

Factores de producción del trigo en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín¹

Víctor Volke H.²

INTRODUCCION

Diversos estudios y observaciones indican que, actualmente, en los suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín, la producción de trigo se encuentra limitada por factores de orden edafológico, biológico y climático. De los factores edafológicos, los que presentarían mayor incidencia en la producción del trigo serían los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo (Frías M., H., 1967) (Letelier *et al.*, 1961) (Letelier A., E., 1965) (Volke H., V., 1968). De los factores biológicos, se consideran importantes el potencial de producción de la variedad de trigo, la infestación de malezas y las enfermedades (hongos e insectos). De los factores climáticos, los principales parecen ser la lluvia durante la primavera (por deficiencia de humedad aprovechable del suelo), las bajas temperaturas de fines de primavera (por heladas durante la floración) y el viento (por tendidura). La importancia relativa de todos estos factores, y de algunos otros no mencionados, como limitantes de la producción de trigo, es un aspecto prácticamente desconocido en los suelos y zonas indicados.

El objetivo del presente estudio es determinar cuales son los principales factores de producción del trigo y cuantificar la importancia relativa de ellos como limitantes de la producción en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín.

MATERIALES Y METODOS

Durante el período 1966-67 a 1968-69 se efectuaron 47 experimentos de respuesta a nitrógeno y fósforo, con trigo en varios suelos

trumaos de las provincias de Malleco y Cautín.

Los suelos estudiados se han agrupado en trumaos de lomajes y trumaos planos. Los suelos trumaos de lomajes —suelo Santa Bárbara (Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales-CORFO, 1964) — se encuentran ubicados en el sector de topografía ondulada comprendido entre el llano central de Cautín y la cordillera de los Andes, y los suelos trumaos planos, en el llano central de Malleco (suelo Victoria) y de Cautín (suelos Agua Fría y Vilcún). Estos últimos presentan una topografía plana a ligeramente ondulada (Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales-CORFO, 1964) (Sociedad Agronómica de Chile, 1964) (Valdés F., A., 1969).

El manejo previo del suelo se fijó como un factor variable, comprendiendo desde suelos deficientemente manejados a suelos con buen manejo. La estimación de la calidad del manejo se basó, principalmente, en el uso del suelo y aplicación de fertilizantes durante los seis años anteriores al del experimento, en la preparación de la cama de semilla y en el control de malezas.

Se trabajó con tres variedades de trigo: una de invierno, Cappelle Desprez (años 1966/67 a 1968/69), y dos de primavera, Chifén (año 1966/67) y Pumafén (año 1967/68).

Los experimentos se sembraron junto a la siembra del agricultor, en fecha que, con ciertas excepciones, se encuadra dentro de las épocas de siembra más recomendables para cada variedad de trigo. Cada experimento contó con tres repeticiones, y dos en algunos casos.

El nitrógeno se aplicó como salitre sódico (16% N): una tercera parte en la siembra, junto a la semilla, y el resto en la macolla, al voleo, para trigo de invierno; todo en la siembra, al voleo, para trigo de primavera. El fósforo se aplicó como superfosfato triple (46% P₂O₅) junto a la semilla, en la siembra.

En cada experimento se tomó una muestra de suelo del horizonte superficial (0 a 17 cm de profundidad) por repetición, antes de la siembra, para los correspondientes análisis de suelo. Se efectuó una descripción del perfil del suelo. Se aplicaron herbicidas para controlar las malezas de hoja ancha antes de la iniciación del estado de encañado del trigo, cuando ello fue necesario. Se tomó nota de infestación de malezas durante el desarrollo del

¹El autor desea expresar sus agradecimientos a los agricultores que cooperaron en el presente estudio proporcionando el suelo para el desarrollo de los experimentos; a los funcionarios del Instituto de Investigaciones Agropecuarias: Ing. Químico Gotardo Schenkel S., por haber aportado los análisis químicos de los suelos, lo cual se hace extensivo a sus colaboradores: Ing. Agr. Pedro Baherle V., por su colaboración en análisis químicos y en el desarrollo de algunos experimentos; Ing. Agr. Maximiliano Baeza C., por su colaboración en algunos experimentos; Práct. Agr. Florentino Quilaqueo M., por su colaboración en la ejecución de los experimentos, y al personal obrero de la Estación Experimental Carillanca que participó en la ejecución de los experimentos.

Recepción originales: 24 de febrero de 1972.

²Ing. Agr., M. S., Centro Suelos y Riego. Estación Experimental Carillanca, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. Actualmente en CIMMYT. Londres 40, México, D.F., México.

cultivo, de ataque de enfermedades, de tendidura y de profundidad de arraigamiento al final del desarrollo del cultivo.

Entre los factores edafológicos se consideraron los contenidos de materia orgánica; de nitrógeno asimilable (nitrógeno nítrico y amoniacal inicial, más el de incubación); de fósforo, aluminio, potasio y calcio extractables, y la profundidad del suelo. No se incluyó la textura, ya que ella es bastante uniforme en este tipo de suelos. Entre los factores biológicos se tomaron en cuenta la infestación de malezas y enfermedades fungosas. Entre los factores climáticos se incluyó la lluvia caída desde la iniciación del estado de cañaño del trigo al de grano lechoso (31 de diciembre para trigo de invierno y 15 de enero para trigo de primavera), bajas temperaturas de fines de primavera (por heladas durante la floración) y los vientos (por tendidura).

La determinación de los factores de producción se realizó tomando como base el rendimiento en grano del tratamiento testigo sin fertilización; el rendimiento máximo de los tratamientos con nitrógeno y con fósforo so-

los, o sea, 100 ó 200 Kg/ha de nitrógeno y 200 ó 400 Kg/ha de fósforo como P_2O_5 , respectivamente, y el rendimiento máximo del experimento, obtenido generalmente con la fertilización máxima usada¹: 200 Kg/ha de N y 400 Kg/ha de P_2O_5 . Para esto se hizo uso del análisis de correlación y regresión (Heady, E. O. y Dillon, J. L., 1961) (Snedecor, G. W. y Cochran, W. G., 1967).

RESULTADOS Y DISCUSION

En los Cuadros 1, 2 y 3 se indica la relación de número de experimentos, variedad de trigo y año por suelo estudiado; los valores de rendimiento en grano del tratamiento testigo sin fertilización y el máximo del experimento; los valores de los factores edafológicos, biológicos y climáticos considerados, excepto los del aluminio y calcio extractables del suelo, y algunos datos que son de interés para el análisis de la presente investigación.

¹Los rendimientos obtenidos corresponden a la producción real del trigo y, por lo tanto, debe tenerse en cuenta que a nivel de siembras comerciales existen pérdidas, las cuales pueden estimarse en un 10%.

Cuadro 1 — Relación de número de experimentos, variedades de trigo y año por suelo estudiado; rendimiento testigo y máximo; valores de materia orgánica, nitrógeno asimilable, fósforo y potasio extractables del suelo; profundidad del suelo, y enfermedades, para cada experimento.

