

Trigo: Explorando deficiencias nutricionales en la región pampeana

Resultados de los ensayos de fertilización AAPRESID-INPOFOS 1999/00

Informe preparado por Martín Ambrogio, Santiago Lorenzatti, Hernán Bizet, Hernán Don y Walter Tanducci (AAPRESID), Fernando García (INPOFOS Cono Sur) y Hugo Fontanetto (EEA INTA Rafaela)

Los menores precios relativos de los granos resultan en la disminución de los beneficios económicos para el productor. La alternativa es lograr rendimientos máximos económicos que permitan diluir costos fijos y maximizar ganancias. La adecuada nutrición de los cultivos permite optimizar la eficiencia de uso de los recursos e insumos utilizados en la producción. Conocer y solucionar las deficiencias nutricionales de los cultivos permite ajustar las prácticas de manejo, específicamente de fertilización, para alcanzar los rendimientos máximos económicos.

La adopción de la siembra directa como sistema de producción ha permitido alcanzar rendimientos mayores y más estables que los obtenidos bajo labranza convencional a partir de una mejor estructuración del suelo, la mejora en los niveles de materia orgánica y la mayor capacidad de infiltración y retención del agua de lluvia. En un sistema de mayor producción, las necesidades nutricionales de los cultivos son mayores, y pueden presentarse como limitantes nutrientes anteriormente no considerados.

Durante 1999, AAPRESID e INPOFOS establecieron una red de ensayos de fertilización en la región pampeana norte en un proyecto que contó con la colaboración de INTA y el patrocinio de las empresas Agrevo, Agroservicios Pampeanos, Hydro Agri Argentina y PASA. Los objetivos principales de estas experiencias son:

1. Determinar rendimientos máximos sin limitación de nutrientes
2. Evaluar deficiencias y respuestas potenciales de nutrientes en distintas zonas de la región pampeana en trigo, maíz, soja y girasol.

Los tratamientos establecidos pretenden cubrir deficiencias de nutrientes no usados generalmente sobre una base de aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P) no limitante. La evaluación se realizará durante un período de al menos tres años como para obtener conclusiones validas en distintos cultivos y poder evaluar el impacto de los tratamientos, no solo en el rendimiento de los cultivos, sino también en la fertilidad y otras propiedades de los suelos.

Debe destacarse el carácter exploratorio de este proyecto, en el que se trabaja con dosis de nutrientes elevadas, no limitantes para alcanzar máximos rendimientos potenciales. En la continuación de esta experiencia, a partir del conocimiento de los nutrientes deficientes en cada área, deberán estudiarse 1) niveles críticos de respuesta, 2) dosis económicas de respuesta y 3) momento, forma y método de aplicación.

Este reporte presenta los resultados de rendimiento, análisis de suelo y foliar obtenidos en el cultivo de trigo durante la campaña 1999/00. En futuros avances se discutirán con mayor profundidad las relaciones encontradas entre las

variables de sitio y los resultados observados y se presentará el consumo de agua para los distintos tratamientos.

Materiales y Métodos

Los ensayos se establecieron en lotes de producción de establecimientos ubicados en las provincias de Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe, en general, bajo sistemas de siembra directa estabilizados (Tabla 1). El manejo general del cultivo (control de malezas, fecha de siembra, variedad o híbrido, etc.) fue similar al manejo del lote, utilizándose maquinaria del productor en todos los casos.

Los seis tratamientos establecidos fueron similares en los nueve sitios donde se implantaron los ensayos. Esto permite utilizar a cada sitio como bloque para el análisis estadístico conjunto. En los sitios en los cuales se establecieron dos repeticiones para cada tratamiento, se realizó un análisis estadístico a nivel de sitio.

Los tratamientos utilizados con la cantidad de fertilizantes o nutrientes aplicados se indican en la Tabla 2. Los tratamientos incluyen un Testigo absoluto sin aplicación alguna de fertilizantes (Trat 1). Los otros tratamientos cubren los niveles de extracción promedio de cultivos de alta producción de soja, maíz y/o trigo. Las dosis de boro (B), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y zinc (Zn) se indican en kg de nutriente ya que se pueden encontrar fertilizantes con distintas concentraciones.

