

Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas

V. Comportamiento de algunas fórmulas de fertilización, provincia Malleco¹

Gotardo Schenkel S.², Pedro Baherle V.³, Tatiana Floody A.⁴ y Mauricio Gajardo M.⁵

INTRODUCCION

La importancia que incumbe a los elementos fósforo, potasio y azufre para aumentar la fertilidad de los suelos de la provincia de Malleco se determinó en la IV Parte (8). Arbitrariamente se excluyó al nitrógeno en la exploración de deficiencias de nutrientes, porque sus disponibilidades en el suelo no son suficientes para satisfacer las necesidades de una producción intensiva (7). Este argumento, válido para gramíneas (5) no puede aplicarse rigurosamente en las leguminosas (6).

En esta investigación interesa confirmar la validez del diagnóstico anterior (8). Con este objeto se aplican diferentes fertilizantes en los mismos suelos. Ello permite verificar la importancia que recae sobre los elementos antes mencionados, como responsables de la baja fertilidad actual de dichos suelos. En ningún momento se pretende recomendar dosis de fertilización.

Las fórmulas de fertilización se integran a partir de los fertilizantes comerciales superfosfato triple y sulfato de potasio. Se recurre al nitrato de amonio en solución, como fuente nitrogenada.

Las fórmulas de fertilización que se comparan son:

- solución de nitrato de amonio (N).
- solución de nitrato de amonio + superfosfato triple (NP).
- solución de nitrato de amonio + superfosfato triple + sulfato de potasio (NPKS).

MATERIAL Y METODO

En la ejecución de este trabajo se han empleado los mismos suelos de la Parte IV (8).

¹Recepción manuscrito: 6 de septiembre de 1971.

²Ing. Químico, Proyecto Fertilidad de Suelos, Estación Experimental Carillanca, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Casilla 58-D, Temuco, Chile.

³Ing. Agr., Proyecto Fertilidad de Suelos, Estación Experimental Carillanca, INIA.

⁴Laboratorista Químico, Proyecto Fertilidad de Suelos, Estación Experimental Carillanca, INIA.

⁵Ayudante Laboratorio e Invernadero, Proyecto Fertilidad de Suelos, Estación Experimental Carillanca, INIA.

El procedimiento seguido con el ensayo de macetas corresponde al descrito por Schenkel y Baherle (7). Las líneas de producción se determinan con los tratamientos de fertilización siguientes:

- N — aplicación semanal de 25 ml de una solución 0,25 Normal de nitrato de amonio, preparada a partir de ácido nítrico y amoníaco de pureza analítica.
- NP — aplicación semanal de 25 ml de la solución 0,25 Normal de nitrato de amonio, mencionada e incorporación, antes de la siembra, de 2,9 gramos de superfosfato triple. Se analizó un contenido de 46,11% de P_2O_5 en el abono fosfatado.
- NPKS — igual a la fertilización NP más 2 gramos de sulfato de potasio comercial antes de la siembra. El análisis de este abono indica 16,07% K_2O .

Los cálculos de las ecuaciones correspondientes a las líneas de producción se hacen mediante la técnica descrita (10). Se ha asumido siempre la validez de la relación semilogarítmica entre los rendimientos de la abonadura completa y de los índices de rendimiento de la fertilización respectiva. Esta situación se consideró, principalmente por razones de comodidad en las comparaciones, aunque no siempre se cumplió. Las discrepancias más importantes surgen con los valores acumulados del cuarto y quinto cortes, únicamente con la abonadura NPKS.

RESULTADO

Los valores de las pendientes y de los coeficientes de posición calculados para las líneas de producción de los diferentes suelos de Malleco se presentan en Cuadro I. Estos se especifican para las fórmulas de fertilización N, NP y NPKS y se obtienen a partir de los rendimientos acumulados (4) de ballica H-I (*Lolium perenne* × *Lolium multiflorum*).