EXPERI- MENTO	RENDIMIENTO ¹		MATERIA ORGANICA ²	N ASIMI- LABLE ²	P EXTRAC- TABLE ²	K EXTRAC- TABLE ²	PROFUNDIDAD DEL SUELO ³	FECHA DE SIEMBRA
	TESTIGO	MAXIMO						
	(qqm/ha)		(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(m)	
A Suelo Santa Bárbara - Trigo Cappelle Desprez 1966/67								
1	26,0	59,0	11,2	—	13,8	175	+ 1,20	2/6
2	41,0	68,0	15,9	—	16,8	135	+ 1,20	31/5
3	22,0	53,0	13,7	—	11,8	85	+ 1,20	30/5
4 (a) ⁵	48,0	77,9	16,1	—	16,8	135	+ 1,20	27/5
5	36,0	56,0	7,5	—	14,4	85	+ 1,20	20/5
6 (b)	44,0	56,0	14,5	—	20,4	70	+ 1,20	20/5
7	36,0	70,0	15,2	—	14,4	135	+ 1,20	31/5
8	22,0	59,0	17,4	—	12,6	105	+ 1,20	6/6
B. Suelo Santa Bárbara - Trigo Chifén 1966/67⁴								
9	18,0	45,9	14,5	129	11,8	126	+ 1,20	16/9
10	33,7	57,1	16,0	140	13,8	139	+ 1,20	15/9
11	30,5	59,8	12,4	141	17,8	152	+ 1,20	15/9
12	11,4	46,7	13,4	139	11,1	134	+ 1,20	21/9
13	23,1	56,6	12,5	123	12,4	118	+ 1,20	13/9
14	18,1	46,0	14,0	112	16,0	183	+ 1,20	13/9
15	20,1	47,9	11,9	106	20,0	185	+ 1,20	21/9
16	20,0	47,2	12,9	71	16,5	148	+ 1,20	14/9
C. Suelo Santa Bárbara - Trigo Cappelle Desprez 1967/68								
17 (b)	41,9	66,8	15,0	160	13,2	195	+ 1,20	13/6
18 (b)	21,8	66,5	9,8	107	10,8	142	+ 1,20	23/5
19 (ab)	33,4	64,8	13,1	98	14,5	123	+ 1,20	4/7
20	35,8	71,8	12,8	100	11,0	138	+ 1,20	8/6
21 (b)	14,2	55,1	13,8	108	8,3	138	+ 1,20	8/6

Cuadro 1 (continuación).

EXPERI- MENTO	RENDIMIENTO ¹		MATERIA ORGANICA ² (%)	N ASIMI- LABLE ² (ppm)	P EXTRAC- TABLE ² (ppm)	K EXTRAC- TABLE ³ (ppm)	PROFUNDIDAD DEL SUELO ³ (m)	FECHA DE SIEMBRA
	TESTIGO	MAXIMO						
	(qqm/ha)							
D. Suelo Santa Bárbara - Trigo Pumafén 1967/68								
22 (bc)	28,3	42,5	13,6	180	21,2	158	+ 1,20	29/9
23 (ab)	30,4	65,2	14,9	150	17,5	192	+ 1,20	26/9
24 (c)	7,5	37,7	12,1	138	10,5	102	+ 1,20	22/9
25 (c)	8,3	33,2	10,7	134	10,6	102	+ 1,20	6/10
26 (c)	13,5	36,0	10,6	145	16,0	135	+ 1,20	10/10
E. Suelo Santa Bárbara - Trigo Cappelle Desprez 1968/69								
27 (d)	23,5	28,3	9,4	—	5,2	—	+ 1,20	7/6
28 (d)	15,2	17,3	7,8	—	5,7	—	+ 1,20	5/6
29 (de)	29,1	32,2	10,8	—	7,4	—	+ 1,20	28/5
30 (de)	28,2	29,3	11,7	—	5,7	—	+ 1,20	4/6
F. Suelo Vilcún - Trigo Cappelle Desprez 1966/69								
31	38,4	67,6	13,4	—	10,8	173	0,90	20/5
32	20,0	70,0	13,5	—	9,6	173	0,95	24/6
33	21,4	55,8	15,5	140	18,5	173	0,60	2/6
34 (d)	26,8	56,5	11,7	109	5,8	105	0,60	28/5
35 (d)	25,7	37,3	11,3	—	6,7	—	—	28/5
G. Suelo Vilcún - Trigo Pumafén 1967/68								
36	21,0	55,9	15,0	152	19,2	140	0,60	22/8
37 (bc)	23,8	42,8	14,6	202	13,2	390	0,50	5/10
38 (bc)	18,4	48,3	16,5	182	18,4	80	0,85	27/9
H. Suelo Victoria - Trigo Cappelle Desprez 1967/69								
39 (c)	15,9	49,8	7,2	59	8,8	142	0,40	29/5
40 (c)	9,3	37,7	7,3	67	7,4	130	0,45	9/6
41 (c)	10,4	46,7	7,5	64	8,7	200	0,40	9/6
42	5,0	42,5	9,7	57	4,1	172	0,55	21/6
43	22,4	54,3	5,5	65	5,0	252	0,50	19/6
44	6,2	47,1	6,1	82	6,2	178	0,45	31/5
45	29,1	60,4	8,3	124	4,1	175	0,80	13/5
I. Suelo Agua Fría - Trigo Cappelle Desprez 1967/69								
46 (c)	16,9	43,7	7,5	84	11,0	72	0,65	12/6
47	22,3	58,1	9,3	133	4,5	175	0,95	7/6

¹Los valores están dados con 15% de humedad aproximadamente. El rendimiento testigo se obtuvo sin fertilización y el máximo del experimento generalmente con la fertilización máxima usada: 200 Kg/ha de N y 400 Kg/ha de P_2O_5 . En la gran mayoría de los experimentos se logró alcanzar el rendimiento máximo potencial de la variedad para las condiciones del sitio experimental. En algunos de ellos, la fertilización máxima usada no fue suficiente para ello.

²La materia orgánica se determinó mediante la mezcla crómico-sulfúrica, según la técnica propuesta por Springer y Klee, citados por Thun *et al.* (1955); el nitrógeno de incubación, según el método de Keeney, D. R. y Bremner, J. M. (1966) (no fue posible realizarlo para todos los experimentos); el fósforo extractable, según el método de Olsen *et al.* (1954) modificado por Schenkel *et al.* (1970); el potasio extractable mediante el extracto Morgan en la forma propuesta por Hurtado L., R. (1962).

³Se tomó como profundidad máxima 1,20 m, porque hasta dicha profundidad se observaban raíces en los suelos más profundos para el tratamiento con fertilización máxima.

⁴El trigo Chifén sufrió un ataque moderado de polvillo estriado (*Puccinia striiformis* West), que aparentemente afectó los rendimientos.

⁵(a) Trigo asociado con trébol rosado (*Trifolium pratense* L.).

(b) Trigo visiblemente afectado por mal del pie (*Ophiobolus graminis* Sacc.). Experimento 6 con daño moderado. Experimentos 17-18-19-21-22-23-37-38, con daños ligeros.

(c) Trigo visiblemente afectado por sequía.