Resultados

Análisis de suelo

En la Tabla 3 se indican los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra.

La disponibilidad inicial de N-nitratos fue, en general, baja variando desde aproximadamente 50 kg/ha de N en Maciel a 65 kg/ha en Leones. Debe considerarse que la determinación de N-nitratos a la siembra de trigo debería hacerse hasta los 60 cm. Investigaciones realizadas en el sudeste de Buenos Aires y Sur de Santa Fe indican que para alcanzar 4000 kg/ha de rendimiento la disponibilidad inicial de N-nitratos debe ser superior a 100 kg/ha.

Los niveles de P asimilable (P Bray 1) fueron bajos en Bragado y Cafferata, medios en San Justo, altos en Monte Buey, Leones y San Carlos, y muy altos en Maciel, Corral de Bustos y Los Surgentes.

La disponibilidad inicial de S-sulfatos fue baja a muy baja en todos los sitios. En la región pampeana se posee poca información acerca de la asociación entre niveles de S-sulfatos a la siembra y respuesta a S en trigo para generar curvas de calibración. De todos modos, para evaluar mejor la disponibilidad inicial de S sería conveniente hacer los muestreos hasta 60 cm debido a la movilidad de este anión en el suelo.

Los niveles de Ca, Mg y K se encuentran por arriba de los considerados críticos para la producción de trigo según la literatura internacional.

Entre los micronutrientes, la disponibilidad de boro (B) fue baja a media en San Carlos, Monte Buey, Los Surgentes, San Justo, Bragado, Cafferata y Leones; y media a adecuada en Corral de Bustos y Maciel. La disponibilidad de zinc (Zn) se considera baja a media para Maciel, Leones, San Carlos y Monte Buey; media para San Justo, Corral de Bustos, Los Surgentes y Cafferata; y adecuada para Bragado. Los niveles de cobre (Cu) se consideran medios en San Justo, Maciel y Bragado, y adecuada para los otros sitios. La disponibilidad de hierro (Fe) y manganeso (Mn) se ubica por arriba de los niveles críticos mencionados por la literatura. Los niveles de pH fueron intermedios a bajos en casi todos los sitios excepto en Maciel.

Rendimientos

Los rendimientos de los tratamientos testigo variaron entre 2004 kg/ha y 4120 kg/ha y los máximos rendimientos de los tratamientos fertilizados entre 2726 y 5416 kg/ha. Los menores rendimientos de los tratamientos Testigo y fertilizados se registraron en San Carlos (San Carlos, Santa Fe) y San Justo (San Justo, Santa Fe), donde la disponibilidad de agua, precipitaciones y/o agua acumulada a la siembra, fue menor que en los otros sitios (Tabla 1).

El análisis estadístico conjunto considerando los siete sitios donde se establecieron los seis tratamientos, es decir exceptuando a San Carlos y San Justo donde no se hizo el tratamiento completo con micronutrientes, indica diferencias significativas entre el Testigo y los tratamientos fertilizados (Figura 1). No se encontraron diferencias significativas entre los rendimientos de los tratamientos fertilizados. La respuesta promedio a la aplicación conjunta de N y P fue de 1256 kg/ha. Esta respuesta se atribuye a los bajos niveles iniciales de N-nitratos y, en el caso de Bragado, Cafferata y San Justo, al bajo nivel de P asimilable.

Las Figuras 2a y 2b muestran los rendimientos por sitio experimental. En los sitios donde se contaba con dos repeticiones para cada tratamiento, se evaluaron los resultados estadísticamente. En todos los casos, los fertilizados superaron significativamente al testigo. No se observaron diferencias entre tratamientos fertilizados en Maciel, San Justo y Corral de Bustos. En Cafferata, el tratamiento NP rindió significativamente menos que los otros fertilizados. En Leones, el rendimiento de NPS fue menor que los de NP y NPSKMg. En Monte Buey, el rendimiento NPSKMgMicros fue menor que los de NP y NPSKCl. En Bragado, NPSKMg y NPSKCl superaron a NP y NPSKMgMicros y, estos superaron a NPS. En resumen, aparte de la respuesta observada a NP en todos los sitios, hubo respuestas significativas a S en Cafferata y a KMg y KCl en Bragado. Sin ser estadísticamente significativas, se observaron diferencias con la aplicación de KMg en Maciel y Corral de Bustos.

