica (Chile) 31 (4): 169–181.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1971c. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. V. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia de Malleco. Agricultura Técnica (Chile) 31 (3): 136–142.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T.; y GAJARDO, M. 1971d. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. IV. Macronutrientes, provincia de Malleco. Agricultura Técnica (Chile) 31 (3): 129–135.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; y GAJARDO, M. 1982d. Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos de macetas. III. Mediante *Trifolium pratense* en los suelos de Malleco. Agricultura Técnica (Chile) 42 (4): 273–285.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; y GAJARDO, M. 1985. Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos de macetas. IV. Mediante *Trifolium pratense* en suelos de la provincia Arauco. Agricultura Técnica (Chile) 45 (2):
- SCHENKEL, G.; PINO, E.; y FLOODY, T. 1971e. 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.
- SCHWABE, G. 1961. Duengungsversuche zu Koernerfruechten im suedlichen Chile unter Beruecksichtigung mikroklimatischer Einfluesse. Die Phosphorsaerue 21: 113–141.
- SILVA, B.; Mc DONALD, R.; y FEBRERO, I. 1981. Efecto de la aplicación de óxido de calcio sobre la disponibilidad de fósforo y rendimiento de 4 cultivos en un suelo trumao. En: Tercer Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, 9 al 12 noviembre, Santiago, Chile, U. Católica de Chile, Facultad de Agronomía. p: 13.
- STEWART, F. 1963. Plant physiology, a treatise. New York, Academic Press. 811 p.
- STORIE, R. 1945. Inventario de suelos de Chile Central. Agricultura Técnica (Chile) 5 (1): 79–94.

- SUMNER, M. 1978. Interpretation of nutrient ratios in plant tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 9 (4): 335—345.
- TOLLENAAR, H. 1969. Deficiencia de boro en plantaciones de pino en la zona Central de Chile, *Agricultura Técnica* (Chile) 29 (2): 85—88.
- URBINA, A. 1964a. Interacción calcio—fósforo en suelos de cenizas volcánicas. I. Parte. En: SACH, Mesa redonda de suelos volcánicos, Valdivia 1964. (Publicación especial N° 1). p: 127—135.
- URBINA, A. 1964b. Interacción cal y fósforo en suelos de cenizas volcánicas de la región sur. II Parte. En: SACH, Mesa redonda de suelos volcánicos, Valdivia 1964. (Publicación especial N° 1). p: 137—149.
- URBINA, A. 1964c. Interacción fósforo—calcio en suelos de cenizas volcánicas. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 1. p: 441.
- URBINA, A. 1962a. Interacción cal y fósforo en suelos de cenizas volcánicas. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 15, noviembre 1962. p: 283.
- URBINA, A. 1962b. Ensayo de localización de carbonato de calcio en suelos de trumaos. En: M. de Agricultura, Dep. de Investigación Agrícola. Santiago. Boletín especial N° 15, noviembre 1962. p: 314.
- URZUA, H. y PINILLA, H. 1981. Influencia de la inoculación y peletización de semillas de trébol blanco sobre la fijación simbiótica de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas. En: Tercer Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, 9 al 12 noviembre 1981. Santiago, U. Católica de Chile, Facultad de Agronomía. p: 38—39.
- UTILIZACION INTENSIVA de las praderas en la producción láctea (Anónimo). 1969. *Simiente* (Chile) 39 (1—3): 22—23.
- VERGARA, R. 1963. Influencia del encalado en la mineralización del nitrógeno y fijación de fósforo y potasio en suelos representativos de la provincia de Ñuble. Chillán, Chile, U. de Concepción, Facultad de Agronomía. (Tesis mimeografiada). 113 p.
- VOGEL, O. 1959. Problema de carencia minerales en betarraga. Ensayo de abono con 6 elementos. *Simiente* (Chile) 29 (1—4): 31—36.
- VOGEL, O. 1945. ¿Existe en realidad un problema de falta de cal en nuestros suelos? Santiago, Chile. *Diario El Mercurio*, junio 16 de 1945.
- WEINBERGER, P. 1971. Charakteristische Eigenschaften und die Fruchtbarkeit Suedchilenischer Grasslandboeden auf vulkanischen Aschen. *Der Tropenlanwirt* (Witzenhausen, Alemania) 72: 51—71.