(d) Trigo afectado por tendidura. El rendimiento indicado como máximo corresponde a la fertilización máxima usada, excepto para el Experimento 34.

(e) Trigo afectado por heladas durante la floración y por tendidura. El rendimiento indicado como máximo corresponde a la fertilización máxima usada.

Cuadro 2 — Infestación de malezas; uso del suelo y cantidades aproximadas de nitrógeno y fósforo aplicadas al suelo durante los seis años anteriores al del experimento, y lluvia caída desde el estado del encañado del trigo al de grano lechoso, para cada experimento.

EXPERIMENTO	MALEZAS ¹				USO DEL SUELO ²	N Y P ₂ O ₅ APLICADOS AL SUELO (Kg/ha)		LLUVIA CAIDA (mm)
	1	2	3	4				
1	0	1	2	4	Ta/P /P /P /P /A	64	205	356
2	0	0	0	1	Pn/P /P /P /A /A	0	350	395
3	0	1	2	4	Pn/Pn/T /Pn/Pn/R	0	100/200	402
4	0	1	2	0	Aa/P /P /P /P /R	72	250	356
5	2	4	0	3	P /P /Ta/P /P /R	16	150	330
6	1	2	3	1	P /P /Re/Ta/P /P	96/112	520	330
7	0	1	2	2	Ta/P /P /Ta/P /P	0	200	469
8	0	0	1	5	Pn/T /Pn/A /Pn/R	16	210	424
9	3	1	3	3,5	P /P /Ta/P /P /P	0	113	400
10	3	2	4	2	P /Ta/P /P /Ta/P	0	200	415
11	0	0	1	0	P /P /Pa/P /P /Co	150/180	295	336
12	2	0	1	3,5	Ta/P /P /Ta/P /P	0	188	406
13	3,5	2	3,5	0	T /Pn/Pn/M /Pn/M	0	95	311
14	2	0	2	3,5	Pn/Pn/R /T /Pn/Pn	0	325	291
15	5	1	2	1	Pn/Ta/P /P /P /R	0	300	291
16	1	0	2	1	Pn/R /Pn/Pn/Pn/R	24	295	248
17	0	0	0	2	Pn/Pn/Pn/Pn/Pn/Pn	0	0	281
18	0	0	1	1	Pn/Pn/T /T /Pn/Pn	0	82	281
19	11	1	2	3	P /R /Ta/P /P /R	0	505	266
20	0	0	0	1	P /P /T /R /P /P	0	300	317
21	1	1	2	5	T /Pn/Pn/T /P /P	0	166	363
22	5	0	1	1	P /P /P /P /P /R	64	282	172
23	1	2	3	2	Ta/P /P /P /P /R	56	380	194
24	3	3	4	4	T /Pn/Pn/Ta/P /P	0	166	194
25	2	0	1	1	Pn/Pn/R /T /Pn/Pn	66	160	137
26	3	0	1	1	Pn/Pn/Pn/Pn/Pn/R	13	45	137
27	—	—	—	—		—	—	358
28	—	—	—	—		—	—	400
29	—	—	—	—		—	—	398
30	—	—	—	—		—	—	394
31	0	0	0	2		—	—	322
32	1	1	0,5	0,5	Pn/B /Pn/Pn/B /A	0	0	299
33	2	4	2	2	Pn/A /Pn	—	—	208
34	1	2	0	1	Pn/A /Pn	—	—	309
35	—	—	—	—		—	—	383
36	1	0	1	1	Pn/A /Pn	—	—	217
37	2	0	0	0	Ta/P /P /Ta/P /Pa	390	490	109
38	4	0	2	2	P /A /Ta/P /P /C	32	350	172
39	0	0	1	2	Pn/Pn/R /Pn/Pn/Pn	16	50	164
40	3	4	1	4	Pn/T /A /Pn/Pn/Pn	32	0	235
41	2	4	0	2	Pn/T /Pn/T /Pn/Pn	26	27	162
42	0	0	1	2	A	—	—	203
43	0	2	3	1	P	—	—	264
44	3	0	2	5	Pn	—	—	263
45	0	0,5	0,5	0	P	—	—	305
46	2	5	0	3	Pn/Pn/Ta/P /P /P	32	184	162
47	2	0	1	1	P	—	—	318

¹Malezas 1 = malezas de hoja ancha y avenilla (*Avena fatua* L.) al final del estado de macollaje del trigo.
Malezas 2 = malezas de hoja ancha y avenilla al final del estado de encañado del trigo.
Malezas 3 = malezas de hoja ancha a la cosecha del trigo.
Malezas 4 = chéptica (*Agrostis* sp.) a la cosecha del trigo.
La intensidad de la infestación está medida en notas de 0 a 5 según la siguiente escala relativa: 0 = ausentes; 1 = muy escasas; 2 = escasas; 3 = comunes; 4 = abundantes, y 5 = muy abundantes.
²T = trigo de invierno; Ta = trigo asociado con forrajeras; A = avena; Aa = avena asociada con forrajeras; R = raps; M = maíz; Re = remolacha; C = cebada; Co = col forrajera; Pa = papas; P = pradera con trébol rosado, al menos cuando joven; Pn = pradera natural con predominio de chéptica; B = barbecho.

Cuadro 3 — Relación entre rendimiento y tendidura, y entre rendimiento, tendidura y daños de heladas durante la floración, en aquellos experimentos en donde las hubo, para diferentes fertilizaciones.

EXPERIMENTO	FERTILIZACION: (N — P ₂ O ₅ Kg/ha)				
	0-0	50-100	100-200	150-300	200-400
RENDIMIENTO Y PORCENTAJE DE TENDIDURA (qq/ha — %)					
A. Sin daños de heladas					
27	23,5-0	37,1-37	34,9-70	25,2-80	28,3-73
28	15,2-0	40,4-0	33,1-26	24,2-47	17,3-96
34	26,8-0	41,9-0	51,0-0	51,9-13	44,9-47
35	25,7-0	41,4-0	51,2-16	50,0-32	37,3-80
45	28,8-0	44,8-0	53,0-0	56,8-23	54,9-26
(Promedio)	24,0-0	41,1-7	44,6-22	41,6-39	36,5-64
B. Con daños de heladas					
29	29,1-0	34,3-0	40,5-27	42,7-0	32,2-30
30	28,2-0	31,3-30	28,2-0	34,8-47	29,3-27

El contenido de aluminio extractable del suelo varió de 100 a 936 ppm, con un valor medio de 401 ppm, y el calcio extractable, de 50 a 2250 ppm, con un valor medio de 1050 ppm¹.

A continuación se analiza la relación existente entre rendimiento y los valores de los factores edafológicos, biológicos y climáticos considerados, con miras a determinar cuáles son los principales factores de producción del trigo y cuantificar la importancia relativa de ellos en los suelos y área estudiados.

Factores de producción.

El grado de asociación existente entre el rendimiento máximo y los factores: contenido de materia orgánica del suelo, potasio extractable del suelo, profundidad del suelo, infestación de malezas, potencial de producción de la variedad de trigo, enfermedad (*Puccinia striiformis* West.) y lluvia, se indican en el Cuadro 4.