La falta de respuesta a S en algunos sitios de alta probabilidad por la baja disponibilidad de S-sulfatos y prolongada historia agrícola podría haberse debido a que la aplicación de N en el tratamiento NPS fue algo menor a la dosis propuesta. De esta manera, una dosis insuficiente de N pudo haber limitado la respuesta a S.

Las respuestas a KCl y KMg observadas no se relacionan con los altos niveles de disponibilidad de K en suelo. Los incrementos en rendimiento podrían atribuirse a efectos de Cl y Mg. Investigaciones realizadas en zonas trigueras de EE.UU. han demostrado respuestas significativas y económicas a Cl, siendo uno de los efectos más visibles la disminución de la incidencia de enfermedades de hoja. En el caso de Bragado, Marta Conti y colaboradores de la Facultad de Agronomía (UBA) han observado bajas tasas de liberación de K a la solución del suelo en suelos similares en 9 de Julio (Buenos Aires), lo que podría explicar una respuesta a K especialmente bajo condiciones de alta demanda.

Análisis foliares

Los análisis foliares realizados a antesis-comienzo de llenado de grano se indican en la Tabla 4. Comparando las concentraciones observadas con rangos de niveles críticos citados en la bibliografía, en general, las concentraciones de Ca, S, Fe, Mn y Zn serían adecuadas. Las concentraciones de P en San Justo y de K en Cafferata y San Justo fueron particularmente bajas, aun en los tratamientos fertilizados. Las concentraciones de B y Cu se encontraron por debajo de los niveles críticos mencionados por otros trabajos. La concentración de Mg se ubicó en niveles muy cercanos a los críticos. Estas comparaciones con datos de otras fuentes tiene solamente un carácter descriptivo, ya que la evaluación de los análisis foliares debe ser realizada de acuerdo a las condiciones ambientales y de manejo locales. La generación de una base de datos a nivel local permitirá establecer los niveles críticos de nutrientes en hoja.

El análisis estadístico conjunto de todos los sitios indicó diferencias significativas entre tratamientos en concentración de N, Ca, S, B y Mn. El análisis estadístico por sitio indicó diferencias significativas entre tratamientos en los siguientes sitios:

N : Maciel, Leones, Monte Buey y Bragado

P : Monte Buey y Bragado

S : Maciel, Leones, Corral de Bustos, Monte Buey y Bragado.

B : Maciel

Mn : Monte Buey

Zn : Bragado

Las principales diferencias en concentración de N y P se observaron entre el Testigo y los fertilizados (todos habían recibido N y P). Las diferencias en concentración de S, en general, respondieron a los tratamientos de fertilización azufrada. En Maciel, la aplicación de micronutrientes aumentó significativamente la concentración foliar de B. En Monte Buey, el Testigo mostró una concentración menor de Mn que los fertilizados, y lo mismo sucedió en Bragado con la concentración foliar de Zn.

Las diferencias en concentraciones foliares de N y P se reflejaron en respuestas en rendimiento, lo que no ocurrió con las diferencias observadas en concentraciones foliares de S, B, Mn y Zn.

Conclusiones

1. Se encontraron respuestas en rendimiento a NP en todos los sitios experimentales. Estas respuestas se relacionaron con la baja disponibilidad inicial de N y/o de P en suelos y con las concentraciones foliares de N y P.
2. La aplicación de S incrementó significativamente los rendimientos en uno de los nueve sitios, mientras que en otro sitio la aplicación de KCl o KMg también aumentó los rendimientos.

Agradecimientos

- A todos los productores y personal de los establecimientos que implantaron los ensayos y participan en este proyecto.
- A las empresas que con su apoyo hacen posible este trabajo.

