

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

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

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

SUMMARY

Twenty eight superficial and subsuperficial soil samples were sown with ryegrass (*Lolium perenne* x *L. multiflorum*), in a pot trial. All soils proceeded from the Cautín province and were low in available P. The interpretation of the dry matter yields, harvested four times, was made with the fertility diagram, and two equivalent NPKCaS fertilizations were compared: a. chemical substances of analytical quality (p.a.), and b. commercial fertilizers, potassium sulphate and superphosphate (conc.).

Ryegrass responded to the micronutrient impurities of the fertilizers, correcting soil deficiency in many soils. In some samples, the addition of the micronutrients in the fertilizers to those in the soil, produced an excessive accumulation, and yields were lower when commercial fertilizers substituted analytical chemicals. For other few samples, the responses to both NPKCaS treatments were low, because a micronutrients deficiency subsisted.

A general interpretation of results is discussed. If this differential behavior to both NPKCaS fertilizations occurs also in the field with different crops, it would signify that the number of soils poor in micronutrients has been underestimated.

To evaluate the extension of the areas affected and to identify the micronutrients involved, it is mandatory to use chemical substances free of the searched micronutrients.

MATERIALES Y METODOS

Se eligen 12 suelos, procedentes de la provincia de Cautín (Cuadro 1). Junto a las doce muestras superficiales, se siembran 16 subsuperficiales, para determinar posibles diferencias en el crecimiento de *Lolium perenne* x *L. multiflorum*, cuando se eligen dos alternativas de fertilización con NPKCaS. La experiencia se realiza en la Estación Experimental Carillanca (INIA), Temuco.

Algunas propiedades químicas y los antecedentes de siembra se proporcionan en el Cuadro 2. El suministro de los nutrimentos se hace, en un caso, empleando abonos comerciales en uso por los agricultores de la zona (superfosfato triple y sulfato de potasio) y en el otro caso, recurriendo a sales químicas de pureza analítica.

¹ Recepción de originales: 6 de noviembre de 1984.

Este artículo completa esta serie iniciada en 1970 (Agricultura Técnica 30 (4): 173-187) y sirve de enlace con la serie "Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos en macetas", iniciada en 1982 (Agricultura Técnica 42 (2): 105-114). Por su extensión excepcional, se publica en dos secciones: Revisión de Literatura (Agricultura Técnica 45 (3): 259-266) y Experimental. Parte de él fue presentada al IV Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Chile, Valdivia, 24-26 de septiembre de 1984.

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

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

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

CUADRO 1. Identificación de las muestras de suelo procedentes de la provincia de Cautín**TABLE 1. Identification of the soil samples from the Cautín Province**

Muestra Nº	Profundidad (cm)	Color Munsell	Lugar	Observación
2222	0-15	10 YR4/3	Villarrica	12 km al este, Santa Clotilde
2223	15-30	10 YR4/4	Villarrica	12 km al este, Santa Clotilde
2224	30-45	10 YR4/4	Villarrica	12 km al este, Santa Clotilde
2225	45-60	10 YR4/4	Villarrica	12 km al este, Santa Clotilde
2226	0-15	10 YR4/3	Colga	Alto Mirador (al este de Pitrufrquén)
2227	15-30	10 YR4/4	Colga	Alto Mirador (al este de Pitrufrquén)
2228	30-45	10 YR4/4	Colga	Alto Mirador (al este de Pitrufrquén)
2229	45-60	10 YR4/4	Colga	Alto Mirador (al este de Pitrufrquén)
2241	0-20	10 YR4/3	Loncoche	26 km hacia Calafquén, Chanleufú
2242	20-40	10 YR4/4	Loncoche	26 km hacia Calafquén, Chanleufú
2243	0-20	10 YR4/3	Loncoche	8 km hacia Lumaco, Sr. Menzel
2244	20-40	10 YR4/4	Loncoche	8 km hacia Lumaco, Sr. Menzel
2264	0-15	10 YR4/3	Quinta Faja	Caihue, 21,5 km al este de Gorbea
2265	0-15	10 YR4/4	Quinta Faja	Polule, 30 km al este de Gorbea
2266	15-30	10 YR5/4	Quinta Faja	Polule, 30 km al este de Gorbea
2267	0-15	10 YR4/3	Gorbea	4 km al este, cuarta faja
2268	15-30	10 YR4/4	Gorbea	4 km al este, cuarta faja
2269	30-50	10 YR4/4	Gorbea	4 km al este, cuarta faja
2270	50-80	10 YR4/4	Gorbea	4 km al este, cuarta faja
2271	0-20	10 YR4/3	Quitratue	10 km al este, sexta faja, Sr. F. Díaz
2272	20-40	10 YR4/4	Quitratue	10 km al este, sexta faja, Sr. F. Díaz
2273	40-60	10 YR4/4	Quitratue	10 km al este, sexta faja, Sr. F. Díaz
2274	60-80	10 YR4/4	Quitratue	10 km al este, sexta faja, Sr. F. Díaz
2275	0-20	10 YR4/3	Loncoche	Octava faja, Los Avellanos
2276	20-40	7,5 YR4/4	Loncoche	Octava faja, Los Avellanos
2285	0-20	10 YR3/2	Rariruca	Santa Ema, Sr. Gonzalo Lara
2286	0-20	10 YR4/3	San Patricio	Sr. A. Coulon, próximo a Vilcún
2290	0-20	10 YR4/2	San Patricio	Sr. A. Chubretovic, cerca de Vilcún

El procedimiento seguido para efectuar los análisis químicos del suelo ha sido descrito anteriormente (Schenkel y otros, 1970).

