

FERTILIZACION NITROGENO-FOSFATADA DE TRIGO POR EL "METODO DE LAS VARIANTES SISTEMATICAS". CRECIMIENTO DE LA PARTE AEREA, CONTENIDOS DE NITROGENO Y FOSFORO, Y RENDIMIENTO DE GRANO

H. D. Ginzo (1), Nadezca Alcócer (1), R. E. Hartschuh (2) y R. E. Klein (2 y 3)

Recibido: 2/10/82

Aceptado: 20/4/83

RESUMEN

En un ensayo de campo, los cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) "Klein Chamaco", "Buck Pangaré", "Leones INTA" y "Marcos Juárez INTA" se abonaron con 94 kg (N + P)/ha, acorde con las siguientes proporciones (kg/ha): (a) 76,1 N + 17,9 P; (b) 17,9 N + 76,1 P; (c) sin (N + P), 49,1 Ca; y (d) sin (N + P + Ca). Se midió el crecimiento de la parte aérea, el rendimiento de grano y sus componentes, y las concentraciones de N y P en la parte aérea.

La respuesta del crecimiento aéreo al N y P se manifestó a lo largo de todo el ciclo de crecimiento. El efecto de la proporción de N y P lo hizo en las primeras 10,7 semanas. El rendimiento de grano (12% humedad) promedio del ensayo fue 6.140 kg/ha; los rendimientos mayores se debieron al abono con N y P.

La proporción "óptima" de N y P para el rendimiento de grano de "Klein Chamaco" fue: 38% N + 62% P; para los otros cultivares, 50% N + 50% P. El rendimiento de grano dependió, fundamentalmente, del n° de espigas/m². El n° de granos/espiga fue una característica varietal, y no fue influido por la fertilización química. El peso de mil granos dependió tanto de los tratamientos de fertilización como de los cultivares.

Se concluyó que el método empleado es útil como complementario del (clásico) factorial.

SUMMARY

NITROGEN AND PHOSPHOROUS FERTILIZATION OF WHEAT ACCORDING TO THE "METHOD OF SYSTEMATIC VARIATIONS". GROWTH, N AND P CONTENTS, AND GRAIN YIELD

In a field experiment, the wheat (*Triticum aestivum* L.) cvs. "Klein Chamaco", "Buck Pangaré", "Leones INTA", and "Marcos Juárez INTA" were fertilized with 94 kg (N + P)/ha. This amount was composed of (kg/ha): (a) 76,1 N + 17,9 P; (b) 17,9 N + 76,1 P; (c) no (N + P), 49,1 Ca; (d) no (N + P + Ca).

Aboveground growth, grain yield and its components, and the N and P concentrations in the aboveground parts were recorded.

Aboveground growth was stimulated by N and P throughout the crop growth. The effect of the proportion of N and P was significant during the first 10,7 weeks only. Average grain yield (12% moisture) was 6.140 kg/ha; greater yields were due to N - P fertilization. The "optimal" proportion for grain yield was 38% N + 62% P in "Klein Chamaco", and 50% N + 50% P for the other cultivars. Grain yield was mainly determined by n° spikes/m². The number of kernels/spike was not affected by fertilization; it was a varietal characteristic. Kernel weight depended on variety and fertilization.

It was concluded that the method tested is useful as a complement of the (classical) factorial method.

-
- (1) Investigador Independiente y Técnico Profesional Adjunto, respectivamente, del CONICET. Centro de Ecofisiología Vegetal (FECIC-CONICET-Fund. M. LILLO). Serrano 655, (1414) Buenos Aires, Argentina.
 - (2) Cátedra de Cerealicultura. Facultad de Agronomía (UBA). Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.
 - (3) Dirección Actual: Criadero "Klein" S.A. Plá, Pcia. de Buenos Aires. Argentina.

INTRODUCCION

En la región ecológica triguera de la Argentina se han realizado varios ensayos experimentales de fertilización nitrógeno-fosfatada de trigo (Rondini y Doval, 1966; Senigagliaesi *et al.*, 1979; Senigagliaesi y Blotta, 1979; Zaffanella, 1975). Uno de los ensayos más recientes -y por su extensión más interesante aunque restringido a la fertilización nitrogenada- es el que realizaron Barberis *et al.*, 1980. Sin embargo, los autores presentes no han encontrado ninguna información publicada sobre la relación entre la fertilización nitrógeno-fosfatada y el crecimiento y nutrición N-P de cultivares de trigo argentinos. Este hecho fue una motivación suficiente para realizar el ensayo que se describe.

También a diferencia de los ensayos de fertilización nitrógeno-fosfatada de trigo realizados en el país, se optó por medir la "proporción óptima" de nitrógeno y fósforo para el rendimiento de grano por medio del "método de las variantes sistemáticas" (Homès, 1961; Homès y van Schoor, 1966), en lugar del clásico método factorial. La razón de esa elección se basó en que el método de las variantes sistemáticas -que si bien posee limitaciones interpretativas (Prévot y Ollagnier, 1961), ellas no se consideraron severas en el caso presente de la nutrición N-P- tiene la ventaja de que se necesita un número de tratamientos experimentales comparativamente pequeño respecto del método factorial, lo que se traduce en una notable economía de medios y esfuerzo.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo experimental se llevó a cabo en un establecimiento agrícola distante 19 km de la ciudad de 9 de Julio, provincia de Buenos Aires. El sitio fue elegido sobre la base de ensayos de fertilización anteriores (INTA, 1981) que indicaban respuestas notables de rendimiento de grano de trigo a la fertilización nitrógeno-fosfatada. El terreno poseía

un micro relieve perceptible a simple vista -que luego se manifestó por significancias estadísticas entre los promedios de los bloques- y, en consecuencia, el ensayo experimental se orientó de modo tal de disminuir la incidencia de aquel.