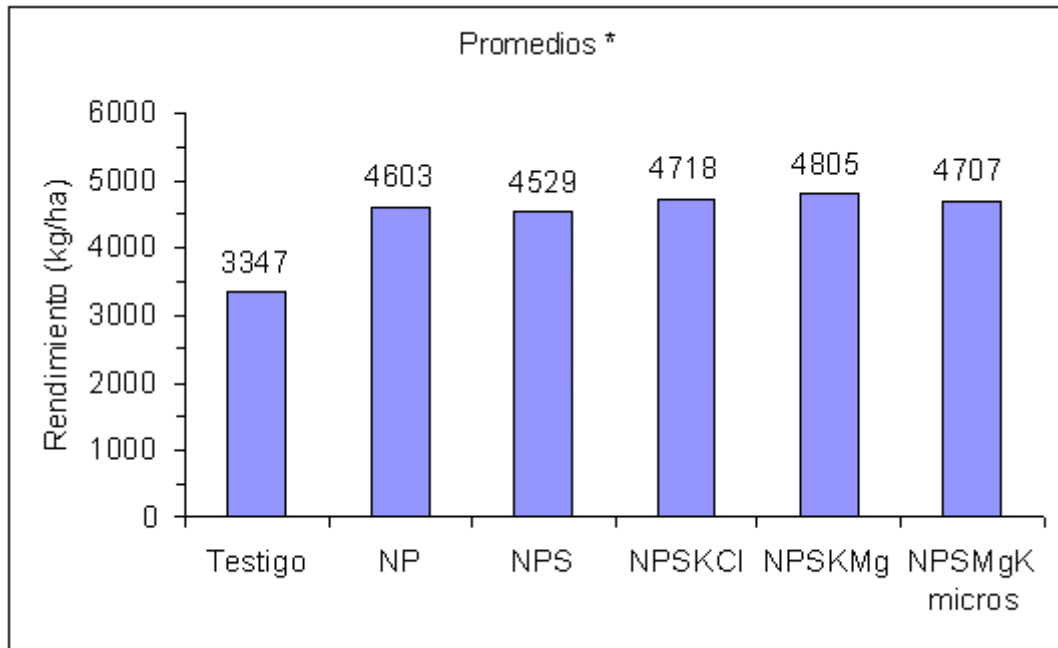


Figura 1. Rendimientos promedio para los seis tratamientos evaluados. * No se incluyen San Carlos y San Justo.