El ensayo de macetas se efectúa siguiendo el método descrito por Schenkel y Baherle (1971), agregando las sales descritas y en las cantidades recomendadas, para los tres tratamientos siguientes: fertilización completa; fertilización NPKCaS con sales de pureza analítica; y fertilización completa, sin micronutrientes. Solamente en un cuarto tratamiento, fertilización NPKCaS con abonos comerciales, se introduce una modificación, por cuanto se reemplazan las sales de pureza analítica, ortofosfato monocálcico y sulfato de potasio, por cantidades equivalentes de superfosfato triple (3,4 g/maceta) y sulfato de potasio (2,0 g/maceta). De los cuatro tratamientos, solamente el de fertilización completa recibe microelementos. Los dos tratamientos NPKCaS no reciben carbonato de calcio, ni carbonato de magnesio.

La cantidad de materia seca (a 65° C) obtenida en cuatro cortes de ballica, se usa para calcular las pendientes y el coeficiente de posición de las líneas res-

pectivas de fertilidad (fertilización completa y fertilización completa sin micronutrientes) y de producción (NPKCaS con abonos comerciales y NPKCaS con sales de pureza analítica), como se ha indicado por Schenkel, Pino y Floody (1971b). La interpretación de los resultados se hace con ayuda del diagrama de fertilidad (Schenkel, 1971).

RESULTADOS Y DISCUSION

Del análisis químico dado en el Cuadro 2, se infieren algunas propiedades interesantes:

- Las muestras más ácidas proceden de la superficie del perfil. El valor del pH, medido en KCl normal, crece a medida que aumenta la profundidad del suelo. Los cambios más notorios se observan en los suelos de Gorbea y de Quitratue. Para el de Gorbea se mide un pH 4,7 en superficie (# 2267) y 5,5 a la profundidad de 50-80 cm (# 2270).
- La mayor riqueza en carbono orgánico se encuentra en la muestra superficial. A mayor profundidad

CUADRO 2. Antecedentes de siembra y algunas propiedades de los suelos empleados**TABLE 2. Sowing information and some properties of the soils used**

Suelo		Humedad o/o	Fecha Siembra	Mat. Org. o/o	pH KCl	P—Olsen ppm	K—Morgan ppm	Aluminio ppm
Nº	g/maceta							
2222	1160	68,0	27.08.68	8,1	5,3	5,4	45	126
2223	1060	65,1	27.08.68	3,1	5,6	0,6	25	160
2224	1060	70,3	27.08.68	3,7	5,7	2,9	20	151
2225	1060	85,1	27.08.68	2,3	5,8	1,4	15	178
2226	1060	75,5	27.08.68	9,0	4,8	5,9	105	255
2227	1060	74,3	28.08.68	6,0	5,3	1,3	45	196
2228	1060	79,6	28.08.68	6,0	5,5	2,8	20	255
2229	1060	89,5	03.09.68	2,8	5,1	2,5	10	235
2241	1060	74,8	13.09.68	10,4	4,6	4,8	35	288
2242	1060	94,4	13.09.68	12,5	5,1	1,3	30	276
2243	1160	84,5	13.09.68	10,7	4,5	7,2	50	235
2244	1160	65,6	13.09.68	4,6	5,1	4,4	25	213
2264	1060	72,2	26.09.68	8,5	4,5	11,8	25	245
2265	1060	68,4	27.09.68	9,3	4,5	12,0	20	255
2266	1060	75,0	27.09.68	6,3	4,5	4,6	20	245
2267	1060	69,1	27.09.68	8,7	4,7	10,4	40	223
2268	1060	84,1	27.09.68	6,3	5,0	3,8	30	255
2269	1060	95,9	30.09.68	3,1	5,3	2,4	30	245
2270	1060	104,0	30.09.68	2,7	5,5	1,9	20	288
2271	1160	68,4	01.10.68	8,0	4,9	9,6	35	204
2272	1060	76,1	01.10.68	3,8	5,5	0,6	20	255
2273	1060	95,2	01.10.68	3,7	5,7	1,0	15	245
2274	1060	102,0	01.10.68	2,8	5,7	1,0	10	235
2275	1060	73,6	02.10.68	7,0	5,2	4,0	80	300
2276	1060	95,5	02.10.68	4,4	5,6	0,6	25	325
2285	1060		04.03.69	12,7	4,6	5,2	45	235
2286	1010		04.03.69	11,1	4,7	4,2	25	235
2290	1010		04.03.69	12,8	4,6	4,2	40	325

hay un notable empobrecimiento en materia orgánica. Para el suelo de Gorbea disminuye de 8,70/o (# 2267) a 2,70/o en la profundidad 50—80 cm (# 2270). Tendencias parecidas se observan con los suelos de Villarrica (8,1 a 2,30/o) y de Quitratue (8,0 a 2,80/o).