Los factores: contenido de aluminio y calcio extractables del suelo, no presentaron ningún grado de asociación con el rendimiento, ya sea con aquél obtenido con una fertilización nitrogenada y fosfatada no limitantes como con el otro obtenido sin fertilización. Esto significaría que tanto el aluminio como el calcio del suelo fueron factores que no afectaron el rendimiento del trigo, o que el método usado para determinar sus respectivas actividades en el suelo no fue adecuado para ello. Podría ser que la primera suposición fuese la más real.

La determinación de los factores de pro-

ducción de entre todos aquéllos indicados en el Cuadro 4 se efectuó mediante análisis de regresión (Snedecor, G. W. y Cochran, W. G., 1967), considerando el rendimiento máximo de cada experimento. En último término, y en

Cuadro 4 — Grado de asociación entre rendimiento máximo y los factores edafológicos, biológicos y climáticos considerados.

FACTOR ¹	COEFICIENTE DE CORRELACION r
Contenido de materia orgánica del suelo	0,357*
Contenido de potasio del suelo:	
Suelo trumao de lomaje-trigo Capelle Desprez	0,478 ^{oo}
Suelo trumao de lomaje-trigo Chifén y Pumafén	0,499 ^{oo}
Suelo trumao plano-trigo Cappelle Desprez y Pumafén	0,293
Profundidad del suelo ²	0,325*
Suma de malezas ³ 1, 2 y 3	—0,432**
Malezas 4	—0,253
Suma de malezas 1, 2, 3 y 4	—0,461**
Potencial de producción de la variedad de trigo ³	0,467**
Enfermedad (<i>Puccinia striiformis</i> West.) ⁴	0,142
Lluvia caída desde el estado de encañado al de grano lechoso	0,560**

*Significativo al nivel de 0,05.

**Significativo al nivel de 0,01.

^{oo}Significativo al nivel de 0,10.

¹No se consideraron los factores contenido de nitrógeno y de fósforo asimilables del suelo, ya que el rendimiento máximo se obtuvo con cantidades no limitantes de nitrógeno y fósforo aplicados.

²El límite máximo de profundidad del suelo se fijó en 1,00 m.

³Al factor potencial de producción de la variedad de trigo se le dio un valor +1 para la variedad de invierno, Cappelle Desprez, y de —1 para las de primavera, Chifén y Pumafén (Cuadro 1).

⁴Al factor enfermedad (*Puccinia striiformis* West.) se le dio un valor de —1 cuando estuvo presente (Experimentos 9 a 16) y de +1 cuando no lo estuvo (Cuadro 1).

⁵Ver nota¹ Cuadro 2.

¹El aluminio y calcio extractables del suelo se determinaron mediante el extracto de Morgan en la forma propuesta por Hurtado L., R. (1962).

base a un nivel límite de probabilidad de 0,10, se llegó a una ecuación de regresión de rendimiento máximo en función de las variables (factores) cuyos correspondientes coeficientes de regresión, valores de t y nivel de significación estadística se indican en el Cuadro 5.

De la ecuación de regresión se desprende que, de los factores indicados en el Cuadro 4, serían factores de producción del trigo en los suelos y áreas estudiados los siguientes: 1) el contenido de materia orgánica del suelo; 2) la profundidad del suelo; 3) la infestación de malezas 4 (chépica, *Agrostis* sp.) durante el desarrollo del cultivo; 4) el potencial de producción de la variedad de trigo; 5) el ataque de *Puccinia striiformis* West., en la intensidad en que se presentó, y 6) la lluvia caída durante su ciclo de desarrollo, o al menos durante parte de él (desde la iniciación del estado de encañado del trigo al de grano lechoso). A su vez, no sería factor de producción el potasio extractable del suelo.

La interpretación de la ecuación indica que: — El contenido de materia orgánica del suelo presentó un efecto lineal positivo sobre el rendimiento máximo del trigo, pero también, un efecto de interacción con el potencial de producción de la variedad de trigo. Esto significa, en primer lugar, que un incremento en el contenido de materia orgánica del suelo causó un aumento del rendimiento del trigo y, en segundo, que este aumento fue diferente para la variedad de trigo de invierno y las de primavera. Re-

sulta interesante este tipo de efecto de la materia orgánica del suelo. Sin embargo, no se contó con los antecedentes suficientes como para tratar de interpretarlo. La relación existente entre el rendimiento máximo del trigo y el contenido de materia orgánica del suelo puede observarse en la Figura 1.

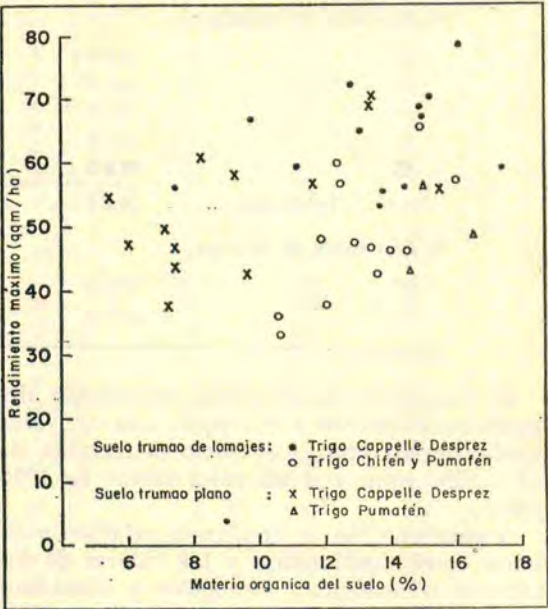


Figura 1 — Relación entre rendimiento máximo y contenido de materia orgánica del suelo.

Cuadro 5 — Ecuación de regresión: variables y sus correspondientes coeficientes de regresión, valores de t y nivel de significación estadística.

VARIABLE O FACTOR(1)	COEFICIENTE DE REGRESION	VALOR DE T(2)	NIVEL DE SIGNIFICACION ESTADISTICA
(Ordenada)	—11,14458		
H	1,940688	4,440	0,01
P	10,302461	1,697	0,10
M	— 3,187309	—5,636	0,01
V	19,370211	2,839	0,01
E	3,602943	2,315	0,05
L	0,212946	3,256	0,01
L ²	— 0,000287	—2,703	0,05
HV	— 1,148877	—2,424	0,05
(R ² = 0,829)			

⁽¹⁾H corresponde al contenido de materia orgánica del suelo; P, a la profundidad del suelo; M, a la infestación de maleza 4 (Cuadro 2); V, al potencial de producción de la variedad de trigo; E, a enfermedad (*Puccinia striiformis* West.); L y L², a la lluvia caída desde la iniciación del estado de encañado del trigo al de grano lechoso en sus términos lineal y cuadráticos respectivamente; HV, a la interacción entre la materia orgánica del suelo y el potencial de producción de la variedad de trigo.
⁽²⁾El valor de t se calculó usando el cuadrado medio de las desviaciones de regresión.