En la Figura 1 se representan las líneas de producción y las líneas de fertilidad corres-

Cuadro 1 - Valores de las líneas de producción $\log Y = \log A + m X$ para fertilización N, NP y NPKS en suelos de la provincia Malleco.

LABORAT.	MUESTRA NUMERO MACETAS	FORMULA DE FERTILIZACION AGREGADA AL SUELO					
		NITROGENO		NITROGENO + FOSFORO		NPKS	
		A	m(10 ⁺⁵)	A	m(10 ⁺⁵)	A	m(10 ⁺⁵)
1971	P-5	34.-	-1001	87.-	- 534	114.-	+ 466
1972	P-6	21,5	- 572	81.-	- 380	94.-	- 193
1994	477	44.-	- 307	110.-	- 654	100.-	0
1995	493	85.-	-2305	110.-	- 761	113.-	- 231
1996	98	40.-	-1505	88.-	- 360	95.-	+ 159
1997	M-1	26.-	-3358	77.-	-1395	105.-	- 618
1998	884	45,5	-1660	107.-	-1753	120.-	- 360
1999	251	22.-	-1061	94.-	- 124	106.-	- 68
2000	70	28.-	-1778	68.-	- 897	85.-	+ 161
2001	388	21,8	- 967	94.-	-1011	96.-	+ 55
2002	430	15,5	- 667	57.-	-1109	107,5	+ 105
2003	292	16,8	- 664	73.-	- 930	91.-	+ 117
2004	298	19.-	-1267	71,5	-1117	109.-	+ 170
2005	317	35.-	-1444	106.-	- 730	106.-	- 114
2006	235	17,5	-1034	60.-	-1020	100.-	0
2007	440	25.-	-1505	82.-	-1559	110.-	- 459
2009	337	22,5	- 222	103.-	-1083	106,5	- 203
2010	873	56,5	-2953	116.-	-2665	122.-	- 345
2011	CL	65.-	-1110	102,5	- 828	96.-	+ 209
2012	409	29.-	- 503	95.-	- 962	97.-	+ 185
2015	899	26.-	-2256	86.-	-1279	99.-	- 218
2016	SC	20,5	-1395	100.-	- 241	95.-	0
2017	SR	40,5	-1857	115.-	-1239	96.-	+ 45
2018	421	27.-	-1761	79.-	-1307	92.-	+ 86
2019	CQ	44.-	-3277	79.-	-2454	48,5	+1597
2020	MI	31.-	-1373	71.-	-1599	85.-	+ 172
2021	PR	43.-	-4434	85.-	-3274	128.-	0
2022	NA	43.-	-2110	101.-	-1442	101.-	- 110
2023	LF	52.-	-2075	79.-	- 815	103,5	0
2024	SS	55.-	-1712	104.-	- 955	100.-	+ 46
2025	DT	33.-	-1257	100.-	-1092	102,5	+ 161
2026	ET	21.-	-1534	98.-	-1049	102.-	- 124
2027	BA	21,9	- 257	84.-	- 880	100.-	- 158
2028	HU	40.-	-3338	96.-	-1391	108.-	- 381
2037	GAL	21.-	-2399	56.-	-2711	92.-	-1950
2038	IC	32,5	-2814	82.-	-1303	97.-	+ 296
2039	LQ	37,5	-2764	95.-	-1750	106.-	- 286
8797	242	55,5	-1377	96,5	- 996	105,5	0
8828	273	21.-	-1239	55.-	-1069	106.-	+ 40
Promedio (39 suelos)		34,2	-1669,5	88,3	-1198	101.-	+ 77,4

pondientes al promedio de todos los suelos. Las líneas de fertilidad se obtienen del Cuadro 3, calculado previamente en la Parte iv (8).