- Las cuatro muestras más ricas en P—Olsen, cuyos valores pueden estimarse sólo intermedios, provienen todas del horizonte superficial. Las restantes muestras superficiales y, especialmente, las subsuperficiales, deben considerarse muy pobres en P—Olsen.
- La cantidad de Al analizada en el extracto de Morgan es menor en la superficie del perfil que a mayor profundidad. El suelo más rico procede de Loncoche (300 ppm) y duplica fácilmente a la cantidad encontrada en el suelo de Villarrica (126 ppm).
- El valor de K extraído con la solución de Morgan es en general bastante pobre para todas las muestras superficiales y algo inferior a los corrientemente encontrados en la provincia. Escapan por su mayor riqueza en K disponible unas pocas muestras

superficiales, especialmente la de Còiga (#2226) y tal vez la de Loncoche (#2275).

Estos resultados y otros entregados por Schenkel y otros, 1971a, permiten afirmar que los suelos elegidos son todos deficientes en P. Para aumentar en forma apreciable su fertilidad actual, será imprescindible recurrir a elevadas fertilizaciones fosfatadas.

Los valores promedios, dados en el Cuadro 3, para el coeficiente de posición de las dos líneas de producción NPKCaS, muestran que en general es ventajoso el empleo de fertilizantes comerciales, en vez de sustancias químicas de pureza analítica, para alcanzar la fertilidad potencial en los suelos en estudio. También, hay una gran similitud entre los valores promedios que tienen los coeficientes de posición para las correspondientes líneas de fertilidad de los micronutrientes y de producción NPKCaS, cuando se usan sales puras. Del mismo modo, pueden considerarse prácticamente iguales las fertilidades alcanzadas con los tratamientos de fertilización completa y fertilización NPKCaS, sobre la base de fertilizantes comerciales. Estas semejanzas orientan sobre la naturaleza de las impurezas contenidas en los fertilizantes comerciales, pues descartan

CUADRO 3. Valores de los coeficientes de la ecuación: $\log Y = \log A + mX$, que caracterizan a las líneas de producción NPKCaS y de fertilidad de los micronutrientes (B + Mo + Zn + Cu + Mn)

TABLE 3. Parameters for the equation: $\log Y = \log A + mX$, that characterizes the production lines NPKCaS and fertility lines for micronutrients (B + Mo + Cu + Zn + Mn)

Suelo Nº	NPKCaS con Sales de pureza analítica		NPKCaS con Abonos comerciales		Completo sin Micronutrientes	
	A	m*	A	m*	A	m*
2222	78	+ 89	83	+ 340	86	- 79
2223	76	+ 458	97	+ 44	84	- 29
2224	100	- 49	105	- 79	86	- 196
2225	81	+ 339	95	+ 117	70	+ 101
2226	66	+ 1210	117	0	60	- 1029
2227	100	+ 59	120	- 172	98	- 97
2228	90	+ 242	125	- 49	100	0
2229	102	+ 78	105	+ 82	95	- 93
2241	82	- 59	95	+ 97	87	0
2242	65	+ 51	85	+ 161	81	- 478
2243	96	+ 13	104	0	105	- 242
2244	97	- 93	118	- 314	93	- 144
2264	92	+ 25	93	+ 113	92	- 95
2265	96	- 25	104	0	100	- 231
2266	102	- 197	103	+ 184	104	- 300
2267	116	- 140	116	- 25	115	- 264
2268	125	- 323	124	- 137	122	- 490
2269	106	- 158	115	- 55	120	- 528
2270	92	- 971	106	+ 95	92	- 770
2271	93	- 88	104	+ 183	105	- 191
2272	84	+ 31	95	+ 332	100	- 441
2273	86	+ 177	100	+ 215	82	- 153
2274	115	- 394	135	- 449	104	- 292
2275	90	0	90	+ 191	81	- 124
2276	84	0	97	+ 144	90	- 205
2285	98	- 552	106	- 1126	112,5	- 824
2286	90	0	88	- 349	95	- 717
2290	101	- 729	85	- 694	101	- 506
PROMEDIO DE 28 MUESTRAS						
	93,5	- 36	103,9	- 41	95	- 301

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

al Mg y debe presumirse que se trata de los micronutrientes aportados por ellos, los cuales en todo caso tienen generalmente un efecto mejorador sobre la fertilidad de los suelos considerados.

En la Figura 1 se ilustra la superioridad de respuesta encontrada en cuatro suelos, cuando se emplean abonos comerciales en vez de sales de pureza analítica. En todos los suelos aquí representados hay una deficiencia de micronutrientes, aunque también de Mg. Pero, por los antecedentes entregados por Schenkel, Baherle y Gajardo (1985a), puede circunscribirse el problema a la deficiencia de algún microelemento.