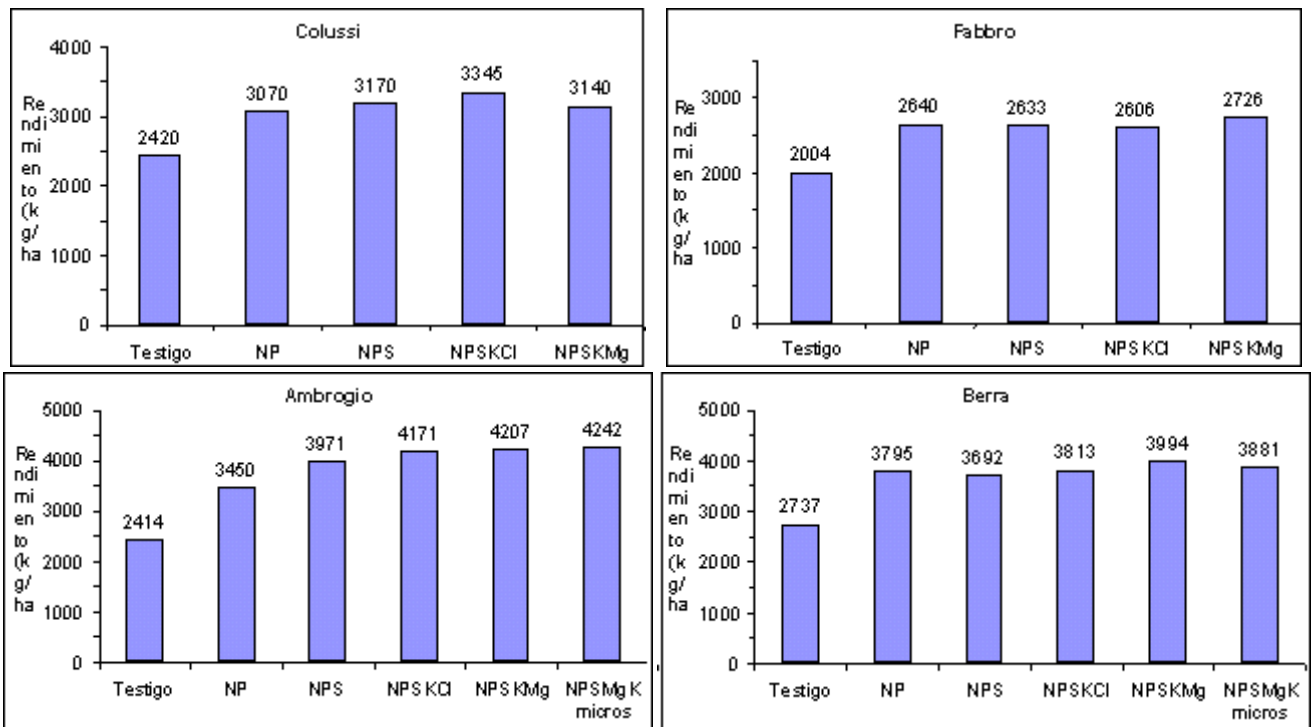


Figura 2a. Rendimientos promedio de los seis tratamientos en San Carlos, San Justo, Cafferata y Maciel.