La sola adición de nitrógeno no constituye una práctica aconsejable. Los rendimientos son siempre inferiores a los determinados por la línea de fertilidad del tratamiento sin fósforo. Un notable aumento experimentan los rendimientos con la abonadura NP, y en el hecho coincidente con la línea de fertilidad del tratamiento sin potasio. Subsana las carencias de nitrógeno, fósforo, potasio y azufre se producen los máximos rendimientos, superando aún a los de abonadura completa. En todo caso, para los efectos prácticos pueden estimarse coincidentes.

El diagrama de fertilidad permite sintetizar

lo siguiente, a partir de los valores promedios de los suelos usados y procedentes de Malleco:

- la abonadura nitrogenada determina rendimientos inferiores a los de la línea de fertilidad del fósforo.
- la línea de producción NP coincide con la línea de fertilidad del potasio.
- la fertilización NPKS arroja rendimientos similares a los de la abonadura completa.

DISCUSION

En esta provincia se aplican fertilizaciones muy variables a los cultivos y praderas. Fluctúan entre la no adición de fertilizantes hasta la aplicación simultánea de nitrógeno, fósforo,

potasio y azufre. Esta última práctica, como consecuencia de la interpretación dada por los diferentes técnicos y profesionales a los resultados obtenidos con la exploración de deficiencias nutritivas detectadas en la zona.

Surge así la necesidad de confirmar el diagnóstico de deficiencias formulado previamente (8). Su valor práctico es innegable, porque significa redistribuir el dinero destinado a los insumos en fertilizantes realmente indispensables para aumentar la productividad, posponiendo por el momento, los restantes nutrientes.

Una consideración general puede hacerse a partir de los valores promedios. La Figura 1 muestra —al igual que el Cuadro 1—, la ine-

ficacia de la fertilización nitrogenada aislada, porque no es capaz de elevar apreciablemente la fertilidad del suelo. Además, resalta la gran diferencia de fertilidad determinada por ambas líneas, la de fertilidad del fósforo y la de producción del nitrógeno. Para cualquier nivel de producción que se considere con la abonadura completa, se determina una mayor fertilidad por la línea de fertilidad del fósforo que por la de producción del nitrógeno. Este resultado implica dos hechos importantes:

1. las adiciones de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes, incluidos en el tratamiento sin fósforo, aumentan la fertilidad de los suelos de Malleco, aunque no se agregue fósforo.