Este buen efecto del tratamiento NPKCaS con abonos comerciales, es independiente de la profundidad del suelo de la cual procede la muestra; de aquí podría conferirse a la deficiencia de microelemento un carácter general y no restringido a una única profun-

dididad del perfil, en concordancia con lo expuesto en la I Parte (Schenkel, Baherle y Gajardo, 1985b).

Los coeficientes de posición de las líneas de producción NPKCaS de cada una de las 28 muestras del Cuadro 3, son superiores, en 23 suelos, con la fertilización con abonos comerciales que con sales puras; en otros dos suelos pueden considerarse iguales, mientras en los últimos tres, son inferiores los correspondientes a los abonos comerciales. Sin embargo, cuando se consideran, además, las pendientes de las correspondientes líneas en las muestras 2267 y 2275, que tienen el mismo valor de A, también se reconoce una mejor respuesta a los fertilizantes que a las sales de pureza analítica. No sucede lo mismo con dos (# 2286 y 2290) de los tres suelos con peor respuesta a los fertilizantes comerciales, donde la inclusión del valor de la pendiente en el análisis reafirma la superioridad de las sales puras.

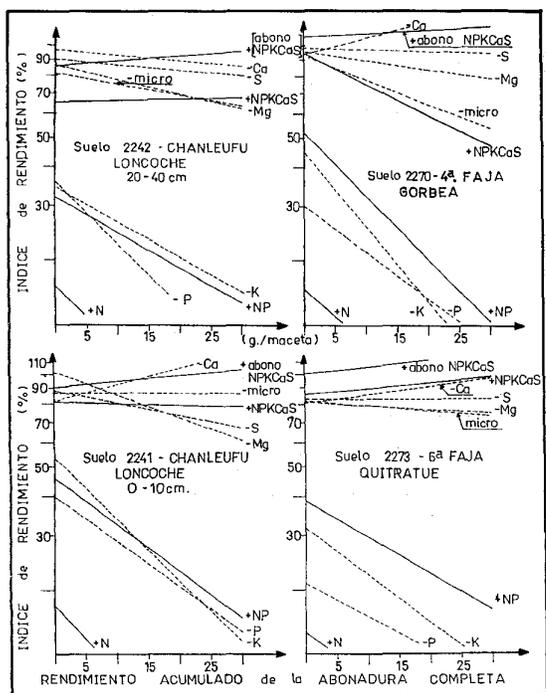


FIGURA 1. Suelos con mejor respuesta a NPKCaS integrada por abonos comerciales que por sustancias químicas de pureza analítica.

FIGURE 1. Soils with better response to NPKCaS using commercial fertilizers rather than chemicals of analytical quality.

Las consideraciones anteriores, llevan a reconocer mayoritariamente una mejor respuesta de la ballica frente a la fórmula de fertilización NPKCaS integrada por fertilizantes que por sustancias químicas de gran pureza. La semejanza entre los promedios de los coeficientes de posición de las líneas de fertilidad de los microelementos y de producción NPKCaS con sustancias químicas puras, indica que es generalmente la deficiencia de algún micronutriente en el suelo la que impide alcanzar una mayor eficiencia con dicha fórmula. La circunstancia que en las muestras 2286 y 2290 (Figura 2) se determine una mala producción con NPKCaS, no rebate la interpretación precedente, por la cual se confiere tanta importancia a los microelementos.

En efecto, la participación de los microelementos contenidos en los fertilizantes comerciales, no se restringe a la detección de su deficiencia y posterior corrección, pues tiene validez también cuando se determina un efecto depresivo, causado por cantidades excesivas de algún microelemento contenidas en los fertilizantes agregados al suelo.

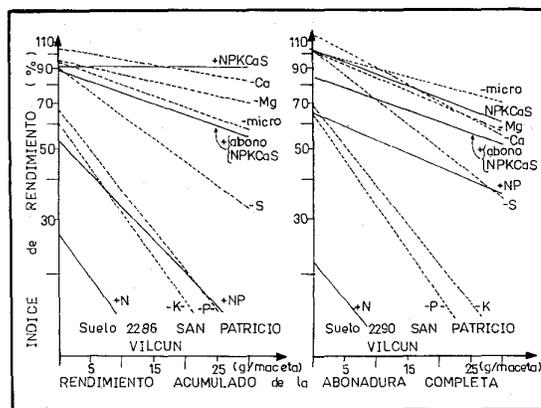


FIGURA 2. Suelos deficientes en micronutrientes y con mala respuesta a NPKCaS, especialmente cuando se usan abonos comerciales.

FIGURE 2. Soils deficient in micronutrients and with a poor response to NPKCaS, specially when using commercial fertilizers.

Por lo expuesto en la I Parte (Schenkel y otros, 1985b), no hay posibilidad alguna de identificar al microelemento carencial responsable de las diferencias de respuesta, basado exclusivamente en el conocimiento de las impurezas que traen los fertilizantes. Se vio cuán difícil es precisar las cantidades de impurezas contenidas en un fertilizante determinado, sin ayuda del análisis químico para la muestra respectiva, y además, porque son muchos los elementos que intervienen, de los cuales no todos son siempre útiles.