El régimen de precipitaciones pluviales correspondientes al período de cultivo está expuesto en el Cuadro 1. Hubo un período inicial de sequía durante la siembra del ensayo, que se fue atenuando desde septiembre en adelante.

CUADRO 1: Totales mensuales de lluvia caída en el campo experimental.

Mes	Precipitación (mm)
Julio	86
Agosto	8
Septiembre	22
Octubre	84
Noviembre	71
Diciembre	95

El suelo se caracterizó como Hapludol típico (C.A. Senigagliaesi, com. pers.). Algunas de sus características físico-químicas figuran en el Cuadro 2.

CUADRO 2: Características físico-químicas del suelo del ensayo experimental *.

pH _{H₂O} (1: 2,5)	5,97
pH _{CaCl₂} 1N (1: 2,5)	4,97
C.E. extr. sat. (mmhos/cm; 25°C)	0,20
C _{total} (%)	1,73
N _{total} (%)	0,185
P _{Kurtz y Bray I} (ppm)	9,97
P _{min} (ppm)	232,4
Ca _{extr.} (meq/100 g)	12,89

* Promedios de 60 muestras tomadas a 0,2 m de profundidad.

Dieciséis tratamientos experimentales, resultantes de la combinación de cuatro tratamientos de fertilización y cuatro cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) se ordenaron acorde con un diseño de parcelas divididas y aleatorizadas.

Se emplearon los cultivares de trigo "Klein Chamaco" (KC), "Buck Pangaré" (BP), "Leones INTA" (LI) y "Marcos Juárez INTA" (MJ).

Los tratamientos de fertilización se aplicaron con máquina, al voleo, y antes de la siembra. Ellos están definidos en el Cuadro 3. Se utilizó nitrato de amonio comercial (35% N) y superfosfato triple (20,1% P, 13% Ca). Puesto que las proporciones de los nutrientes que no intervenían en la interacción en estudio debían permanecer invariables (Homès, 1961), se agregó calcio (cloruro de calcio comercial, 25,5% Ca) para compensar aquel incorporado con la dosis máxima de superfosfato triple. El tratamiento "Ca" fue, entonces, el testigo empleado para calcular la dosis óptima de N y P. En realidad se debería haber usado óxido de calcio pero su empleo es más dificultoso que el del cloruro.

CUADRO 3: Composición de los tratamientos de fertilización.

Tratamiento de fertilización	Cantidades de nutrientes			
	N	P	Ca	N + P
	kg/ha			
N _P (81 % N, 19 % P)	76,1	17,9	49,1	94,0
nP (19 % N, 81 % P)	17,9	76,1	49,1	94,0
Ca	-	-	49,1	-
T	-	-	-	-

El tratamiento "T" se incluyó con el fin de medir el efecto del calcio "per se".

Se definieron los efectos experimentales siguientes: (a) efecto de la proporción de N y P, N: P, como (N_p-nP); (b) efecto de la fertilización N-P; como 0,5 (N_p + nP - Ca - T); y (c) efecto del calcio, Ca, como (Ca - T).

Los tratamientos de fertilización y los cultivares se distribuyeron en cuatro bloques. Cada bloque, a su vez, estaba compuesto de cuatro parcelas apareadas (tratamientos de fertilización), y cada una de estas lo estaba por cuatro subparcelas (cultivares) de 20 m x 3,6 m (72 m²).

El sitio experimental había sido sembrado con maíz el año anterior. En el momento de la siembra contaba con 90 días de barbecho. Se sembraron granos de raza con una sembradora "Hilcor", a 0,15 m entre hileras, el 8 de agosto de 1980. La densidad de siembra fue de 280 plantas/m². No fue necesario aplicar plaguicidas ni herbicidas durante el desarrollo del cultivo.

La parte aérea de las plantas se muestreó a las 6 (19/9/80); 7,7 (1/10); 9,1 (11/10); 10,7 (22/10); 12,3 (2/11); y 15,3 (23/11) semanas de la siembra. En cada una de esas oportunidades se eligieron 0,5 m lineales de una hilera y de modo tal que tanto el segmento elegido, como las dos hileras vecinas adyacentes a aquel, no mostraron pérdida de plantas. Esto es, se muestreó un área óptima desde el punto de vista de la densidad de plantas y estructura de la parte aérea del cultivo. Obviamente, fue un área muy pequeña con respecto a la superficie total de cada subparcela. Para la elección del segmento a muestrear se tuvieron en cuenta borduras de tres hileras y 1 m en cada extremo de la hilera elegida.

La parte aérea se cortó a ras del suelo y se embolsó en polietileno. Se secó a 75°C durante 72 horas como mínimo. Para el análisis químico se formaron dos muestras a partir de las cuatro tomadas en el campo.

El contenido de N total se obtuvo por colorimetría de amonio, previa digestión micro-Kjeldahl (Müller, 1964). El contenido de P se midió por colorimetría de un complejo vanado-molibdico, luego de una digestión perclórico-nítrica (Duque Macías, 1971).