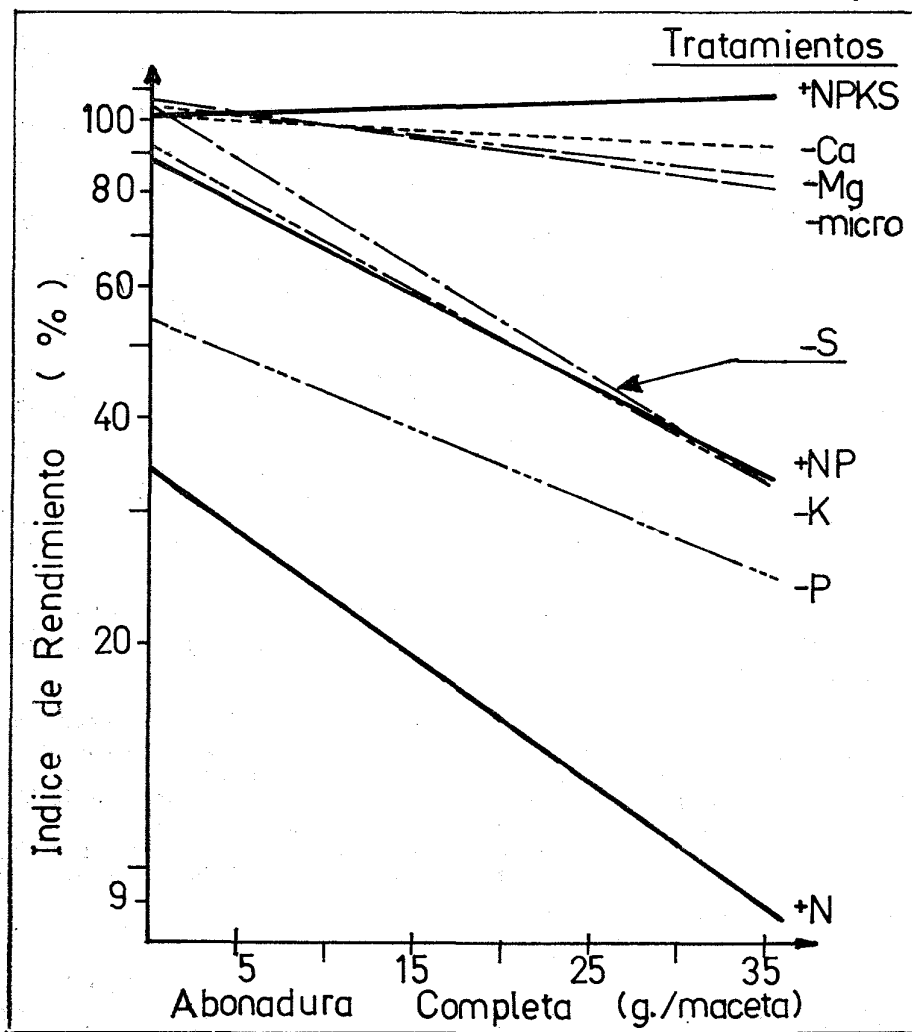


Figura 1 — Diagrama de fertilidad. Promedio de 39 suelos, provincia de Malleco.

2. dicha diferencia de fertilidad no es atribuible al nitrógeno, porque los dos tratamientos siempre han recibido las mismas cantidades de nitrógeno en iguales condiciones y fechas a lo largo de toda la experiencia.

Muy buena es la coincidencia que se observa entre las fertilidades definidas por las líneas de producción NP y de fertilidad del tratamiento sin potasio (Figura 1). La validez de este resultado representa una notable simplificación experimental, porque ambos tratamientos serían equivalentes. El tratamiento NP aventaja al otro por su apreciable economía de reactivos y de tiempo, pues demanda un menor número de pesadas en la balanza.

Todavía más, con ayuda del diagrama de fertilidad, se deduce que habrá una limitación casi simultánea de dos nutrientes para sobrepasar la fertilidad más allá de la definida por la fertilización NP. En primer lugar, debe resolverse la carencia de potasio. Luego interfiere la deficiencia de azufre. Ambas carencias se dejan corregir con el abono comercial sulfato de potasio. Podría pensarse que una aplicación conjunta de NPKS debería elevar la fertilidad del suelo a un nivel óptimo, donde quedaría eventualmente limitada por la ausencia de algún micronutriente o por falta de magnesio. Sin embargo, esto no ocurre, ya que la abonadura NPKS determina producciones de materia seca algo superiores a las obtenidas con la fertilización completa. La trascendencia de esta observación experimental, alcanzada con el promedio de todos los suelos de Malleco, es extraordinaria. No menoscaba su validez la circunstancia que la línea de producción NPKS no se ajuste rigurosamente a una ecuación semilogarítmica del tipo $\log Y = mX + \log A$. En efecto, esta representación se elige sólo por razones de comodidad, y aunque estrictamente se cumple mejor una relación logarítmica para varios suelos, se mantiene que los rendimientos del tratamiento NPKS superan al de la fórmula completa utilizada.