En el capítulo XXIV (Schenkel y otros, 1985a) se habían distinguido cuatro casos, para relacionar la magnitud de la respuesta observada en la producción de ballica con la fertilización NPKCaS — y también NPKCaMgS — con las disponibilidades de micronutrientes en el suelo. Cuando se introduce el mismo criterio en el presente trabajo, pueden reconocerse las siguientes situaciones:

Suelos con mala respuesta a NPKCaS y con deficiencia de micronutrientes

La muestra 2286 de San Patricio (Figura 2) es pobre en micronutrientes, por la elevada pendiente negativa de su línea de fertilidad y típica el primer caso, junto a la muestra 2222 de Villarica (Sta. Clotilde), donde la aplicación de NPKCaS con abonos comerciales es incapaz de elevar la fertilidad del suelo a un nivel que pueda considerarse óptimo. Aunque la línea de fertilidad de los micronutrientes acusa deficiencias de alguno de ellos para la muestra 2286, ésta se subsana solamente con la adición de sales de pureza analítica, pues siempre son inferiores en este suelo los índices

de rendimiento definidos por la línea de producción NPKCaS sobre la base de fertilizantes comerciales. El perjuicio causado por los abonos, en relación a las sales puras, se atribuye a una excesiva disponibilidad de algún microelemento agregado con el superfosfato triple y/o sulfato de potasio comerciales, que necesariamente es antagónico de otro micronutriente deficiente en el suelo considerado. La validez de esta interpretación ha sido demostrada experimentalmente con trébol rosado en suelos de Malleco, por ejemplo con las duplas de micronutrientes B/Mo y Cu/Mo (Schenkel, Baherle y Gajardo, 1982).

La situación creada con la muestra 2222 (Cuadro 3) es diferente, porque la deficiencia de micronutrientes no se subsana con ninguna de las dos fórmulas de fertilización NPKCaS y en forma alguna puede aducirse un efecto depresivo de las impurezas contenidas en los abonos comerciales.

Suelos con buena respuesta a NPKCaS y con deficiencia de micronutrientes

Las muestras 2241, 2270, 2242 (Figura 1); 2275 y 2226 (Figura 3) y también 2223, 2224, 2225, 2273 y 2276, son ejemplos apropiados para ilustrar este caso. Particularmente interesante es el suelo de la cuarta Faja—Gorbea (Figura 1), donde los rendimientos con abonos comerciales superan al de la abonadura completa, en un suelo definitivamente carencial en algún microelemento. Además, el tratamiento NPKCaS compuesto por sales puras origina pésimos índices de rendimiento, incapaces de superar a los definidos por la línea de fertilidad de los micronutrientes. La proximidad de ambas líneas en el diagrama de fertilidad de la muestra 2270 (Figura 1), confirma que las sales puras no proporcionan al micronutriente deficiente en el suelo, agregado con el sulfato de potasio comercial y/o superfosfato triple.

Suelos con buena respuesta a NPKCaS y sin deficiencia de micronutrientes

La mayoría de los suelos (15 en total) se ubican en este grupo (2227, 2228, 2229, 2243, 2244, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2271, 2272, 2274 y 2285). Con excepción de los suelos 2228, 2272 y tal vez 2271, en este conjunto, la respuesta es igualmente eficiente, sea que se empleen sustancias químicas puras o fertilizantes. La inexistencia de una deficiencia de micronutrientes en los suelos considerados, no le confiere mayor ventaja al uso de un componente de mayor o menor pobreza en micronutrientes como integrante de la fórmula de fertilización, salvo que se produzca alguna de las dos situaciones particulares siguientes:

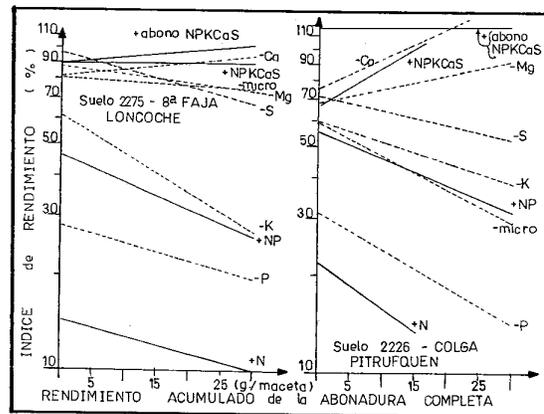


FIGURA 3. Suelos con mala respuesta a NPKCaS cuando se usan sales de pureza analítica pero no abonos comerciales y existe una deficiencia de micronutrientes.

FIGURE 3. Soils deficient in micronutrients and with a poor response to NPKCaS, when using chemicals of analytical quality rather than commercial fertilizers.

- Un enriquecimiento de algún micronutriente expuesto a un rápido agotamiento en el suelo. Tal vez podrían incluirse aquí las muestras 2244, 2265, 2271, 2285 (Cuadro 3) y con seguridad 2270 (Figura 1).
- Una excesiva disponibilidad de uno o más micronutrientes antagónicos de otro, con tendencia a presentar una pronta deficiencia (muestra 2272; Cuadro 3).