A los 128 días de la siembra (14/12) se cosecharon y contaron manualmente todas las cañas contenidas en cada segmento muestreado. Así se obtuvo la densidad de espigas por metro cuadrado, DENESP. Sobre la base

de una submuestra de 10 espigas se calcularon: el rendimiento de grano (12% de humedad) por metro cuadrado, REND; el número de granos por espiga, GRAN; y el peso de mil granos, PMG.

El porcentaje de proteína en los granos se estimó: $5,7 \times \%N$. El $\%N$ se midió acorde con Müller (1964).

Las proporciones óptimas de N y P para el rendimiento de grano se calcularon según Homès y van Schoor (1966).

La significancia de las diferencias entre promedios de los cultivares se estimó por el test "S" de Scheffé (1959).

RESULTADOS

Peso seco aéreo

El agregado de las dos proporciones de nitrógeno y fósforo se tradujo en la estimulación del crecimiento aéreo de los cuatro cultivares a partir de la sexta semana posterior a la siembra (Cuadro 4). Si bien el crecimiento de las plantas que habían recibido la mayor proporción de P (nP) aventajó al de las que habían sido abonadas con la mayor proporción de N (Np) durante las primeras 11 semanas, esas diferencias desaparecieron poste-

CUADRO 4: Peso seco total aéreo del trigo acorde con los tratamientos de fertilización.

Fecha de muestreo (a)	g/m ²					
	Np	nP	Ca	T	media	e. e. (b)
6	34,6 (c) <i>3,436</i>	45,2 <i>3,686</i>	22,1 <i>3,035</i>	23,6 <i>3,092</i>	31,4 <i>3,312</i>	0,1046
7,7	58,3 <i>3,991</i>	93,4 <i>4,445</i>	54,8 <i>3,922</i>	47,3 <i>3,745</i>	63,4 <i>4,026</i>	0,1683
9,1	157,7 <i>4,952</i>	240,7 <i>5,145</i>	112,4 <i>4,644</i>	118,1 <i>4,659</i>	157,2 <i>4,926</i>	0,1702
10,7	335,7 <i>5,79</i>	494,2 <i>6,185</i>	273,8 <i>5,577</i>	266,6 <i>5,541</i>	342,6 <i>5,773</i>	0,0606
12,3	759,6 <i>6,611</i>	911,1 <i>6,786</i>	629,7 <i>6,417</i>	596,6 <i>6,364</i>	724,3 <i>6,544</i>	0,0807
15,3	1236,4 <i>7,108</i>	1361,4 <i>7,203</i>	1052,2 <i>6,894</i>	1083,8 <i>6,959</i>	1183,5 <i>7,041</i>	0,0583
Efectos experimentales (d)						
	N:P	N-P	Ca			
6	+++	+++	ns			
7,7	++	++	ns			
9,1	++	+++	ns			
10,7	+++	+++	ns			
12,3	ns	+++	ns			
15,3	ns	+++	ns			

(a) Semanas desde la siembra. (b) Error estándar de la diferencia entre dos promedios transformados. (c) Promedio de los cultivares. Promedio de los datos transformados en logaritmos, en *italicas*. (d) ver "Materiales y Métodos".

ns: no significativo. +: P= 0,05. ++: P= 0,025. +++: P= 0,01.

riormente. A las 11 semanas, los cultivares se encontraban prontos a la espigazón. El agregado de calcio "per se" no se tradujo en un crecimiento aéreo diferenciado del de los testigos, en ninguna oportunidad.

Se observaron diferencias varietales en el crecimiento únicamente a las 6 semanas a partir de la siembra (Cuadro 5). Esas diferencias fueron independientes de los tratamientos de fertilización, y fueron máximas (61%) entre los cultivares KC y BP, y LI.

Cantidades totales de N y P en las plantas

Nitrógeno: La cantidad total de N recuperada de la parte aérea fue independiente de los cultivares en todos los muestreos realizados entre las 6 y 15,3 semanas posteriores a la siembra. Fue modificada por N + P recién a partir de la 9,1 semanas más no por el agregado de Ca (Cuadro 6). En esa oportunidad la fertilización con N + P, y dentro de esta la mayor proporción de P, incrementaron el contenido de N total. Estos efectos se destacaron a las 10,7 semanas; pero en los muestreos siguientes solamente perduró el efecto estimulante de la fertilización N + P.

Fósforo: La cantidad de P total en la parte aérea fue incrementada por la fertilización N + P. Ello se detectó a las 6 semanas de la siembra, y perduró hasta las 15,3 semanas (Cuadro 6). La cantidad total de P no fue modificada por el agregado de Ca en el

mismo período. Durante las 12,3 semanas siguientes a la siembra, la mayor proporción de P en el fertilizante resultó invariablemente en un mayor contenido de P en la parte aérea; sobre todo con respecto a las plantas testigo y aquellas fertilizadas con Np. El contenido de P de estas fue mayor que el de las testigo, a partir de las 9,1 semanas. A las 15,3 semanas, el contenido total de P en las plantas en Np fue similar al de las plantas abonadas con nP.

Rendimiento de grano, REND

Los valores de REND de los cultivares no difieron entre sí en las parcelas testigo ni en las abonadas con N + P (Cuadro 7). En las parcelas nP y Ca, sin embargo, $REND_{KC} > REND_{BP}$ en 50% y 63%, respectivamente.