Diversos antecedentes concurren para explicarse la mayor producción de ballica lograda con la fórmula de fertilización NPKS, que con la completa:

a) experiencias comparativas realizadas con trébol rosado en macetas, en Carillanca, sugieren que el superfosfato contiene molibdeno, elemento que se ha comprobado deficiente en algunos de estos suelos;

b) el análisis químico indica que el superfosfato triple no sólo contiene molibdeno (50 ppm Mo), sino también otros microelementos (1);

c) el sulfato de potasio contiene magnesio (0,54% Mg) en cantidad suficiente como para subsanar la limitación al crecimiento impuesto por este elemento;

d) con ensayos de maceta se ha comprobado en Carillanca que la ballica, cultivada en suelos deficientes en magnesio, presenta esta sintomatología mucho antes, cuando se utiliza sulfato de potasio de pureza analítica que el mismo producto como abono comercial;

e) los tamaños del gránulo de superfosfato triple determinan distinta eficiencia en el uso que hacen las plantas del fósforo aplicado, como lo comprueban Russi y Polle¹, y Suárez (11) con algunos suelos semejantes de Costa Rica. Cabe recordar que la abonadura completa recibe fosfato monocálcico, cristal fino, mientras el tratamiento NPKS lleva al fósforo como superfosfato triple. Este es granulado y de mayor diámetro equivalente que el primero, y

f) se desestima la deficiencia de calcio, porque éste se adiciona en ambos casos en cantidad suficiente.

Otra forma de evaluar la fertilización NPKS consiste en analizar separadamente su efecto sobre cada uno de los suelos usados. Se destaca la muestra 2019, porque en ella fracasa esta fórmula de fertilización. Tal resultado no debe sorprender, porque dicha muestra (Santa Sofía, Cauquenes) adolece de una severa deficiencia de boro. De los abonos incluidos en la fórmula NPKS solo el superfosfato triple es portador de boro. Su contenido es insuficiente (26 ppm B soluble y 220 ppm B total (1)) para corregir la severa carencia de boro, característica de la muestra N° 2.019. Así se demostró con el crecimiento de trébol subterráneo que resultó más afectado, por la falta de boro, que el desarrollo de ballica (9). Experiencias en ejecución, tanto de macetas como de campo² demuestran el efecto desastroso que produce la ausencia de boro, propia de este suelo, sobre *Pinus radiata*.

Para otros dos suelos, N° 2.000 y 2.020 con un valor $A = 85$ para su línea de producción NPKS, también puede aducirse la ausencia de algún micronutriente o del magnesio como factor limitante de su crecimiento. Así se planteó en la IV Parte (8) para los dos suelos. Se ve la buena coincidencia que existe entre ambas formas de medir la fertilidad. La depresión de rendimiento causada por la falta de todos los nutrientes complementarios de la fórmula

¹Informe Técnico, Proyecto Suelo 1969-70. Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

²Ing. Agr., Francisco López, INDAP-COPALCA, comunicación personal.

NPKS, es pequeña en ballica cultivada sobre las muestras 2.000 y 2.020. Sin embargo, es indispensable advertir la gran importancia que pueden adquirir éstos en el futuro, especialmente si se atiende a la producción de semillas, o al valor nutritivo de los productos hortícolas, agrícolas o ganaderos así obtenidos. Por esta razón y siempre que se atienda al crecimiento vegetativo, significará la fertilización NPKS un avance importante en el aumento de producción de los suelos estudiados.

Algunos ensayos de campo en suelos de esta provincia dan mayor validez a los resultados mencionados. Oligier (3) comprueba en el fundo Santa Catalina, ubicado al este de Collipulli, un aumento de rendimiento de trébol subterráneo cuando utiliza la abonadura NPS en vez de NP. Determina 25,8 y 30 ton/ha de materia verde con las correspondientes fertilizaciones NP y NPS. El aumento de 4,2 ton/ha de trébol subterráneo se debe a la incorporación de 400 Kg/ha de yeso agrícola. Se aplican además 64 Kg N/ha (salitre) y 150 Kg P_2O_5 /ha (superfosfato triple).

También con raps se constata mayores producciones cuando se agrega sulfato de potasio a la abonadura NP en el fundo San Elías, Victoria (2). Para testigo, NP y NPKS se obtienen 14,11 — 28,18 — 31,52 qq/ha, respectivamente.