Suelos con mala respuesta a NPKCaS y sin deficiencia de micronutrientes

Con alguna reserva puede elegirse al suelo 2290 (Figura 2) como único representante de este caso. Es un suelo donde no hay deficiencia de micronutrientes — por lo menos hasta una cierta intensidad de uso del suelo — y para el cual las producciones obtenidas con NPKCaS integrado por sales de pureza analítica superan a las determinadas por abonos comerciales. En consecuencia, esta mala respuesta debe atribuirse a que se origina una disponibilidad excesiva para la balla de uno o más micronutrientes incorporados con los fertilizantes comerciales, pero no con las sales puras.

La discusión precedente descansa sobre dos premisas básicas:

- Primero, que los fertilizantes superfosfato triple y/o sulfato de potasio suministran al suelo algunos microelementos, no proporcionados por los productos equivalentes ortofosfato monocálcico y sulfato de

potasio de pureza analítica, capaces de modificar el crecimiento de la ballica en algunas muestras de suelo. Existen innumerables antecedentes que confirman la considerable incorporación de un gran número de microelementos que puede hacerse mediante los fertilizantes (Cuadro 2). Lo notorio del presente trabajo es que la ballica muestra una respuesta diferencial para los dos tratamientos NPKCaS, en varias muestras. Esta diferencia se manifiesta pese a las observaciones formuladas hace más de dos décadas, por Arnon (1950), Hewitt (1966) y Steward (1963), que los productos de pureza analítica no están siempre libres de impurezas. Ciertamente han mejorado considerablemente las técnicas analíticas de control de calidad, por lo cual puede hacerse actualmente una satisfactoria elección de productos adecuados en su pureza de microelementos.

— Segundo, que en las muestras de suelos investigadas participan por lo menos dos microelementos distintos como deficitarios, de los cuales solamente uno sería corregido por las impurezas del tratamiento NPKCaS con abonos comerciales. Esta interpretación parece correcta porque, en suelos chilenos similares, se ha informado de a lo menos tres deficiencias de microelementos: boro (Vogel, 1959; IANSA, 1964/65; y Schenkel y otros, 1982); molibdeno (Weinberger y Wenzel, 1973; Schenkel y otros, 1982) y cinc (Schwabe, 1953 y 1961; Froelich, 1983).

Ahora bien, si las impurezas contenidas en los fertilizantes comerciales portadores de macronutrientes son capaces de corregir la deficiencia de microelementos en numerosas muestras del ensayo de macetas, surge la pregunta ¿qué ocurre en el campo? Podrían plantearse dos situaciones distintas:

— Si se trata de un suelo con deficiencia de algún micronutriente no agregado con el fertilizante, subsiste la deficiencia y se manifiesta su efecto perjudicial. Por lo tanto, la metodología que usa a los abonos comerciales para su identificación en el terreno es adecuada.

— Si por el contrario, el suelo es pobre en un micronutriente añadido con los fertilizantes comerciales, se corrige su deficiencia. En estos casos, es erróneo usar los abonos comerciales para identificar una deficiencia de microelementos. Las proyecciones de esta realidad son de trascendencia para Chile, pues pueden invalidar la metodología de terreno empleada en el pasado en la búsqueda de micronutrientes carenciales. Weinberger y Wenzel (1973) dicen "debido a los frecuentes problemas observados en la región (sur de Chile, con un clima relativamente frío y lluvioso) es interesante la observación de que los fertilizantes comerciales, que comúnmente poseen un alto contenido

de componentes secundarios, son muchas veces superiores a los fertilizantes químicamente puros".

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que pueden obtenerse del presente trabajo son:

1. La ballica tiene mayoritariamente una mejor respuesta a la fertilización NPKCaS, cuando es integrada por superfosfato triple y sulfato de potasio comerciales que cuando se emplean las sustancias químicas, de pureza analítica, ortofosfato mono-cálcico y sulfato de potasio, en cantidades equivalentes de macroelementos. Muy a menudo se alcanza con aquella que excluye a los micronutrientes y a los carbonatos de calcio y de magnesio, prácticamente la misma fertilidad que con la fertilización completa. La posible deficiencia de micronutrientes que pudiera afectar a tales suelos, es subsanada con las cantidades proporcionadas como impurezas de los fertilizantes indicados. Por lo tanto, el empleo de superfosfato triple y sulfato de potasio es generalmente adecuado para alcanzar la fertilidad potencial de los suelos estudiados.

La menor producción encontrada con la fórmula en base a sales puras, se atribuye a la falta de contaminación con microelementos.

2. La respuesta variable a las dos fórmulas de fertilización NPKCaS, depende siempre de las disponibilidades de microelementos en el suelo y de los cambios que introducen los fertilizantes mencionados, como portadores de algunos, pero no de todos ellos. Por similitud, tampoco será buena la respuesta a NPKCaMgS con sales puras, cuando faltan o sobran micronutrientes, en relación a las cantidades óptimas requeridas.

3. Las condiciones experimentales definidas en esta investigación, no permiten identificar a los micronutrientes comprometidos. Sin embargo, la bibliografía consultada hace suponer que están en juego B, Mo y/o Zn.