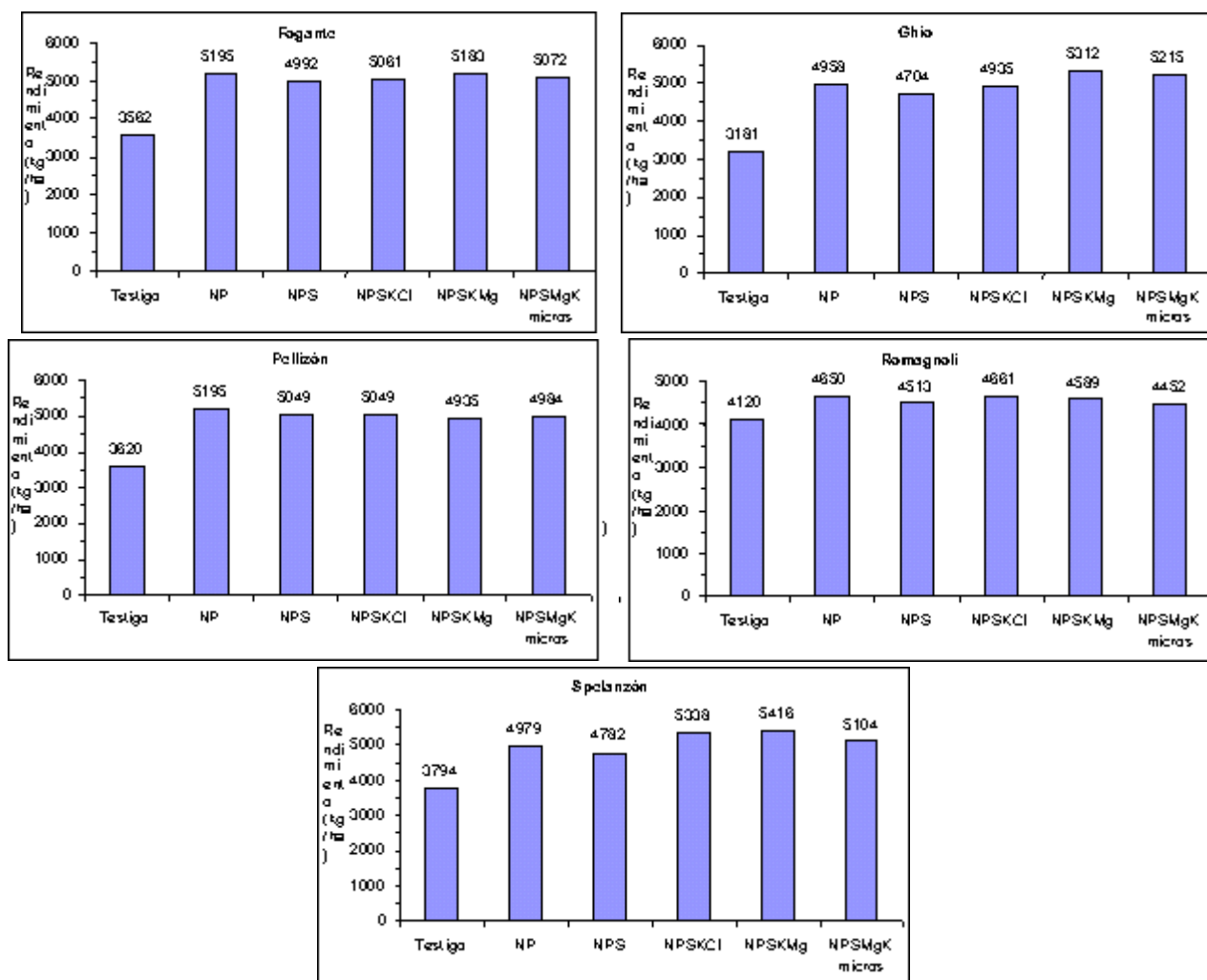


Figura 2b. Rendimientos promedio de los seis tratamientos en Leones, Corral de Bustos, Los Surgentes, Monte Buey y Bragado.

Tabla 1. Información de manejo y de sitio.

Localidad	Cafferata	Maciel	San Carlos	San Justo	Leones	Corral de Bustos	Los Surgentes	Monte Buey	Bragado
Provincia	Santa Fe	Santa Fe	Santa Fe	Santa Fe	Córdoba	Córdoba	Córdoba	Córdoba	Buenos Aires
Productor	Ambrogio	Berra	Colussi	Fabbro	Fogante	Ghio	Pellizón	Romagnoli	Spelanzón
Años SD	4		3		10	8	1	11	8
Antecesor	Soja	Maíz	Maíz	Soja	Soja	Maíz	Soja	Soja	Maíz
Fecha de siembra	5/6	7/7	12/6	5/6	25/6	10/6	30/5	4/6	21/7
Variedad	K. Pegaso	K. Pegaso	K. Pegaso	K. Pegaso	K. Volcán	K. Pegaso	K. Pegaso	K. Pegaso	K. Volcán
Fecha de fertilización	5/6	7/7	3/6	3/6	11/6	7/6	30/5	1/6	20/7
Agua a la siembra (mm)	323	154	S/D*	164	284	S/D	328	S/D	323

Precipitaciones Mayo- Noviembre	172	225	218	125	255	S/D	199	S/D	442
------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

* S/D Sin datos.

Tabla 2. Tratamientos establecidos en los nueve sitios experimentales.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	NP	NPS	NPSKCl	NPSKMg	NPSKMgMicros
Fertilizantes (kg/ha)						
FDA		150	150	150	150	150
Urea		267	226	226	267	267
Sulfato de amonio			92	92	0	0
SulPoMag				0	100	200
KCl				100	64	0
<i>B</i>						2#
<i>Zn</i>						4
<i>Cu</i>						2
<i>Mo</i>						0.02
Nutrientes (kg/ha)						
N		150	150	150	150	150
P		30	30	30	30	30
K				50	50	36
Mg					11	22
S			22	22	22	44
<i>B</i>						2
<i>Zn</i>						4
<i>Cu</i>						2
<i>Mo</i>						0.02
Cl				46	29	

Los micronutrientes *B*, *Cu*, *Zn* y *Mo* se expresan como kg de nutriente ya que pueden usarse distintas fuentes como fertilizante.

Tabla 3. Análisis de suelo previos a la siembra del trigo.

Propiedad	Unidades	Profundidad	Cafferata	Maciel	San Carlos	San Justo	Leones	Corral de Bustos	Los Surgentes	Monte Buey	Bragado
		cm									
			12.2	20.3	19.20	14.1	19.1	22	28.1	18.6	7
MO	%	0-20	3.3	2.4	2.6	2.6	2.6	3.4	3	2.8	4.2
N-NO3	ppm	0-20	26.4	12.4	13.6	31.5	18	20.70	15.5	17	17