Entre esos extremos se ubicaron los REND de los otros cultivares. La relación apuntada se manifestó también en términos de promedios de todos los tratamientos de fertilización. De estos, el REND promedio de Np y nP fue 44% mayor que el promedio de T y Ca.

Los REND obtenidos con cosechadora después de finalizado el muestreo manual fueron sustancialmente menores, debido a que aquel fue muy cuidadoso y, si bien no fueron estadísticamente analizables por consistir de una sola observación por tratamiento, se comportaron semejantemente a aquellos obtenidos manualmente (Cuadro 7).

CUADRO 5: Peso seco aéreo de los cultivares de la sexta semana de la siembra.

Cultivar (g/m ²)					
KC	BP	LI	MJ	media	E.E. (2)
36,13 (1)	37,23	22,84	29,27	31,37	
<i>3,4596 (a)</i>	<i>3,4886 (a)</i>	<i>3,0383 (b)</i>	<i>3,2628 (a, b)</i>	<i>3,3123</i>	<i>0,1434</i>

Los promedios con una letra en común no difieren significativamente entre sí para $P = 0,05$.

(1) Promedio de todos los tratamientos de fertilización.

Promedio de la transformación logarítmica en *italicas*.

(2) Error estándar de la comparación entre dos promedios de la transformación.

CUADRO 6: Cantidades de N total y P en la parte aérea de las plantas acordes con los tratamientos de fertilización.

Fecha (a)	N total						P total					
	Np	nP	Ca	T	media	e.e. (b)	Np	nP	Ca	T	media	e.e. (b)
	g/m ²											
6	0,98 (c)	1,22	0,69	0,78	0,92	0,787	0,09 (c)	0,19	0,07	0,07	0,10	0,007
7,7	2,41	4,10	2,35	2,29	2,79	0,59	0,22	0,44	0,18	0,15	0,24	0,050
9,1	6,7	8,4	3,9	4,2	5,8	0,49	0,61	1,40	0,36	0,39	0,69	0,20
10,7	12,0	15,2	8,8	8,3	11,1	0,46	0,99	2,33	0,69	0,72	1,18	0,07
12,3	16,2	16,6	12,0	11,0	14,0	0,86	1,52	3,00	1,18	1,15	1,71	0,08
15,3	18,2	17,7	13,7	13,1	15,7	0,71	2,32	3,42	1,86	2,00	2,40	0,39

Efectos experimentales (d)

	N:P	NP	Ca	N:P	NP	Ca
6	ns	ns	ns	+++	+++	ns
7,7	ns	ns	ns	++	++	ns
9,1	+	+++	ns	++	++	ns
10,7	+++	+++	ns	+++	+++	ns
12,3	ns	+++	ns	+++	+++	ns
15,3	ns	+++	ns	ns	+	ns

(a) Semanas desde la siembra;

(b) Error estándar de la diferencia entre dos medias;

(c) Promedio de los cultivares;

(d) Ver "Materiales y Métodos".

ns: No significativo. +: P = 0,05. ++: P = 0,025. +++: P = 0,01.

CUADRO 7: Rendimientos de grano REND, obtenidos a mano y con una cosechadora.

a mano					
	KC	BP	LI	MJ	media
	kg/ha				
Np	6.572 A	6.837 A	6.052 A	8.326 A	6.947
nP	9.306 A	6.013 B	6.892 AB	8.252 AB	7.548
Ca	6.800 A	4.169 B	4.929 AB	6.148 AB	5.512
T	4.948 A	4.807 A	4.857 A	3.666 A	4.569
media	6.839	5.456	5.682	6.598	

e.e. cultivares (1) = 853,0; e.e. tratamientos (1) = 426,5

con cosechadora (a)					
	KC	BP	LI	MJ	media
Np	4.202	4.635	4.250	4.458	4.386
nP	5.343	5.137	4.864	4.930	5.068
Ca	3.374	3.768	3.331	3.477	3.487
T	3.681	3.758	3.660	3.365	3.616
media	4.150	4.324	3.989	4.058	

(a) Observaciones únicas.

(1) Error estándar de la diferencia entre dos medias. Para cada hilera de los datos obtenidos a mano, las medias que poseen una letra en común no difieren significativamente para una probabilidad P = 0,05.

CUADRO 8: Densidad de espigas, número de granos por espiga y peso de mil granos en oportunidad de la cosecha.

	Densidad de espigas (m ⁻²)					
	KC	BP	LI	MJ	md ⁺	ee (a)
Np	565 A	656 A	554 A	696 A	618	54,0
nP	790 A	543 B	503 B	733 A	642	
Ca	413 A	417 A	447 A	566 A	461	
T	457 A	490 A	450 A	387 A	446	
md ⁺	556	527	488	596		
ee	53,5 (b)					

	granos/espiga					
	KC	BP	LI	MJ	md ⁺	ee (a)
Np	26,8	22,5	24,2	25,0	24,6	1,98
nP	26,8	23,2	29,0	22,2	25,3	
Ca	28,8	23,5	26,5	19,0	24,4	
T	31,8	26,2	30,8	20,0	27,2	
md ⁺	28,5 D	23,9 EF	27,6 DE	21,6 F		
ee	0,92 (c)					

	peso de mil granos (g)					
	KC	BP	LI	MJ	md ⁺	ee (a)
Np	35,3 I	37,5 HI	38,9 H	43,2 G	38,7	1,09
nP	35,4 H	41,4 G	35,1 H	44,3 G	39,0	
Ca	34,2 I	39,2 H	32,5 I	43,9 G	37,4	
T	37,0 H	35,5 HI	33,1 I	41,6 G	36,8	
md ⁺	35,5	38,4	34,9	43,3		

En cada componente del rendimiento, las medias de una hilera cualquiera que poseen una letra en común no difieren significativamente para una probabilidad P = 0,05.