4. La eficacia de la abonadura con superfosfato triple y sulfato de potasio, es independiente de la profundidad de la cual procede la muestra. Su efecto es igualmente satisfactorio en muestras superficiales, muy profundas (50–80 cm) e intermedias (20–40 cm y 40–60 cm) (Figura 1).

5. Se desarrolla un esquema interpretativo general sobre las bases siguientes:

- a. Los fertilizantes superfosfato triple y/o sulfato de potasio, son portadores de micronutrien-

tes, al margen de los macronutrientes que contienen y por los cuales se agregan al suelo.

b. Las cantidades de microelementos suministrados con los abonos mencionados, están en una forma aprovechable para las plantas y en una cantidad suficiente como para modificar el crecimiento vegetal, sea corrigiendo la deficiencia o bien aumentando su concentración, a un nivel excesivo para un óptimo crecimiento.

c. Las sustancias químicas de pureza analítica ortofosfato monocálcico y sulfato de potasio, cumplen con los requisitos necesarios para originar un crecimiento diferencial respecto a las cantidades equivalentes de macronutrientes añadidas a la forma de fertilizantes comerciales. Por tanto, son adecuadas a este tipo de investigación.

d. En el complejo suelo—fertilizante—planta intervienen dos, o tal vez tres, microelementos problemáticos. Solamente la pobreza en el suelo de uno de ellos podría corregirse con los fertilizantes, no así la o las demás deficiencias.

e. Otro microelemento, también contenido como impureza en los citados fertilizantes, podría elevar excesivamente su concentración en el suelo y perjudicar el crecimiento vegetal. Su acción puede ser directa, por causar toxicidades, o indirecta, por intervenir en algún antagonismo iónico con otro micronutriente deficitario.

6. Al aplicar el esquema señalado en la conclusión precedente, pueden contemplarse cuatro casos, todos encontrados con muestras de Cautín, según sea la intensidad de la respuesta a ambos tratamientos NPKCaS y su asociación con las disponibilidades de micronutrientes:

a. En suelos con deficiencia de micronutrientes hay mala respuesta a NPKCaS, indistintamente a como se apliquen (sales puras o fertilizantes), porque con ninguno de ellos se corrige la pobreza del microelemento carencial.

b. En suelos sin deficiencia de micronutrientes, también hay mala respuesta a NPKCaS agregado en abonos comerciales, siendo superior cuando se aplican como sales puras. Esto sucede porque la cantidad de uno de los micronutrientes se vuelve excesiva con los aportes que recibe de los fertilizantes; no son añadidos con las sustancias de pureza analítica.

c. En suelos pobres en micronutrientes, hay buena respuesta a NPKCaS formulada con abonos comerciales, pero no con las sustancias químicas pu-

ras, porque solamente con los fertilizantes se incorporan los micronutrientes deficientes.

d. En suelos sin deficiencia de micronutrientes, hay buena respuesta a NPKCaS en cualquiera de sus formas. Los micronutrientes no interfieren, por lo que no tiene ventaja una forma de agregar los macronutrientes sobre la otra.

7. Tiene urgencia determinar si los resultados encontrados en macetas son confirmados en terreno. De ser así, debería asignarse a la deficiencia de micronutrientes en suelos chilenos una importancia considerablemente mayor de la que ha tenido hasta el presente. Como consecuencia del uso masivo dado al superfosfato y que aún tiene, como corrector de la deficiencia de P, se podría estar enmascarando sistemáticamente la magnitud, intensidad y superficie comprometida por una pobreza en micronutrientes.

8. Los fertilizantes comúnmente empleados en Chile para corregir las deficiencias de macroelementos, agregan al suelo microelementos de un valor correctivo variable, según sea la disponibilidad o necesidad del suelo. Esta contribución de los diversos fertilizantes requiere de una más prolija revisión, porque se sabe de grandes variaciones, según cual sea su origen, materia prima, forma de elaboración, etc. Para hacer más completa esta evaluación, debería tomarse en cuenta la especie vegetal fertilizada, porque entre ellas hay requerimientos nutritivos diferentes.

9. A semejanza de lo observado en otros países, en el largo plazo deberían intensificarse los problemas derivados de cambios introducidos por el agotamiento de algunos y acumulación de otros micronutrientes contenidos como impurezas de los fertilizantes portadores de macronutrientes. Del mismo modo, se agudizarán notoriamente las preocupaciones por estas complejas relaciones entre microelementos, cuando inevitablemente se comiencen a emplear masivamente en agricultura los productos transformados de los residuos urbanos.

10. Todos los suelos empleados son pobres en P, ácidos y ricos en materia orgánica, aumentan su pH en profundidad, al mismo tiempo que disminuyen sus contenidos de materia orgánica, P y K extractable. Entre suelos hay grandes diferencias en las fracciones extractables de Al. Los fertilizantes fosfatados son imprescindibles para mejorar la fertilidad actual de todos los suelos estudiados.

11. El uso de fertilizantes comerciales para identificar a micronutrientes deficientes en el suelo, no es siempre adecuado. Solamente cuando se cumple el requisito que el microelemento investigado no está contenido en ellos, será correcta la elección. Por el

contrario, no se puede detectar o identificar una deficiencia de un micronutriente que esté contenido en

alguno de los fertilizantes portadores de macronutrientes empleados en la respectiva experiencia.