		20-40		8.2			9	5.4	6.8	8.6	
		40-60		4.6			4.7		4	4.3	
S-SO4	ppm	0-20	5	6.5	4.5	5	6	5.3	5	5.5	6.3
		20-40					4.3	5	4.5	4.8	
		40-60					4	4.5	4.5		
pH		0-20	5.7	6.1	5.7	5.5	5.8	5.8	5.6	5.7	5.6
Ca	meq/100 g	0-20	9.8	7.1	8.2	7.4	11.5	10.8	11.3	10.9	9.0
Mg	meq/100 g	0-20	2.42	1.76	1.97	1.63	3.11	2.51	2.73	2.8	2.12
K	meq/100 g	0-20	1.61	1.18	0.97	0.95	1.86	1.86	1.81	1.9	1.4
B	ppm	0-20	0.74	1.11	0.56	0.68	0.81	1.02	0.63	0.62	0.73
Cu	ppm	0-20	2	1.9	2.2	1.7	2.4	2.2	2.6	2	1.9
Fe	ppm	0-20	93.1	85.3	96.7	102	69	81.5	86	74.5	111
Mn	ppm	0-20	118	154.0	155	160	121.6	122	117	76.8	90
Zn	ppm	0-20	1.6	1.0	1.1	1.5	1.1	1.5	1.5	1.2	2.6
Contenido de agua	%	0-20	22.4		20.3	22.10	21.1	21.1	21.8	18.9	
		20-40	24.3				21.5	21.5	23	19.5	
		40-60	23.2				20	20	21.2	17.88	

Tabla 4. Concentración de nutrientes en hoja bandera al estado de antesis-comienzo de llenado de grano para los distintos sitios y tratamientos.

Productor	Tratamiento	%						ppm				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
San Justo	Testigo	2.50	0.19	1.00	0.30	0.11	0.17	2.7	2.0	66	30	12
	NP	2.60	0.19	1.10	0.30	0.09	0.18	3.0	1.9	67	26	9
	NPS	3.00	0.19	1.30	0.29	0.11	0.24	2.3	2.0	74	37	12
	NPSKCI	3.00	0.18	1.30	0.29	0.10	0.24	2.1	2.0	78	36	12
	NPSKMg	2.90	0.18	1.10	0.30	0.10	0.21	1.7	2.0	75	33	10
Cafferata	Testigo	2.70	0.23	1.45	0.37	0.11	0.19	2.4	1.9	127	23	9
	NP	3.05	0.23	1.40	0.49	0.12	0.23	2.9	3.3	150	29	11
	NPS	2.80	0.20	1.50	0.44	0.10	0.23	5.6	1.9	116	28	8
	NPSKCI	2.95	0.23	1.35	0.48	0.11	0.22	4.5	1.7	102	38	9
	NPSKMg	2.90	0.20	1.55	0.42	0.10	0.25	6.8	1.9	114	28	8
	NPSMgK micros	3.10	0.22	1.45	0.44	0.10	0.27	7.1	1.8	115	35	10
Maciel	Testigo	3.03	0.25	1.67	0.33	0.12	0.23	2.8	2.1	103	34	13
	NP	3.65	0.26	2.00	0.40	0.13	0.29	4.2	2.5	112	47	14
	NPS	3.55	0.26	2.00	0.39	0.14	0.31	4.8	2.5	113	46	14
	NPSKCI	3.70	0.27	2.00	0.39	0.13	0.32	4.3	2.8	106	48	15
	NPSKMg	3.70	0.27	2.00	0.41	0.14	0.31	4.4	2.8	116	46	16
	NPSMgK micros	3.60	0.30	2.20	0.45	0.15	0.32	8.3	3.0	108	48	14
Leones	Testigo	3.30	0.32	2.20	0.56	0.14	0.31	9.2	2.0	195	45	14
	NP	4.00	0.36	2.10	0.73	0.16	0.45	11.0	2.9	144	74	17
	NPS	3.50	0.32	2.05	0.54	0.12	0.36	5.1	2.0	160	53	16