Volke (12) concluye que el bajo contenido de potasio asimilable en el suelo se convierte en un factor limitante importante de la producción de trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta experiencia con la técnica del elemento agregado, confirman el diagnóstico hecho previamente (8) con la técnica del elemento faltante. En ambos casos se advierte una función correctiva importante de la abonadura NPKS para elevar la fertilidad de los suelos de la provincia Malleco.

La fertilización NPKS y la abonadura completa pueden considerarse equivalentes, porque producen los mismos rendimientos de ballica H-1. Se concluye que las carencias de fósforo, potasio, azufre y nitrógeno limitan seriamente la fertilidad de estos suelos, al extremo que permiten posponer provisoriamente todos los demás nutrientes. Se puede estimar que estos suelos contienen a los nutrientes complementarios de la fórmula NPKS en can-

tidades todavía suficientes para permitir un crecimiento satisfactorio de las plantas. Sólo en la medida en la cual se generalice el uso de la abonadura NPKS se intensificarán las demás carencias nutritivas. Por lo tanto deberá concederse mayor urgencia a un mejor conocimiento de la dinámica de los cuatro elementos mencionados en los suelos de la provincia de Malleco.

Una excepción muy importante a este comportamiento general de los suelos de Malleco la constituye la muestra Nº 2.019 y que, con mucha probabilidad, compromete a todos los suelos graníticos. En esta muestra ha fracasado la abonadura NPKS, como lo refleja nítidamente el valor 48,5 de A determinado con ella. Tal resultado, previsible, es la consecuencia de una severa restricción del crecimiento de las plantas, impuesta por la falta de uno o más micronutrientes (principalmente boro).

La fórmula NP produce rendimientos parecidos al del tratamiento sin potasio. Esta similitud se justifica porque en ambos casos está ausente el potasio. Dicho nutriente se ubica en el tercer lugar de deficiencia, cuando se les ordena según un orden decreciente. La sola adición de nitrógeno a los suelos de Malleco no permite su uso satisfactorio. En el mejor de los casos, vale decir en el establecimiento de las especies, puede llegarse a un aprovechamiento de solo un 34,5% de la fertilidad potencial del suelo. Además, la línea de fertilidad del tratamiento sin fósforo supera siempre a la fertilidad definida por la correspondiente línea de producción del tratamiento N. Por consiguiente, tomando en cuenta la ineficacia del tratamiento N solo, sería muy beneficioso desterrar la práctica de fertilizar únicamente con nitrógeno.

El diagrama de fertilidad ha permitido anticipar con mucha exactitud el comportamiento de las distintas fórmulas de fertilización usadas. Su utilidad como método de interpretación en los estudios de fertilidad de estos suelos se ha visto confirmada.

El comportamiento de las tres fórmulas de fertilización estudiadas se deduce de los valores que asume la ecuación $\log Y = mX + \log A$. Para A se obtienen los valores promedios 34,2 — 88,3 — 101, con los respectivos tratamientos N, NP y NPKS. Esta última abonadura también se mostró adecuada para mantener la fertilidad potencial, como se desprende del bajo coeficiente angular determinado (77×10^{-5}).

R E S U M E N

Treinta y nueve muestras superficiales de suelo de la provincia Malleco se someten a un ensayo de macetas con ballica H-1. Las fórmulas de fertilización N, NP y NPKS se obtienen con superfosfato triple (P), sulfato de potasio (KS) y una solución de nitrato de amonio (N). La comparación de los rendimientos se hace con ayuda del diagrama de fertilidad, eligiendo un índice 100% para la abonadura completa (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, molibdeno, zinc, cobre y manganeso).

Los tratamientos NPKS y abonadura completa dan rendimientos iguales. También son semejantes las producciones de los tratamientos NP y de la fertilización incompleta por falta de potasio.