RESUMEN

En un ensayo de macetas, se siembran 28 muestras superficiales y subsuperficiales con ballica (*Lolium perenne* x *L. multiflorum*). Los suelos proceden de la provincia de Cautín y todas las muestras son pobres en P.

Los rendimientos de ballica, obtenidos en cuatro cortes, se interpretan con el diagrama de fertilidad y se comparan para dos fórmulas equivalentes de fertilización NPKCaS: a. sustancias químicas de pureza analítica; y b. abonos comerciales, sulfato de potasio y superfosfato triple.

La ballica reacciona a los microelementos contenidos como impurezas en los fertilizantes elegidos, corrigiéndose la deficiencia en micronutrientes en muchos suelos. También, se observa en unas pocas muestras que, con la adición de los microelementos mediante los fertilizantes comerciales a los ya existentes en el

suelo, se acumulan cantidades excesivas. En tales casos, es inferior el rendimiento con abonos comerciales que con sales puras. Finalmente, existen muestras para las cuales no se corrige la pobreza en micronutrientes, siendo mala la respuesta a ambas fertilizaciones NPKCaS.

Todos los casos observados se circunscriben perfectamente a una interpretación general, la que se discute. Si con las diversas especies vegetales cultivadas se repite en el terreno el comportamiento diferencial con respecto a los dos tratamientos NPKCaS, significa que se ha subestimado la cantidad de suelos pobres en micronutrientes. Para hacer una correcta evaluación de la superficie afectada, como asimismo para identificar al micronutrimiento deficiente, constituye un requisito fundamental trabajar con sustancias químicas exentas del microelemento que se investiga.

LITERATURA CITADA

- ARNON, D. 1950. Criteria of essentiality of inorganic micro-nutrients for plants with special reference to molybdenum. En: T. Wallace (ed), Trace elements in plant physiology. Waltham, Mass. Chronica Botanica, International Union Biological Sciences. Series B. (Colloquim N°1).
- FROELICH, W. 1983. Deficiencias de micronutrientes en suelos del sur de Chile, como factores limitantes en el desarrollo vegetal. Valdivia, Chile, U. Austral de Chile. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal. 11p. (Informe, 27 de abril de 1983. También: 1984. Agro Sur 12 (1): 52–58.
- HEWITT, E. 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. 2nd. ed. Farnham, Bercksh., England. Commonwealth Agricultural Bureaux. 547 p. (Technical Communication N° 22).
- IANSA—Industria Azucarera Nacional. 1964/65. Resultados de la investigación agronómica en remolacha azucarera. Temporada 1964/65. Santiago, Chile. 374 p.
- SCHENKEL, G. 1971. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca con ensayos en macetas. II Diagrama de fertilidad. Turrialba (Costa Rica) 21 (3): 263–271.
- SCHENKEL, G. y BAHERLE, P. 1971. Exploración de deficiencias nutritivas con ensayos en macetas. II Método usado. Agricultura Técnica (Chile) 31 (1): 9–24.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P. y GAJARDO, M. 1985a. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXIV. Comportamiento del magnesio en una fórmula de fertilización completa con 458 muestras de 399 suelos chilenos. Agricultura Técnica (Chile) 45 (2): 27–46.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P. y GAJARDO, M. 1985b. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. XXV. Influencia de la pureza NPKCaS en muestras de Cautín. I Parte. Agricultura Técnica (Chile) 45 (3): 259–266.

- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P. y GAJARDO, M. 1982. Identificación de micronutrientes deficientes con ensayos en macetas. III. Mediante *Trifolium pratense* en suelos de la provincia de Malleco. Agricultura Técnica (Chile) 42 (4): 273–285.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T. y GAJARDO, M. 1971a. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. VII. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia Cautín. Agricultura Técnica (Chile) 31 (4): 181–191.
- SCHENKEL, G.; BAHERLE, P.; FLOODY, T. y GAJARDO, M. 1970. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. I. Experiencia preliminar. Agricultura Técnica (Chile) 30 (4): 173–187.
- SCHENKEL, G.; PINO, E. y FLOODY, T. 1971b. 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. Düngungsversuche zu Kornerfrüchten im südlichen Chile unter Berücksichtigung mikroklimatischer Einflüsse. Die Phosphorsäure 21: 113–141.
- SCHWABE, G. 1953. Ensayos de abonadura con elementos menores. Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción (Chile) 28: 141–154.
- STEWART, F. 1963. Plant Physiology, a Treatise. New York, Academic Press. 811 p.
- VOGEL, O. 1959. Problemas de carencias minerales en beta-rraga. Ensayo de abonos con seis elementos. Simiente (Chile) 29 (1/4): 31–36.
- WEINBERGER, P. y WENZEL, H. 1973. El molibdeno en suelos de cenizas volcánicas (Chile) y su influencia en el metabolismo del nitrógeno de plantas de cultivo, especialmente en leguminosas. Turrialba (Costa Rica) 23 (2): 129–137.