	NPSKCl	3.55	0.38	2.10	0.75	0.16	0.38	8.3	4.9	217	71	19
	NPSKMg	4.00	0.33	2.10	0.63	0.15	0.48	8.0	3.0	122	84	17
	NPSMgK micros	3.80	0.32	2.20	0.62	0.14	0.47	12.1	3.4	135	61	16
Corral de Bustos	Testigo	2.70	0.23	1.65	0.38	0.16	0.21	2.8	3.0	170	31	18
	NP	3.10	0.29	2.15	0.45	0.15	0.23	3.8	4.5	240	41	20
	NPS	2.80	0.27	1.80	0.45	0.15	0.23	3.3	1.6	265	35	18
	NPSKCl	2.90	0.23	1.70	0.35	0.11	0.25	3.9	1.4	174	28	14
	NPSKMg	3.20	0.31	2.15	0.41	0.14	0.28	3.9	2.9	180	45	18
	NPSMgK micros	3.05	0.26	1.95	0.42	0.13	0.29	6.9	3.3	256	46	21

Tabla 4. Concentración de nutrientes en hoja bandera al estado de antesis-comienzo de llenado de grano para los distintos sitios y tratamientos (Continuación).

Productor	Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		----- %-----						----- ppm -----					
Los Surgentes	Testigo	2.50	0.25	1.70	0.46	0.16	0.21	2.0	5.2	224	35	20	
	NP	3.00	0.25	1.70	0.55	0.12	0.23	2.0	1.4	113	75	13	
	NPS	2.40	0.25	1.70	0.46	0.10	0.21	1.2	1.4	101	66	14	
	NPSKCl	3.80	0.24	1.90	0.58	0.10	0.37	1.7	1.4	127	56	11	
	NPSKMg	3.10	0.26	1.90	0.48	0.11	0.26	1.4	1.4	108	57	12	
	NPSMgK micros	2.90	0.24	1.80	0.49	0.11	0.28	3.4	1.4	112	61	11	
Monte Buey	Testigo	3.20	0.22	1.70	0.37	0.13	0.27	4.9	2.0	111	42	13	
	NP	3.95	0.25	1.95	0.61	0.15	0.33	4.7	1.8	142	78	15	
	NPS	3.85	0.25	1.90	0.52	0.15	0.34	5.6	2.0	132	72	14	
	NPSKCl	3.80	0.25	1.95	0.58	0.16	0.35	5.4	1.8	141	62	14	
	NPSKMg	3.90	0.26	1.90	0.54	0.15	0.36	4.5	2.0	135	75	15	
	NPSMgK micros	3.90	0.25	1.95	0.57	0.16	0.43	8.3	1.5	131	75	14	
Bragado	Testigo	2.95	0.24	1.50	0.35	0.10	0.26	3.4	2.6	94	22	14	
	NP	3.35	0.29	1.40	0.39	0.12	0.28	1.7	2.7	80	29	20	
	NPS	3.75	0.28	1.65	0.46	0.13	0.39	1.9	2.4	91	38	17	
	NPSKCl	3.65	0.30	1.55	0.38	0.12	0.36	1.4	2.7	80	34	18	
	NPSKMg	3.65	0.30	1.65	0.58	0.14	0.37	2.0	2.7	91	36	16	

	NPSMgK micros	3.50	0.29	1.45	0.42	0.13	0.42	2.9	2.8	85	36	18
Promedios*	Testigo	2.91	0.25	1.70	0.40	0.13	0.24	3.9	2.7	146	33	14
	NP	3.44	0.27	1.81	0.52	0.14	0.29	4.3	2.7	140	53	15
	NPS	3.24	0.26	1.80	0.46	0.13	0.30	3.9	2.0	139	48	14
	NPSKCl	3.48	0.27	1.79	0.50	0.13	0.32	4.2	2.4	135	48	14
	NPSKMg	3.49	0.27	1.89	0.50	0.13	0.33	4.4	2.4	124	53	14
	NPSMgK micros	3.41	0.27	1.86	0.49	0.13	0.35	7.0	2.4	134	52	15
Rangos de niveles críticos **		2.2-3.6	0.20- 0.50	1.5-3.0	0.25- 1.00	0.10- 0.50	0.10- 0.30	8-25	5-15	35-120	15-200	10-40

* Excluyendo San Carlos y San Justo.

** Los rangos son promedios de diversas fuentes.