

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

Resultados de la campaña 2000/01: Maíz

Informe preparado por Alejandro Thomas (Asesor CREA Gral. Baldissera), Miguel Boxler (Asesor Privado), Belisario Alvarez de Toledo (Coordinador Zonal), Raúl Houssay (Miembro CREA María Teresa), Luciano Martín (Agroservicios Pampeanos), Angel Berardo (Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce) y Fernando O. García (INPOFOS Cono Sur)

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 practicas de manejo, específicamente de fertilización, para alcanzar los rendimientos máximos económicos. La región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP) y la colaboración de Monsanto Argentina, implantó en la campaña 2000/01 una red de ensayos a largo plazo con un protocolo común, cuyos objetivos generales son:

1. Determinar respuestas directas y residuales de los cultivos dentro de la rotación a la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y otros nutrientes (potasio, magnesio, boro, cobre y zinc) en diferentes ambientes de la región
2. Evaluar algunas metodologías de diagnóstico de la fertilización nitrogenada, fosfatada y azufrada
3. Evaluar deficiencias y respuestas potenciales a otros nutrientes

Para la campaña 2000/01 en el cultivo de maíz, los objetivos específicos fueron:

1. Evaluación de la respuesta a la fertilización nitrogenada y de métodos de diagnóstico. Los métodos de diagnóstico evaluados fueron: disponibilidad de N-nitratos en pre-siembra, disponibilidad de N-nitratos en V5-6, concentración de N-nitratos en jugo de base de tallos en V5-6, e índice de verdor (medidor de clorofila).
2. Evaluación de la respuesta a la fertilización fosfatada y del análisis de suelos en capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico.
3. Evaluación de la respuesta a la fertilización azufrada y del análisis de S-sulfatos en pre-siembra como método de diagnóstico.
4. Evaluación del rendimiento potencial, sin limitaciones nutricionales, en cada uno de los sitios de experimentación.

Materiales y Métodos

Los ocho ensayos que se reportan en este informe se establecieron en lotes bajo siembra directa de varios años ubicados en establecimientos de los distintos grupos CREA de la región Sur de Santa Fe en las provincias de Santa Fe y Córdoba (Tabla 1). El manejo general del cultivo (control de malezas, fecha de siembra, etc.) fue similar al manejo del lote, utilizándose maquinaria del productor en todos los casos.

Los tratamientos utilizados incluyen un Testigo sin fertilizar, distintas combinaciones de N, P y S, y un tratamiento Completo con NPS mas potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn). La cantidad de nutrientes y los fertilizantes aplicados se indican en la Tabla 2. Los seis tratamientos establecidos fueron similares en los ocho sitios donde se implantaron los ensayos. En todos los sitios, los tratamientos se dispusieron en un diseño en bloques completos con tres repeticiones.

En pre-siembra, se muestrearon los tres bloques para determinar: Materia orgánica, pH, P Bray, cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio, sodio), micronutrientes (zinc, cobre, hierro, manganeso) en capa superficial (0-20 cm); y N-nitros, S-sulfatos y B-boratos a 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad. Se tomaron veinte "piques" por muestra superficial y 10 piques por muestra subsuperficial. Al estado de 5-6 hojas desarrolladas (V5-6 según la escala de Ritchie y Hanway, 1982), se determinó la disponibilidad de N-nitros en suelo a 0-30 cm.

Se determinó el contenido de agua del suelo a 0-100 cm de profundidad a la siembra y, en el tratamiento 5 (NPS), en floración y madurez fisiológica.

Al estado de 5-6 hojas desarrolladas (V5-6 según la escala de Ritchie y Hanway, 1982), se determinó la concentración de nitros en jugo de base de tallos utilizando un equipo Nitratecheck en los tratamientos PS y NPS. En este estado y en floración, se determinó el índice de verdor utilizando un Minolta SPAD 502 en los mismos tratamientos PS y NPS.

Al estado de aparición de estigmas, se muestrearon las hojas de la espiga (30 hojas por parcela) para el análisis completo de nutrientes (al menos 30 hojas por tratamiento). Estas muestras están siendo analizadas y los resultados no son presentados en este informe.