— La profundidad del suelo presentó un efecto lineal positivo sobre el rendimiento máximo. En otras palabras, el rendimiento máximo aumentó conjuntamente con un incremento en la profundidad del suelo, al menos hasta 1,00 m, límite máximo considerado. Este efecto de la profundidad del suelo pudiera estar relacionado con el volumen de suelo disponible para el desarrollo de la planta, tanto desde un punto de vista de cantidad de nutrientes como de humedad aprovechable o, incluso, de materia orgánica, aunque respecto a la cantidad de humedad aprovechable no se encontró interacción entre lluvia y la profundidad del suelo. La relación entre el rendimiento máximo del trigo y la profundidad del suelo se observa en la Figura 2.

— El factor infestación de malezas 4 (chépica, *Agrostis*, sp.) presentó un efecto lineal negativo sobre el rendimiento máximo. Esto es, que un aumento de la infestación de esta maleza hizo decrecer el rendimiento máximo del trigo. Llama la atención el hecho de que solamente haya existido efecto de esta maleza sobre el rendimiento del tri-

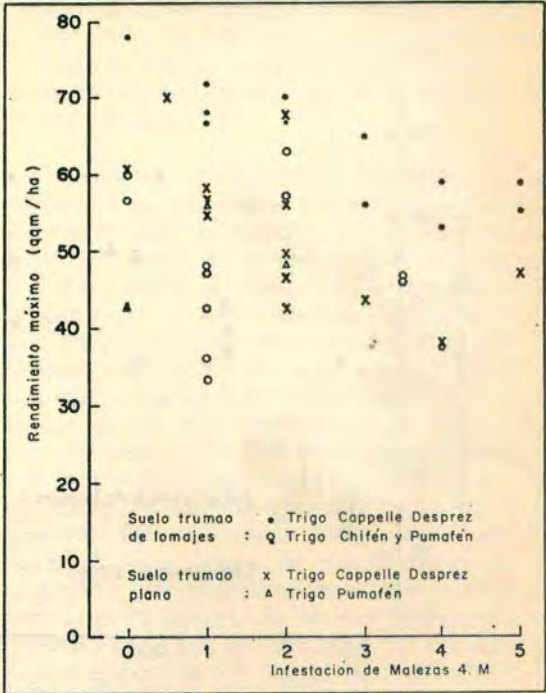
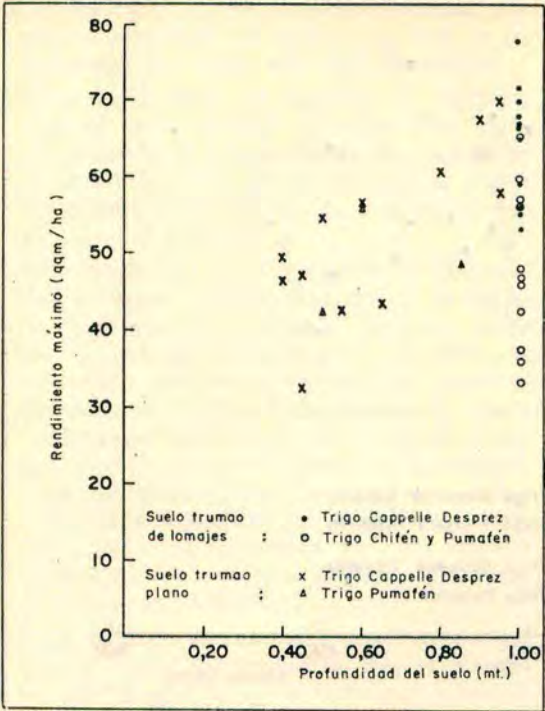


Figura 2 — Relación entre rendimiento máximo y profundidad del suelo.

Figura 3 — Relación entre rendimiento máximo e infestación de malezas 4.

go y que no lo haya habido de parte de las demás malezas. Con respecto a esto, se ha de recordar que estas últimas se controlaron en mayor o menor grado mediante el uso de herbicidas. De todos modos, esto no aminora la importancia de la chépica como factor limitante de la producción de trigo en los suelos y área estudiados. El efecto de la infestación de chépica sobre el rendimiento máximo del trigo puede observarse en la Figura 3.

El factor potencial de producción de la variedad de trigo presentó un efecto lineal positivo sobre el rendimiento máximo. Esto se ha de interpretar en el sentido de que la variedad de invierno, Cappelle Desprez, presentó un mayor potencial de producción que las de primavera, Chifén y Pumafén, pues a la primera se le dio un valor de +1 y a las últimas de -1 (Cuadro 4).

El factor enfermedad (*Puccinia striiformis* West.) presentó un efecto lineal positivo sobre el rendimiento máximo. Esto porque la variedad de primavera Chifén, la cual sufrió el daño debido a este factor, se le codificó con el valor de -1.

La lluvia caída desde el estado de encañado del trigo al de grano lechoso presentó un efecto lineal positivo y cuadrático negativo sobre el rendimiento máximo. El efecto li-

neal positivo indica que la lluvia fue deficiente en ciertas localidades. A su vez, el efecto cuadrático negativo señala que la deficiencia se redujo gradualmente a medida que aquélla aumentaba. Este factor puede considerarse como un estimador de la condición de humedad de la planta durante dicho período, que es en el cual la planta presenta mayor sensibilidad a deficiencia de agua. Se reconoce sí, que, en general, la lluvia total no es un buen estimador de dicha condición, ya que no dice nada acerca de su distribución. Más aún, en este caso, no se consideraron las pérdidas por escurrimiento superficial. De acuerdo con los valores de los coeficientes de la ecuación de regresión correspondiente a estos efectos, se llega a determinar que el rendimiento máximo se logró con alrededor de 370 mm de lluvia durante el citado período. La relación existente entre el rendimiento máximo y la lluvia puede ser observada en la Figura 4.

Los factores de producción del trigo antes mencionados explican el 83% de la variación del rendimiento máximo, según se desprende del coeficiente de determinación, R^2 , de la ecuación de regresión, o sea, una parte bastante importante de dicha variación. Cierta parte de la variación no explicada se puede atribuir