+: media;

(a) Error estándar de la diferencia entre dos medias de cultivares para un mismo tratamiento de fertilización.

(b) Error estándar de la diferencia entre dos medias de tratamientos de fertilización.

(c) Error estándar de la diferencia entre dos medias de cultivares.

Componentes del rendimiento de grano

DENESP

Los valores de DENESP fueron similares para los cuatro cultivares en las parcelas testigo (T y Ca) y en aquellas fertilizadas con la mayor proporción de nitrógeno (Np), (Cuadro 8). En las parcelas fertilizadas con la

menor proporción de nitrógeno (nP), sin embargo, los valores de DENESP de los cultivadores KC y MJ fueron mayores que los BP y LI. Los tratamientos de fertilización con N + P produjeron un incremento promedio de DENESP de alrededor de 39% con respecto al promedio de los tratamientos testigo.

Tanto entre estos como entre las combinaciones de N y P, no se observaron diferencias significativas en DENESP.

GRAN

El valor de GRAN no fue alterado por los tratamientos de fertilización; aparentemente fue una propiedad de los cultivares.

GRAN fue máximo en KC y mínimo en MJ, y difirieron entre sí en 32%; entre estos extremos se encontraron los GRAN de los cultivares restantes (Cuadro 8).

PMG

El PMG fue un carácter varietal modificado por los tratamientos de fertilización.

En las parcelas testigo absoluto (T), el PMG de MJ fue mayor que el de KC y este, a su vez, mayor que el de LI; el PMG de BP se ubicó entre los últimos dos (Cuadro 8). En los tratamientos de fertilización restantes se observó que el PMG de MJ fue siempre ma-

CUADRO 9: Contenido de proteína (14 por ciento de humedad) de los granos acorde con el tratamiento de fertilización.

Np	nP	Ca	T	media	e. e. (a)
14,2 (b)	12,9	13,2	13,3	13,4	0,04

(a) Error estándar de la diferencia entre dos medias.

(b) Promedio de los cultivares.

yor que el de KC mientras que el PMG de BP fue similar o menor que el de MJ, y el PMG de LI fue similar o mayor que el de KC, mas nunca igual al de MJ.

Los valores promedio de los cultivares se ordenaron, de acuerdo con sus valores de PMG, MJ > BP > (KC = LI). Los tratamientos de fertilización con N + P incrementaron 5% el PMG promedio con respecto a los testigos.

CUADRO 10: Concentraciones de N total y P en la parte aérea de las plantas acordes con los tratamientos de fertilización.

Fecha (a)	N total						P total					
	Np	nP	Ca	T	media	e.e. (b)	Np	nP	Ca	T	media	e.e. (b)
%												
6	2,81 (c)	2,74	3,08	3,21	2,96	0,507	0,28 (c)	0,44	0,28 (c)	0,29	0,32	0,015
7,7	4,24	4,45	4,36	4,85	4,47	0,332	0,38	0,48	0,32	0,31	0,37	0,013
9,1	4,26	3,61	3,47	3,54	4,01	0,263	0,39	0,58	0,32	0,32	0,40	0,027
10,7	3,63	3,11	3,24	3,17	3,29	0,086	0,30	0,48	0,25	0,27	0,32	0,025
12,3	2,21	1,90	1,93	1,87	1,98	0,136	0,21	0,34	0,19	0,20	0,23	0,018
15,3	1,56	1,37	1,37	1,27	1,39	0,062	0,20	0,27	0,18	0,19	0,21	0,023
Efectos experimentales (d)												
	N:P	N-P	Ca		N:P	N-P	Ca		N:P	N-P	Ca	
6	ns	ns	ns		+++	+++	ns		+++	+++	ns	
7,7	ns	ns	ns		++	+++	ns		+++	+++	ns	
9,1	ns	ns	ns		+++	+++	ns		+++	+++	ns	
10,7	+++	ns	ns		+++	+++	ns		+++	+++	ns	
12,3	ns	ns	ns		+++	+++	ns		+++	+++	ns	
15,3	ns	+	ns		ns	ns	ns		ns	ns	ns	

(a) Semanas desde la siembra;

(b) Error estándar de la diferencia entre dos medias;

(c) Promedio de los cultivares;

(d) Ver "Materiales y Métodos".

ns: No significativo. +: P = 0,05. ++: P = 0,025. +++: P = 0,01.

Proporciones óptimas de N y P para REND

El único cultivar que presentó diferencias significativas de REND entre las combinaciones Np y nP fue KC, por lo que se calculó la proporción óptima de N + P: 38,4% N, 62,1% P (Figura 1). Para las 94 unidades de fertilizante empleadas, las cantidades de N y P fueron 36,1 y 58,4 kg/ha, respectivamente.