A cosecha se determinó el rendimiento y la humedad de grano. Los rendimientos reportados se han corregido al 14.5% de humedad.

Resultados

Análisis de suelo

En la Tabla 3 se indican los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra. Los niveles de materia orgánica (MO) variaron entre 2.2% (La Marta) y 4.8% (San Alfredo). Estos valores de MO se consideran normales para las distintas zonas donde se realizaron los ensayos.

El pH varió entre 5.6 (San Antonio) y 6.6 (La Blanca), no indicando limitaciones por acidez para el crecimiento de cultivos como maíz.

La disponibilidad inicial de N-nitratos fue baja (< 100kg/ha de N-nitratos 0-60 cm) en El Pilarcito y Balducchi, muy alta en San Antonio y media a baja en los otros cinco sitios. Los niveles de P asimilable (P Bray 1) fueron bajos en Balducchi, San Antonio, La Marta y El Pilarcito, medios en La Blanca y Santo Domingo y altos en San Alfredo y Lambaré.

La disponibilidad inicial de S-sulfatos a 0-20 cm de profundidad fue baja en San Alfredo, El Pilarcito, Balducchi, La Blanca, San Antonio y La Marta; y media en Santo Domingo y Lambaré. Considerando la disponibilidad de S-sulfatos a 0-60 cm, la misma varió entre 44 kg S/ha (El Pilarcito) y 152 kg S/ha (Lambaré).

Los niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) se encuentran por arriba de los considerados críticos para la producción de maíz según la literatura internacional. El contenido de Ca varió entre 6.9 y 10.8 meq/100g; el de Mg entre 1.7 y 2.9 meq/100 g, y el de K entre 1.4 y 2.4 meq/100g. La relación K/Mg varió entre 0.67 y 1.15, no indicando desbalances entre estos nutrientes.

Entre los micronutrientes, la disponibilidad de boro (B) fue baja (Balducchi, El Pilarcito) a media variando entre 0.74 y 1.18 ppm. La disponibilidad de cobre (Cu) fue media a alta según niveles de referencia internacional, variando de 0.93 a 2 ppm. Los niveles de hierro (Fe) y manganeso (Mn) fueron elevados. La disponibilidad de zinc (Zn) fue media a adecuada, variando de 1.1 a 1.8 ppm.

El contenido de agua a la siembra varió entre 167 y 271 mm al metro de profundidad de acuerdo a las diferentes texturas de los suelos (Tabla 1). Las bajas precipitaciones de Diciembre resultaron en bajos contenidos de agua en suelo a floración. Las láminas acumuladas variaron entre 29-30 mm en San Antonio y Santo Domingo, donde solamente se pudieron muestrear los 30 cm superficiales, hasta 268 mm en La Marta bajo condición de riego. A madurez fisiológica, la disponibilidad de agua aumentó considerablemente debido a las precipitaciones registradas en Marzo.

Rendimientos

En general, la buena disponibilidad de agua a partir de las abundantes precipitaciones registradas en Octubre-Noviembre y en Enero permitieron alcanzar rendimientos elevados. Los rendimientos de los tratamientos Testigo variaron entre 5628 kg/ha (Balducchi) y 9682 kg/ha (Lambaré) y los máximos rendimientos de los tratamientos fertilizados entre 8093 kg/ha (San Antonio) y 12349 kg/ha (San Alfredo). La Figura 1 muestra los rendimientos promedios de los seis tratamientos para los ocho ensayos observándose que, en general, la respuesta promedio a N fue elevada (1795 kg/ha). Las respuestas promedios a P (499 kg/ha) y S (295 kg/ha) fueron menores y dependieron de las condiciones de cada sitio como se verá más adelante. En general, no se observó respuesta a la aplicación de nutrientes “no convencionales”, siendo la diferencia promedio Completo vs. NPS de 33 kg/ha.

Para cada sitio se realizó un análisis de varianza para evaluar la significancia de las diferencias entre los tratamientos. Las medias se separaron de acuerdo al test de la diferencia mínima significativa (DMS) (Tabla 4). Cabe señalar que este es un

análisis preliminar y otras metodologías de análisis estadístico (por ejemplo contrastes ortogonales) permitirán obtener un mayor detalle de la información.