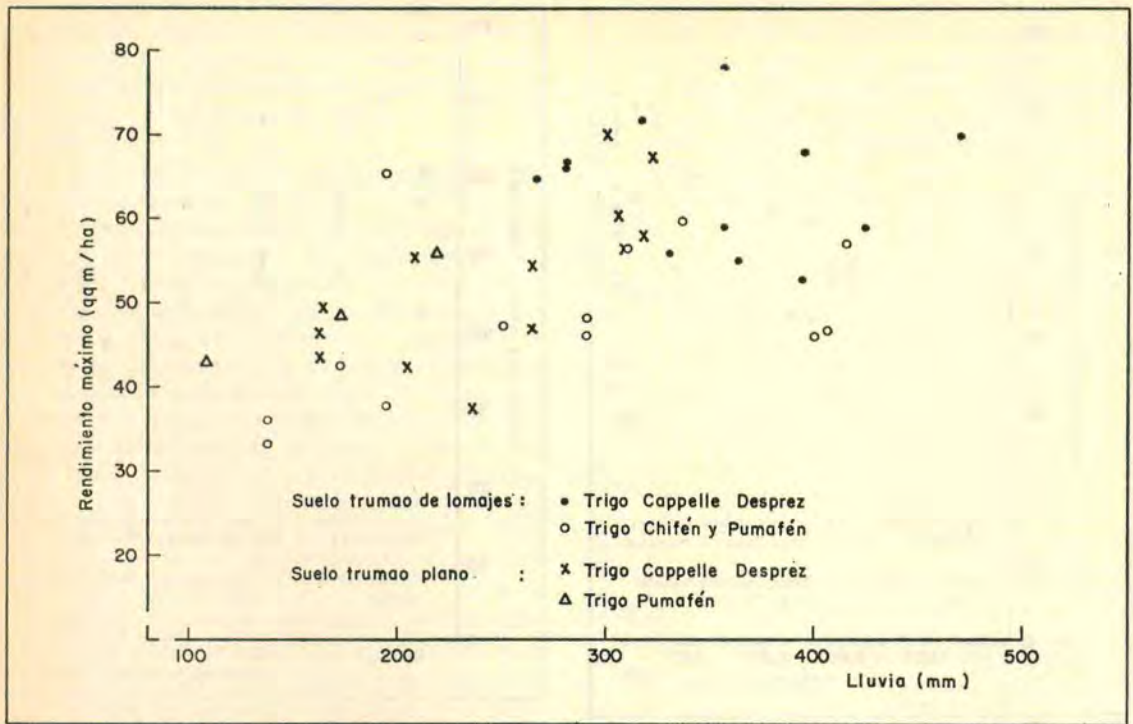


Figura 4 — Relación entre rendimiento máximo y lluvia.

a: 1) error de medición de la infestación de malezas, ya que ello se efectuó en base a una apreciación sujeta a subjetividad; 2) que la lluvia no es un buen estimador de la condición de humedad de la planta; 3) que en algunos experimentos no se alcanzó el rendimiento máximo con la fertilización máxima usada; en otras palabras, no se eliminaron totalmente los factores de bajos contenidos de nitrógeno y de fósforo asimilables del suelo, y 4) error experimental en la obtención del rendimiento máximo. Si estas suposiciones fuesen verdaderas, se podría inferir que los factores: contenido de materia orgánica del suelo, profundidad del suelo, infestación de chéptica (*Agrostis* sp.), potencial de producción de la variedad de trigo, y lluvia, serían los principales factores limitantes de la producción del trigo en los suelos y área estudiados cuando los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo dejan de ser críticos, mediante la fertilización, y cuando se han controlado bien las malezas controlables por herbicidas.

En cuanto al contenido de potasio extractable del suelo, el cual puede considerarse como un estimador del potasio asimilable, presentó cierto grado de asociación con el rendimiento máximo en suelo trumao de lomaes, Santa Bárbara, según se indica en el Cuadro 4. Sin embargo, este factor no quedó incluido en la

ecuación de regresión ante la presencia de los demás factores. De todo modos, parece ser interesante estudiar más detalladamente el efecto del potasio asimilable del suelo sobre el rendimiento del trigo en los suelos y área estudiados. Por ser de interés, en la Figura 5 se indica la respectiva relación.

Desde un punto de vista práctico, es interesante expresar el efecto de los factores: contenido de materia orgánica del suelo; profundidad del suelo; infestación de malezas 4; potencial de producción de la variedad de trigo, y lluvia, como limitantes de la producción de trigo, en términos de rendimiento en grano. A partir de la ecuación de regresión se desprende que el efecto promedio de los factores antes indicados fue:

- Para materia orgánica del suelo, de 19,8 qqm/ha. Este valor equivale a la diferencia entre los rendimientos máximo y mínimo promedio, obtenidos con 17,4 y 5,5% de materia orgánica del suelo, respectivamente, valores límites observados, considerando la interacción con el potencial de producción de la variedad de trigo.
- Para profundidad del suelo, de 5,7 qqm/ha. Valor que corresponde a la diferencia entre el rendimiento máximo promedio, obtenido en suelos con por lo menos 1,00 m de

profundidad, y el rendimiento mínimo promedio, obtenido en suelos con 0,40 m de profundidad, valor mínimo observado.

- Para infestación de malezas 4 (chépica, *Agrostis* sp.), de 15,9 qqm/ha. Este valor corresponde al efecto depresivo promedio de una infestación severa de maleza (valor de la infestación igual a 5) durante el desarrollo del cultivo.
- Para potencial de producción de la variedad de trigo, de 10,6 qqm/ha de la variedad de invierno, Cappelle Desprez, sobre las de primavera, Chifén y Pumafén, al contenido promedio de materia orgánica del suelo de 12,2%. Cabe señalar sí, que a medida que aumenta el contenido de materia orgánica del suelo disminuye la diferencia de potencial de producción entre dichas variedades. Según la ecuación de regresión, esta diferencia llegaría a ser cero cuando el contenido de materia orgánica del suelo alcanzase al 16,9%.
- Para la enfermedad (*Puccinia striiformis* West.), en la intensidad en que se presentó, de 7,2 qqm/ha.
- Para lluvia caída desde el estado de encañado del trigo al de grano lechoso, de 19,7 qqm/ha. Este valor equivale a la diferencia entre el rendimiento máximo promedio

obtenido con 370 mm de lluvia durante el período antes indicado, y el rendimiento mínimo promedio obtenido con 109 mm, valor mínimo de lluvia observado durante dicho período.

Otro factor de producción del trigo en los suelos y área estudiados lo constituyen los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo. El efecto de ellos se demuestra claramente al comparar el rendimiento máximo de los experimentos, obtenidos con una fertilización no limitante en nitrógeno y fósforo, con aquél obtenido sin fertilización. Los valores de estos rendimientos, para el promedio de los 42 experimentos en los cuales no existieron daños por tendidura ni heladas, son 54,4 y 23,6 qqm/ha, respectivamente, de los cuales se obtiene una diferencia de 30,8 qqm/ha. Esta diferencia corresponde, por lo tanto, al efecto directo de una fertilización nitrogenada y fosfatada no limitante, al menos para la gran mayoría de los experimentos. Esta fertilización fue, en promedio, de 179 Kg/ha de nitrógeno y de 372 Kg/ha de fósforo, expresado como P_2O_5 . Este efecto conjunto de la fertilización nitrogenada y fosfatada puede desglosarse en: un efecto simple de la fertilización nitrogenada de 8,9 qqm/ha; un efecto simple de la fertilización fosfatada de 13,1