Los otros cultivares no presentaron diferencias significativas de REND entre esos tratamientos; en consecuencia las proporciones de N y P fueron 1:1.

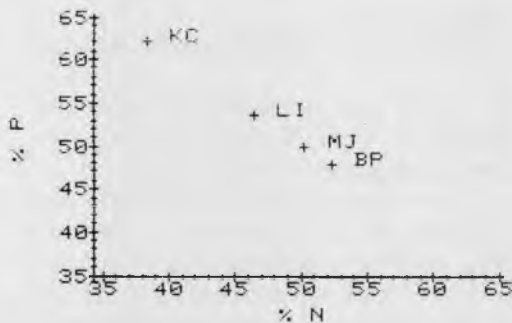


Figura 1: Proporciones óptimas de N y P en el fertilizante para el rendimiento de grano de los cultivares de trigo. Ver "Materiales y Métodos" por la clave de los cultivares.

DISCUSION

Salvo la diferencia inicial (63%) de peso seco aéreo entre los cultivares (Cuadro 5) debida, muy probablemente, a distintos ritmos de germinación y/o vigor de las plantas, la magnitud del crecimiento aéreo fue muy semejante para todos ellos en el transcurso de las 15 semanas siguientes a la siembra, y estuvo determinada por el abonado nitrógeno-fosfatado (Cuadro 4). El otro hecho destacable fue que el efecto Ca no se manifestó en el crecimiento de la parte aérea ni el rendimiento de grano como así tampoco los contenidos de N y P en ambos (Cuadros 4 y 7).

Puesto que las cantidades de nitrógeno y fósforo utilizadas en los tratamientos de fertilización no fueron factoriales, fue imposible valorar fehacientemente los efectos puros de cada uno de esos nutrientes ni aquellos consecuentes de su muy probable interacción. Sin embargo, las variables de crecimiento y nutricionales medidas permitieron detectar efectos sustantivos del nitrógeno y fósforo sobre el crecimiento y rendimiento de grano. En otras palabras, el suelo era falto de esos nutrientes.

La escasez de P asimilable resultó evidente de la comparación de la concentración de esa forma del fósforo antes de la siembra, con los niveles indicados por Barreira (1978); y Berardo *et al.* (1980) para diversos suelos de la Provincia de Buenos Aires.

Por el otro lado, si se consideran las dinámicas del peso seco aéreo y de las cantidades y concentración de P en la parte aérea de las plantas de trigo fertilizadas con la mayor proporción de fósforo (nP), se corrobora la deficiencia de P apuntada puesto que las magnitudes de esas variables fueron mucho mayores que las correspondientes de las plantas testigo -Ca y T- y de las de aquellas abonadas con nP durante la mayor parte del ciclo de crecimiento (Cuadro 4, 6 y 10). La dosis de 76 kg P/ha, sin embargo, fue muy elevada y creó una situación de "consumo de lujo" que fue aparente a las 12,3 semanas. Esta afirmación se basa en el hecho de que en esa oportunidad el efecto N:P no se manifestó en el peso seco total aéreo (Cuadro 4) sino, e intensamente, en la cantidad y concentración de P en la parte aérea (Cuadros 6 y 10).

La deficiencias de nitrógeno en el suelo no fue, aparentemente, muy severa. Esta afirmación se sustenta en que: (a) el tenor de nitrógeno orgánico (Cuadro 2) fue medianamente rico, acorde con lo indicado por Zaffanella (1975); (b) los rendimientos de grano de las plantas testigo -medidos manual o mecánicamente (Cuadro 7)- fueron comparativamente elevados para lo que hubiera sido de esperar en la zona (INTA, 1980); y (c) de ser extrapolables las observaciones de

Goss *et al.* (1982), el contenido de proteína de los granos de las plantas testigo correspondería a niveles de nitrógeno en el suelo suficientes para obtener un rendimiento de grano aceptable (Cuadro 9).

Incidentalmente, estos argumentos restan importancia al efecto que podrían haber tenido los 18 kg N/ha de nP.

La deficiencia de nitrógeno en el suelo se puso en evidencia, si bien tardíamente, en el momento de la espigazón; se manifestó en las plantas de trigo fertilizadas con 76 kg N/ha (Np). De otro modo no se explicaría el notable incremento de su peso seco aéreo entre las 10,7 y 12,3 semanas (Cuadro 4), que tuvo como antecedente inmediato incrementos destacados en la cantidad (Cuadro 6) y concentración (Cuadro 10) de N en la parte aérea, a las 10,7 semanas. Tales cambios pueden ser atribuidos al hecho de que las lluvias caídas en octubre y noviembre (Cuadro 1) -155 mm en total- habrían lixiviado gran parte del nitrógeno agregado antes de la siembra. Así, las raíces de las plantas en Np se habrían encontrado posteriormente con una cantidad elevada de nitrógeno en los horizontes profundos del suelo, cantidad esa que no habría sido accesible anteriormente. Esta interpretación explicaría el valor intermedio del peso seco de las plantas en Np a la 6a semana de la siembra (Cuadro 4). Aunque no es de descartar que en esa oportunidad los 18 kg P/ha de Np pudieran haber estimulado el crecimiento, esta es una posibilidad remota puesto que tanto la cantidad como la concentración de P en la parte aérea (Cuadros 6 y 10) no difirieron respecto de aquellas de las plantas testigo.