En todos los sitios, excepto en San Antonio, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. La falta de respuestas en San Antonio podrían atribuirse a deficiencias hídricas durante el período de floración y/o a la degradación física de un suelo bastante arcilloso.

En La Blanca, todos los tratamientos fertilizados superaron al Testigo excepto el tratamiento PS, indicando una fuerte respuesta a N (1249 kg/ha).

En Balducchi y Santo Domingo, las diferencias entre tratamientos fueron similares: los tratamientos Completo, NPS, NP y NS superaron significativamente al Testigo y PS, pero no difirieron entre si, indicando nuevamente una marcada respuesta a N (2310 y 1894 kg/ha, respectivamente).

En Lambaré también se observó una fuerte respuesta a N (1340 kg/ha), pero acompañada por una respuesta significativa a PS que se diferenció del Testigo (948 kg/ha).

En La Marta y El Pilarcito, a la respuesta a N (1815 y 3300 kg/ha, respectivamente) se le suma una tendencia importante de respuesta a P (935 y 858 kg/ha, respectivamente). En El Pilarcito, la respuesta a S también tendió a ser significativa (918 kg/ha).

En San Alfredo, las respuestas a N (2678 kg/ha) y P (1499 kg/ha) fueron significativas y se observó una tendencia de respuesta a S (636 kg/ha).

El tratamiento Completo no difirió del tratamiento NPS en ningún caso presentando tendencias positivas en El Pilarcito y San Alfredo (+323 y 888 kg/ha, respectivamente), y negativas en La Marta (-825 kg/ha).

En resumen, la respuesta a N fue significativa en siete de los ocho sitios, y la respuesta a P en uno de los sitios. Las tendencias de respuesta a P se observaron en otros cuatro sitios, y a S en cuatro sitios. Análisis estadísticos mas detallados permitirán evaluar estas tendencias de respuesta.

Relaciones entre las variables de suelo y planta y las respuestas a la fertilización

La respuesta a N se relacionó con la disponibilidad de N-nitratos a 0-20 cm y a 0-60 cm (Fig. 2). Investigaciones realizadas en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe por la Facultad de Agronomía (UBA) han estimado un nivel crítico de 150 kg/ha de N-nitratos a 0-60 cm (Emilio Satorre, com. pers.). En todos los sitios con respuesta a N, la disponibilidad de N-nitratos fue inferior a 150 kg/ha, mientras que en San Antonio, donde no hubo respuesta a N, la disponibilidad de N-nitratos fue de 304 kg/ha a 0-60 cm en pre-siembra. En la determinación de la concentración de N-nitratos en pre-siembra a 0-20 cm, los 7 sitios con respuesta a N presentaron niveles menores de 30 ppm.

La concentración de N-nitratos en suelo (0-30 cm) al estado V5-6 en los tratamientos PS fue muy baja para todos los sitios, probablemente debido a las intensas precipitaciones registradas entre siembra y 5-6 hojas desarrolladas. De todas maneras, esta determinación separó los sitios con respuesta (menos de 8 ppm de N-NO₃) de San Antonio (11.7 ppm N-NO₃) (Fig. 3). Concentraciones críticas de N-

nitratos en suelo al estado V5-6 reportadas por numerosas investigaciones varían entre 15 y 25 ppm N-NO₃, según zona y potencial de rendimiento.

La concentración de nitratos en jugo de base de tallos evaluada al estado de 5-6 hojas desarrolladas fue menor de 1300 ppm en los 7 sitios con respuesta y de 2800 ppm en San Antonio en los tratamientos PS (Fig. 4). El índice de verdor, ya sea expresado en términos absolutos o relativos, no diferenció los 7 sitios con respuesta de San Antonio (Fig. 5).

Si bien las respuestas a P en general se relacionaron con la disponibilidad de P en el suelo (Ps), San Alfredo y San Antonio presentaron respuestas erráticas (Fig. 6). En San Alfredo se observó una elevada respuesta a P con un nivel alto de PS (28 ppm). Una posible explicación esta dada por el hecho de al que hallarse estos sitios bajo siembra directa, en el muestreo puedan haberse incluido zonas cercanas a bandas de fertilización anteriores que elevaron el nivel de P en el análisis. Los muestreos en lotes bajo siembra directa requieren de un elevado número de submuestras y un mayor número de muestras por lote. La falta de respuesta en San Antonio fue comentada anteriormente.