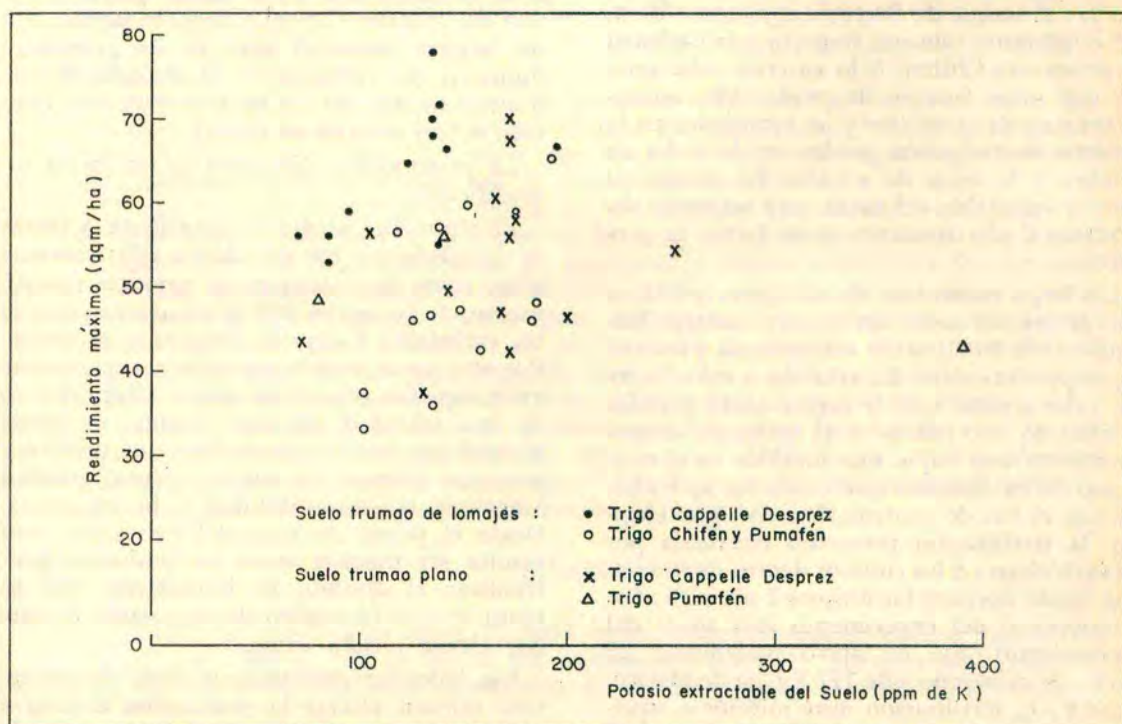


Figura 5 — Relación entre rendimiento máximo y potasio extractable del suelo.

qqm/ha, y un efecto de interacción de ambas fertilizaciones de 8,8 qqm/ha.

Por último, de los Cuadros 2 y 3 se desprende que también fueron factores de producción del trigo, el ataque de *Ophiobolus graminis* Sacc. (mal del pie), el viento (por tendidura) y las bajas temperaturas de fines de primavera (por heladas durante la floración).

Importancia relativa de los factores de producción

De los factores de producción del trigo considerados, los más importantes por la magnitud de su efecto sobre los rendimientos y/o la frecuencia con que se presentan en los suelos y área estudiados fueron: 1) los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilable del suelo, 2) el contenido de materia orgánica del suelo, 3) la lluvia caída desde el estado de encañado del trigo al de grano lechoso, 4) la infestación de chépica durante el desarrollo del cultivo, 5) el potencial de producción de la variedad de trigo, 6) la profundidad del suelo, 7) el viento (por tendidura), y 8) las bajas temperaturas de fines de primavera (por heladas durante la floración). En cuanto a enfermedades de tipo fungoso, el ataque de *Ophiobolus graminis* Sacc. fue aparentemente importante en solamente una localidad y de escasa significación en otras 8 de ellas (Cuadro 2); el ataque de *Puccinia striiformis* West. fue importante sólo con respecto a la variedad de primavera Chifén. A lo anterior cabe agregar que otros factores de producción, importantes para el agricultor y no estudiados en la presente investigación, suelen ser la fecha de siembra y la dosis de semilla. En cuanto al potasio asimilable del suelo, será necesario determinar si efectivamente es un factor de producción.

Los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo son factores controlables mediante la fertilización nitrogenada y fosfatada, respectivamente. En relación a estos factores, cabe señalar que la importancia práctica de ellos no sólo radica en el hecho de presentar valores muy bajos, sino también en el escaso uso de fertilizantes que hacen los agricultores con el fin de controlarlos. Así, por ejemplo, la fertilización promedio efectuada por los agricultores a los cultivos dentro de la rotación usada durante los últimos 7 años (6 años anteriores al del experimento más aquél del experimento) fue de aproximadamente 22 Kg/ha de nitrógeno y de 117 Kg/ha de fósforo, como P_2O_5 , fertilización muy inferior a aquella que produjo los rendimientos máximos (179 Kg/ha de N y 372 Kg/ha de P_2O_5).

El contenido de materia orgánica del suelo sería un factor de gran importancia para lograr rendimientos altos con trigo. Desde este punto de vista, deben considerarse las prácticas que permitan su aumento en el suelo, o al menos su conservación. Esto se consigue mediante un adecuado manejo del suelo, básicamente en lo que se refiere a rotaciones y uso de fertilizantes.

La lluvia caída durante el desarrollo del cultivo, cuando es insuficiente para satisfacer las necesidades de agua de éste, puede ser controlable mediante riego en los suelos planos que lo permitan económicamente.

Las malezas de hojas anchas generalmente dejan de ser un factor limitante cuando se usan herbicidas para su control. No sucede igual cosa para con las malezas gramíneas, cuyo control directo en el trigo es actualmente difícil, excepto en el caso de avenilla (*Avena fatua* L.) y cola de zorro (*Cynosurus echinatus* L.). El control de las demás malezas gramíneas, chépica (*Agrostis* sp.) por ejemplo, deberá efectuarse en otros cultivos (no gramíneas) dentro de la rotación y/o en base a una adecuada y oportuna preparación de la cama de semilla.

El potencial de producción de la variedad de trigo es un factor que depende de las variedades en uso en un momento dado. Respecto a él, es interesante hacer notar que la variedad de invierno Cappelle Desprez presentaría un mayor potencial que la de primavera Pumafén. Sin embargo, en la elección de una u otra variedad existen otros factores que también deben tomarse en cuenta.

La profundidad del suelo es un factor inmodificable.

El efecto del viento se manifiesta a través de la tendidura en variedades relativamente altas, como las usadas en la presente investigación, de las cuales aún se encuentran en uso las variedades Cappelle Desprez y Pumafén. Por otra parte, este factor actúa especialmente sobre aquellas plantas de mayor altura dentro de una variedad. En este sentido, se puede agregar que fertilizaciones altas, que tienden a producir plantas de mayor altura, pueden aumentar la susceptibilidad a la tendidura. Desde el punto de vista del agricultor, esto resulta ser muchas veces un limitante para fertilizar al óptimo. Es importante, por lo tanto, ir a la obtención de variedades de menor altura y caña firme.

Las bajas temperaturas de fines de primavera pueden afectar la producción debido a heladas durante la floración. Ellas son más comunes en la zona más cercana a la cordi-

llera de Los Andes, y suelen causar daños más o menos severos en ciertos años.

En cuanto a las enfermedades de tipo fungoso, el ataque de *Ophiobolus graminis* Sacc. resulta ser importante bajo determinadas condiciones ambientales y de manejo del suelo, y también el ataque de *Puccinia striiformis* West., cuando las condiciones climáticas son favorables para su desarrollo y la variedad de trigo pierde resistencia a su ataque. La primera enfermedad puede ser controlada, en alguna medida, indirectamente a través del manejo del suelo (rotaciones), y la segunda mediante la obtención de variedades resistentes.