Las similitudes tanto de los pesos secos aéreos a partir de las 12,3 semanas como la de los rendimientos de grano de las plantas abonadas con Np y nP podrían interpretarse presuponiendo que las plantas abonadas con la mayor proporción de N (o P) obtuvieron las cantidades necesarias del otro nutriente, gracias a un extenso volumen radical debido al "crecimiento compensatorio" (ver Scott-Russell, 1977) de las raíces consecuente del nutriente agregado en mayor proporción.

A diferencia de lo observado con el crecimiento de la parte aérea de las plantas, el rendimiento de grano fue modificado también por un componente varietal que se manifestó, particularmente, en las plantas abonadas con nP (Cuadro 7). Antes de proseguir, sin embargo, merece destacarse que los elevados rendimientos de grano obtenidos en este ensayo se debieron a la técnica particular de muestreo que se empleó (ver "Materiales y Métodos"). En este sentido se los puede considerar "ideales". Es por ello que difirieron notablemente de los rendimientos de grano obtenidos con una cosechadora (Cuadro 7).

Acorde con Yoshida (1972), el rendimiento de grano se puede expresar:

$$\text{REND (g/m}^2\text{)} = \text{DENESP (m}^{-2}\text{)} \times \text{GRAN} \times 0,001 \text{ PMG (g)}$$

De los tres componentes de REND, la variación de DENESP (Cuadro 8) fue semejante a la variación de REND (Cuadro 7).

Como la variación de GRAN fue independiente de los tratamientos de fertilización, y PMG fue definido interactivamente de un modo distinto de lo que fue DENESP, no fue posible obtener una imagen conjunta del modo en que los componentes del rendimiento determinaron la producción de grano debido al número insuficiente de observaciones para un análisis de correlación múltiple. Lo único que se puede indicar, a partir de los datos obtenidos, es que la importancia relativa de los componentes del rendimiento, estimada por sus coeficientes de variabilidad individuales, fue:

$$\text{DENESP} > \text{GRAN} > \text{PMG}$$

Claramente, no se puede inferir nada del modo en que esos componentes estuvieron relacionados entre sí y con REND. Pero como referencia de lo que hubiera ocurrido en las plantas testigo, al menos, de haberse dispuesto de un mayor número de observaciones, sirven como ejemplo los datos de Sidwell *et al.* (1976). Estos autores obtuvieron correlaciones simples (significativas) en-

tre el rendimiento de grano y la densidad de espigas ($r = 0,68$), el número de granos/espiga ($r = 0,18$) y el peso de mil granos ($r = 0,28$), en dos cultivares de trigo y su F_2 , sobre la base de numerosas observaciones.

La fertilización nitrógeno-fosfatada, acorde con el método de las variantes sistemáticas, puso en evidencia un requerimiento de P para el rendimiento de grano muy definido por parte del cultivar "Klein Chamaco" (figura 1). Esto tiene importancia agronómica puesto que una gran extensión de la zona triguera argentina posee suelos deficientes en fósforo (Darwich, 1980), y por lo tanto el cultivar "Klein Chamaco" sería el más indicado para lograr el uso eficiente del fósforo agregado como fertilizante. Valdría la pena averiguar el porqué de esa singularidad de "Klein Chamaco", lo que no surge de los datos obtenidos en el presente ensayo.

Con respecto al método de las variantes sistemáticas los autores presentes, desafortunadamente, no han hallado en el país, o el exterior, ensayos de fertilización nitrógeno-fosfatada realizados mediante dicho método, o en los que al menos se pudiera calcular proporciones óptimas, y así obtener algún punto de referencia para los datos presentados aquí. Sin duda, el método de las variantes sistemáticas ha tenido poco predicamento en la investigación agronómica. Queda la duda de si ello se ha debido a que el método es desconocido, o sus fundamentos puestos en duda. Prévot y Ollagnier (1961) hicieron algunas críticas aduciendo que el mismo está afectado por:

- a) La posibilidad de interacciones entre los nutrientes estudiados.
- b) La diferencia de curvas de respuesta de los nutrientes.
- c) No permitir la valoración de la eficiencia del agregado de un nutriente.

La severidad de esas críticas es tanto mayor cuanto mayor es la pretensión de emplear ese método como una panacea para definir la dieta mineral de un vegetal. Esto estuvo muy alejado del ánimo de los presentes

autores, a cuyo juicio el método de Homès es complementario del factorial. Dado que este último requiere mayores superficies, materiales y esfuerzo que el primero, parece atinado sugerir la evaluación de la proporción óptima de los nutrientes que sean de interés por medio del método de Homès, como paso previo a un ensayo factorial en el que esa proporción sea el punto de referencia generatriz de las cantidades de cada uno de los nutrientes necesarias para definir una superficie de respuesta a la fertilización.

Además, el estudio combinado del crecimiento y las relaciones nutritivas consecuentes de la oferta de nutrientes combinados en variantes sistemáticas permitiría inferir cuál de ellos es el deficiente y, a partir de allí programar la amplitud de la dosis de cada uno en un ensayo factorial. Obviamente esta posibilidad representa, también, una economía experimental nada despreciable comparativamente con el método factorial clásico.