En cuanto a S, se observó que los 4 sitios con tendencia de respuesta (316 a 918 kg/ha) presentaban niveles de S-sulfatos menores de 10 ppm a 0-20 cm y de 80 kg/ha a 0-60 cm (Fig. 7). Los sitios sin respuesta a S presentaron niveles de S-sulfatos mayores de 10 ppm a 0-20 cm. En cuanto a la disponibilidad de S a 0-60 cm, dos sitios sin respuesta tuvieron 62 y 66 kg/ha de S-sulfatos mientras que los otros dos sitios sin respuesta tuvieron disponibilidades superiores a los 100 kg/ha.

Conclusiones

1. Se encontraron respuestas significativas a N en siete de los ocho sitios. La respuesta se relacionó con la disponibilidad de N-nitratos en pre-siembra, y la disponibilidad de N-nitratos en suelo y la concentración de nitratos en jugo de base de tallos al estado de 5-6 hojas desarrolladas (V5-6), pero no con el índice de verdor (Minolta Spad 502) en V5-6 y floración.
2. En cinco de los ocho sitios evaluados se observaron respuestas a la fertilización fosfatada relacionadas con la disponibilidad de P en el suelo en pre-siembra.
3. La aplicación de S incrementó los rendimientos en cuatro de los ocho sitios. Estos incrementos se relacionaron con la disponibilidad de S-sulfatos en suelo a 0-20 cm en pre-siembra y, en menor medida, con la disponibilidad a 0-60 cm.
4. La aplicación de K, Mg, B, Cu y Zn no afectó significativamente los rendimientos.

Agradecimiento

- A todos los productores y personal de los establecimientos que implantaron los ensayos y participan en este proyecto.

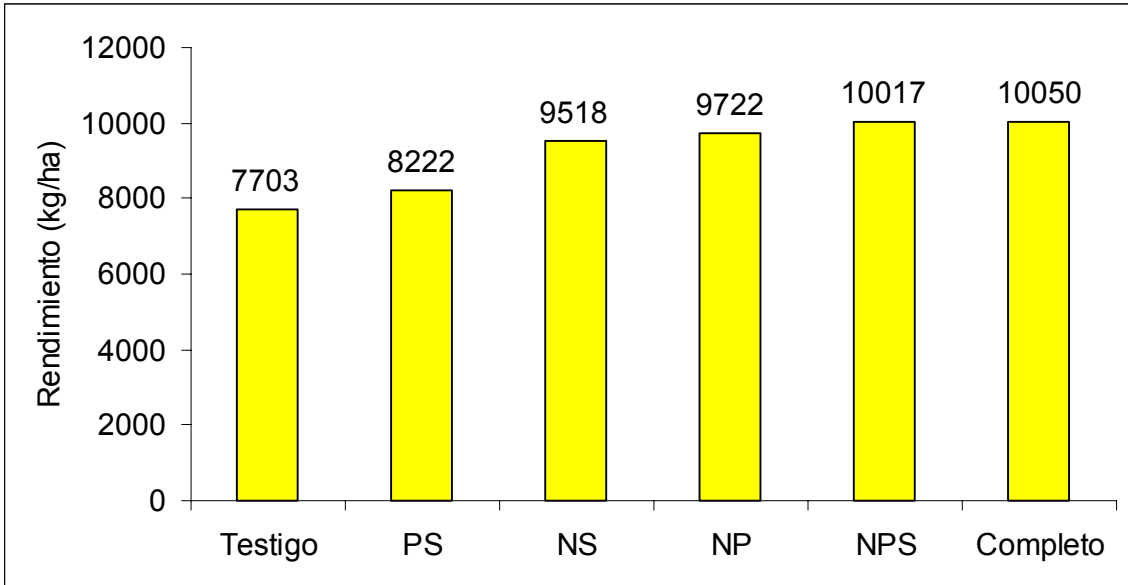


Fig. 1. Rendimientos promedios para los seis tratamientos en los ocho sitios evaluados.