CONCLUSIONES

De la presente investigación, realizada en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín, se concluye que los factores de producción del trigo más importantes en los suelos y área estudiados fueron:

- 1) Los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilable del suelo.
- 2) El contenido de materia orgánica del suelo.
- 3) La lluvia caída desde el estado de encañado del trigo al de grano lechoso.
- 4) La infestación de malezas durante el desarrollo del cultivo, haciendo especial mención a la infestación de chépica (*Agrostis* sp.).
- 5) El potencial de producción de la variedad de trigo.
- 6) La profundidad del suelo.
- 7) El viento (por causar tendidura).
- 8) Las bajas temperaturas de fines de primavera (por causar heladas durante la floración).

De los factores ataque de *Ophiobolus graminis* Sacc. y de *Puccinia striiformis* West., aparentemente el primero presentó escasa importancia, y el segundo fue importante sólo con respecto a la variedad de primavera Chifén.

RESUMEN

Tomando como base 47 experimentos de respuesta del trigo, a nitrógeno y fósforo, realizados durante el período 1966/67 a 1968/69, se trató de determinar los principales factores de producción para este cultivo y cuantificar la importancia relativa de ellos como limitantes de la producción en suelos trumaos de las provincias de Malleco y Cautín.

Los suelos trumaos estudiados se pueden agrupar en trumaos de lomajes (suelo Santa Bárbara) y en trumaos planos (suelos Victoria, Agua Fría y Vilcún).

Las variedades de trigo usadas fueron Cappelle Desprez, de invierno, y Chifén y Pumafén, de primavera.

La determinación de los factores de producción del trigo se efectuó a partir del rendimiento en grano del tratamiento testigo sin fertilización, y del rendimiento máximo del experimento, obtenido con una fertilización nitrogenada y fosfatada no limitante. Para esto se hizo uso de análisis de regresión.

De los factores edafológicos, biológicos y climáticos considerados, resultaron ser factores importantes para la producción de trigo en los suelos y áreas estudiados, los siguientes: los bajos contenidos de nitrógeno y fósforo asimilables del suelo; el contenido de materia orgánica del suelo; la lluvia caída desde el estado de encañado del trigo al de grano lechoso (por deficiencia); la infestación de malezas durante el desarrollo del cultivo; el potencial de producción de la variedad de trigo (la variedad de invierno, Cappelle Desprez, fue superior a las de primavera, Chifén y Pumafén; la profundidad del suelo; el viento (por causar tendidura), y las bajas temperaturas de fines de primavera (por causar heladas durante la floración). En cuanto a enfermedades de tipo fungoso, *Ophiobolus graminis* Sacc. y *Puccinia striiformis* West., aparentemente la primera no fue importante y la segunda lo fue sólo con respecto a la variedad de primavera Chifén.

SUMMARY

Considering the results from 47 field experiments, conducted during the seasons 1966/67 to 1968/69 and in which the response of wheat to nitrogen and phosphorus was observed, the main production factors affecting this crop and their relative

importance as limitants of the productivity of "trumao" soils in the provinces of Malleco and Cautín was studied.

The soils considered in this study can be grouped in: a) trumaos in sloping land (Santa Barbara), and b) trumaos in plains (Victoria, Agua Fría and Vilcún). The varieties were: Cappelle Desprez (winter) and Chifen and Pumafen (spring).

The determination of the production factors was based on the yield in grain for the tester plots (no fertilizers) and the maximum yield, obtained with levels of nitrogen and phosphorus non limitant to the productivity of wheat. A regression analysis was used for this.

From all the soil, biological and weather factors considered, the following were found to be relevant for the production of wheat on the soils and areas envolved in the experiments: Soil content in assimilable nitrogen and phosphorus; Soil content in organic matter; Rain fall during the period between the stalk forming stage and the milky grain stage of wheat; Field infestation with weeds; The potential production of the wheat variety (the winter variety was superior to the spring varieties); Soil depth; Wind (lodging); and Low temperatures in late spring (frosts during flowering). The fungus diseases, *Ophiobolus graminis* Sacc. and *Puccinia striiformis* West., apparently were not important; though they are important, in general, under certain conditions.

LITERATURA CITADA

- FRÍAS M., HERNÁN. 1967. Experimentos en los fundos sobre fertilización de trigo en Malleco y Cautín. 1966-1967. Santiago, Chile, Ministerio de Agricultura, Departamento de Extensión Agrícola. 15 p.
- HEADY, EARL O. and DILLON, JOHN L. 1961 Agricultural production functions. Ames, Iowa State University Press. 667 p.
- HURTADO L., RICARDO. 1962. Potasio, nitrógeno y materia orgánica en suelos dedicados al cultivo de la alfalfa. Chillán, Chile. Universidad de Concepción. 69 p. (Tesis Ing. Agr., mimeografiada).
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE RECURSOS NATURALES-CORFO. 1964. Suelos. Descripciones Proyecto Aerofotogramétrico CHILE/OEA/BID. Publicación Nº 2, Santiago. pp. 15, 342, 379, 381.
- KEENEY, D. R. and BREMNER, J. M. 1966. Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. Agronomy Journal. 58: 498-503.
- LETÉLIER A., ELÍAS, RUSSI S., ENRIQUE, POLLE O., ENRIQUE, SAN CRISTÓBAL N., ISABEL, BARAHONA S., JORGE, ROJAS U., OSCAR e INFANTE M., JOSÉ. 1961. Cien ensayos NPK en trigo. Santiago, Chile, Ministerio de Agricultura, Departamento de Investigaciones Agrícolas. Boletín Técnico Nº 9. 43 p.
- . 1965. Uso actual y necesidad potencial de fertilizantes en la agricultura chilena (II). Agricultura Técnica (Chile). 25 (4): 137-154.
- OLSEN, STERLING R., COLE, C. V., WATANABE, FRANK, S. and DEAN, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Washington. U. S. Department of Agriculture. Circular Nº 939. 19 p.
- SCHENKEL S., GOTARDO, BAHERLE V., P., FLOODY A., T. y GAJARDO M., M. 1970. Exploración de deficiencias nutritivas con suelos en macetas. I. Experiencia preliminar. Agricultura Técnica (Chile). 30 (4): 173-187.
- SNEDECOR, GEORGE W. and COCHRAN, WILLIAM G. 1967. Statistical methods. Ames, Iowa State University Press. 593 p.
- SOCIEDAD AGRONÓMICA DE CHILE. 1964. Mesa redonda de suelos volcánicos. Publicación especial Nº 1. Valdivia, Chile. 144 p.
- THUN, R., HERMANN, R. und NICKMANN, E. 1955. Die Untersuchung von boden. Dritte anlage. Berlin, Neumann Verlag. pp. 49-50.
- VALDÉS F., ALBERTO. 1969. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica. pp. A. 1. 1.-A. 1. 14.
- VOLKE H., VÍCTOR. 1968. Efectos del nitrógeno y del fósforo sobre el rendimiento y contenido de ambos nutrientes en trigo Cappelle Desprez. Agricultura Técnica (Chile). 28 (4): 162-168.