La línea de fertilidad del tratamiento sin fósforo supera siempre a la fertilidad definida por la correspondiente línea de producción del nitrógeno.

El diagnóstico de deficiencias nutritivas formulado previamente con la técnica del elemento faltante se confirma cuando se usa la técnica del elemento agregado. Los elementos incorporados al suelo con la fórmula NPKS demuestran que los nutrientes nitrógeno, fósforo, potasio y azufre corrigen su baja fertilidad actual y la mantienen en un nivel óptimo.

Se calculan las líneas de producción $\log Y = mX + \log A$ para cada suelo y con las correspondientes fertilizaciones N, NP y NPKS.

S U M M A R Y

Thirty nine soil samples of the province of Malleco are submitted to a pot-test trial with rye-grass. The applied formulations (N, NP and NPKS) are obtained from triple superphosphate (P), potassium sulphate (KS) and a solution of ammonium nitrate (N).

The yield comparison are made with the help of the fertility diagram, choosing an index of 100% for the complete fertilization treatment (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulphur, boron, molybdenum, zinc, copper and manganese).

The treatment NPKS and complete fertilization resulted in equal yields. Also, similar yields are obtained from treatments NP and the incomplete fertilization treatment due to a shortage of potassium. On the other hand, the line of fertility in the treatment without phosphorus always surpasses the fertility determined by the corresponding line of N.

The diagnosis of nutritional deficiencies previously determined with the technique of the missing element, is clearly confirmed. The addition of nitrogen, phosphorus, potassium, and sulphur to soils, corrects the actual low fertility, and keep it high.

The parameters of the line of production $\log Y = mX + \log A$ with each soil, is calculated for the three fertilizer formulations.

L I T E R A T U R A C I T A D A

1. CHAVEZ, G., ONETO, L. y MURÚA, S. Determinación de micronutrientes en fertilizantes. Tesis profesores de Estado en la especialidad de Química y Mercología. Instituto Pedagógico Técnico, Santiago, Chile, Universidad Técnica del Estado. 1968. 40 p. (Mimeografiada).
2. MULLER, G. III. Ensayo de abonos en raps. In Chile, Ministerio de Agricultura, Depto. de Investigación Agrícola. Investigación en Raps. Boletín Técnico N° 11. 1962. pp. 33-38.
3. OLIGER, L. Ensayos demostrativos en fertilización de praderas permanentes, año 1968. Temuco, Chile, Estación Experimental Carillanca, INIA, 1968. s. p. (Informe no publicado).
4. SCHENKEL, G. 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. 1971.
5. ————— y BAHERLE, P. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. V. Diagrama de fertilidad con especies gramíneas. 1971. (Trabajo aún no publicado).
6. ————— y —————. VI Diagrama de fertilidad con especies leguminosas. (Trabajo aún no publicado).
7. ————— y —————. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. II. Método Usado. Agricultura Técnica (Chile) 31 (1): 9-24. 1971.

8. ———, BAHERLE, P., FLOODY, T. y GAJARDO, M. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. iv. Macronutrientes, provincia Malleco. Agricultura Técnica (Chile) 31 (3): 129-135. 1971.
9. ——— y FLOODY, T. Evaluación de la fertilidad de un suelo, mediante la producción de materia seca en ensayos de macetas. iv. Determinación de la fórmula de fertilización mediante *Trifolium subterraneum* y *Lolium perenne* x *Lolium multiflorum*. 1971. (Trabajo aún no publicado).
10. ———, PINO, E. y FLOODY, T. 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. 1971.
11. SUAREZ, D. Efecto del tamaño de granos en la eficiencia del superfosfato concentrado en tres suelos fijadores de fósforo. Magister Scientiae, Costa Rica, Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, Dpto. de Cultivos y Suelos Tropicales, 1971. 89 p.
12. VOLKE, V. Factores de producción del trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín. (Trabajo presentado a Agricultura Técnica, Chile). Julio. 1971.