CONCLUSIONES

Las principales son:

- a) El estudio conjunto del crecimiento aéreo, la nutrición nitrógeno-fosforada y el rendimiento de grano de trigo fertilizado con mezclas de nitrógeno y fósforo combinadas acorde con el método de las variantes sistemáticas, puede ilustrar mucho y sencillamente acerca de la plenitud de esos nutrientes en el suelo. Claramente, el grado de certeza que se obtuviere dependería de la escasez relativa de cada uno de aquellos.
- b) La presunción de la existencia de diferencias varietales en la respuesta de los trigos argentinos a la fertilización nitrógeno-fosfatada ameritaría un estudio más amplio de los cultivares actuales con el propósito de racionalizar su fertilización.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo está basado sobre el Trabajo de Intensificación que R. E. H. y R. E. K. realizaron conjuntamente para obtener sus diplomas de Ingenieros Agrónomos en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires.

Se agradece la colaboración prestada por el Ing. Agr. C. A. Senigagliese de la E. E. R. A. "Pergamino INTA", el personal de la Agencia de Extensión "9 de Julio INTA", y la firma "Hilcor", la que facilitó el campo experimental y sus instalaciones.

Los granos de los cultivares "Leones INTA" y "Marcos Juárez INTA" fueron provistos por la E. E. R. A. "Pergamino INTA"; aquellos de los cultivares "Buck Pangaré" y "Klein Chamaco" fueron suministrados por los criaderos José Buck S. A. y Klein S. A., respectivamente. A todos ellos los autores agradecen sinceramente.

Finalmente, los autores desean expresar que el presente ensayo llegó a buen fin gracias a las colaboraciones activas y responsables del Sr. Aníbal Pérez, Srta. Lucía Jordá y Sra. Aurora Fueyo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Barberis, L. A., Conti, M., del Campo, H., Nervi, A. y Daniel, P., 1980. Respuestas del trigo a la fertilización nitrogenada en el norte y oeste de la pampa húmeda. (Campañas 1978/79 y 1979/80). Actas de la IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo (Paraná). Tomo II. págs. 537-548.
- 2) Barreira, E., 1978. "Fundamentos de edafología para la agricultura". Hemisferio Sur. Buenos Aires. 154 pág.
- 3) Berardo, A., Navarro, C. A. y Echeverría, H., 1980. Relación del contenido de fósforo disponible en el suelo y de nitratos en planta con la respuesta a la fertilización fosfatada y nitrogenada en trigo. Actas de la IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo (Paraná). Tomo II. págs. 515-521.
- 4) Darwich, N., 1980. Niveles de fósforo asimilable en suelos pampeanos. Actas de la IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo (Paraná). Tomo II. págs. 707-710.
- 5) Duque Macías, F., 1971. Determinación conjunta de fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre y cinc en plantas. *An. Edafol. Agrobiol.* 20: 207-229.
- 6) Goos, R. J., Westfall, D. G., Ludwick, A. E. and Goris, J. E., 1982. Grain protein content as an indicator of N sufficiency for winter wheat. *Agron. J.* 74: 130-133.
- 7) Homès, M. V. L., 1961. "L'alimentation minerale équilibrée des végétaux", Vol. II. Universa. Wetteren. 298 pág.
- 8) Homès, M. V. L. et van Schoor, G. H. J., 1966. "L'alimentation minerale équilibrée des végétaux". Vol. II. Universa. Wetteren. 420 pág.
- 9) INTA, Agencia de Extensión "9 de Julio", 1980. Ensayos de trigo y lino. Datos Campaña 1979/80 (Mimeogr.).
- 10) Müller, L., 1964. Un aparato micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios rápidos de materias vegetales. *Turrialba* 11: 17-25.
- 11) Prévot, P. and Ollagnier, M., 1961. Law of the minimum and balanced mineral nutrition. En: W. Reuther, edit., "Plant Analysis and Fertilizer Problems". American Institute of Biological Sciences Pub. N° 8. Washington, pág. 257-277.
- 12) Rondini, M. A. S. y Doval, H. G. C., 1966. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada sobre el rendimiento del trigo en las diversas subregiones ecológicas trigueras argentinas. *IDIA* 107: 12-18.
- 13) Scheffé, H., 1959. "The analysis of variance". John Wiley & Sons, Inc. Nueva York. 447 pág.
- 14) Scott-Russell, R., 1977. "Plant root systems. Their function and interaction with the soil". McGraw-Hill Book Company (UK) Ltd. Londres. 298 págs.
- 15) Senigagliese, C. y García, R., 1979. Experiencias con fertilización química del cultivo de trigo en el Partido de Nueve de Julio (Buenos Aires). Información N° 12. II Tomo. Carpeta de Producción Vegetal. Trigo. INTA. 3 págs.
- 16) Senigagliese, C., García, R. y Blotta, L., 1979. La fertilización del cultivo del trigo en el área de influencia de la Estación Experimental Regional Agropecuaria "Pergamino". Información N° 18. II Tomo. Carpeta de Producción Vegetal. Trigo. INTA. 5 págs.
- 17) Sidwell, F. H., Smith, E. L. and Mc New, R. W., 1976. Inheritance and interrelationships of grain yield and selected yield-related traits in hard red winter wheat. *Crop Sci.* 16: 650-654.
- 18) Yoshida, S., 1972. Physiological aspects of grain yield. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 23: 437-464.
- 19) Zaffanella, M. J. R., 1975. Posibilidades de fertilizar trigo, maíz y pasturas en la Pampa Húmeda. Tirada Interna. N° 60. Departamento de Suelos. INTA. 78 págs.