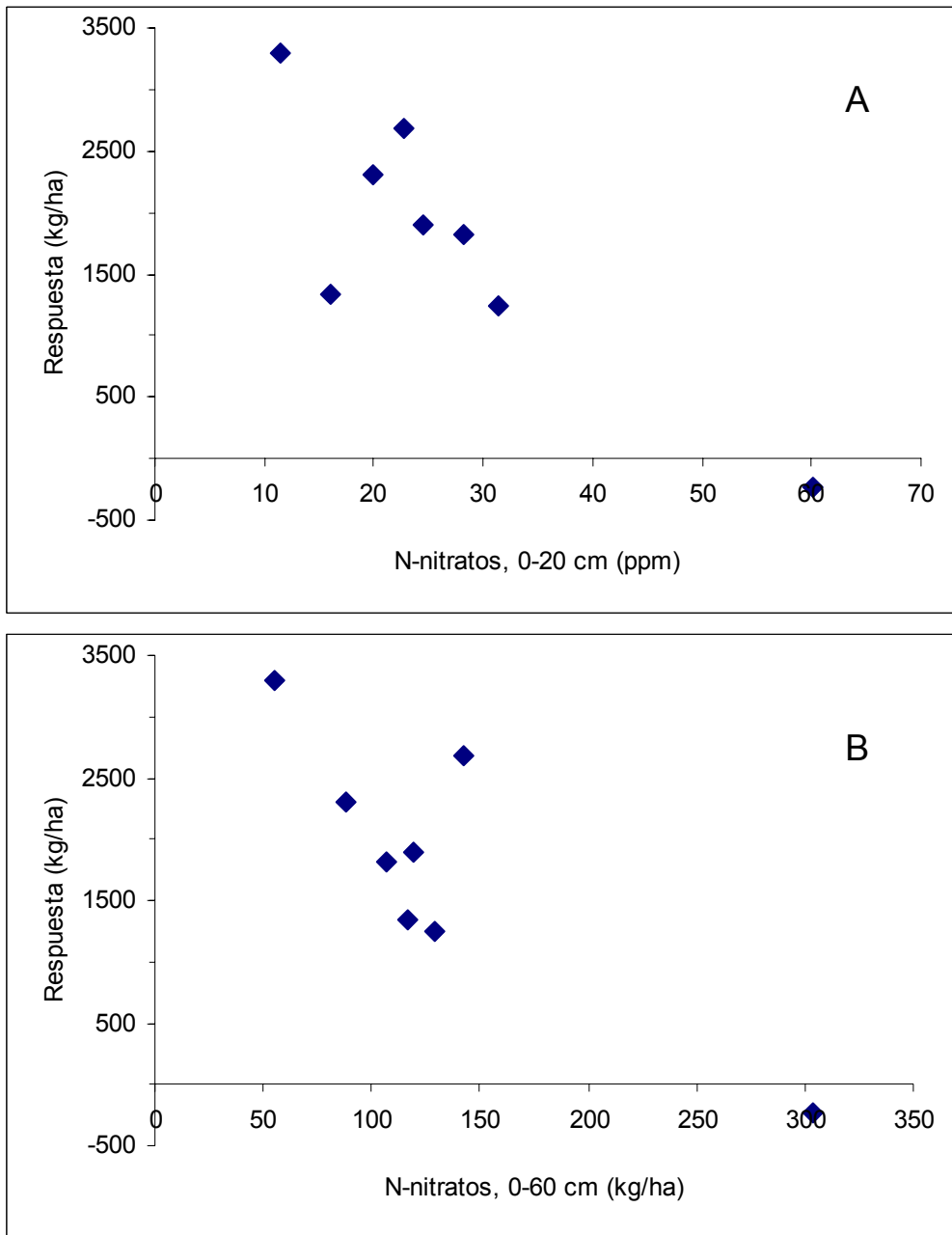


Fig. 2. Respuesta a N en función de la disponibilidad de N-nitratos en suelo a 0-20 cm (A) y 0-60 cm (B) en pre-siembra.

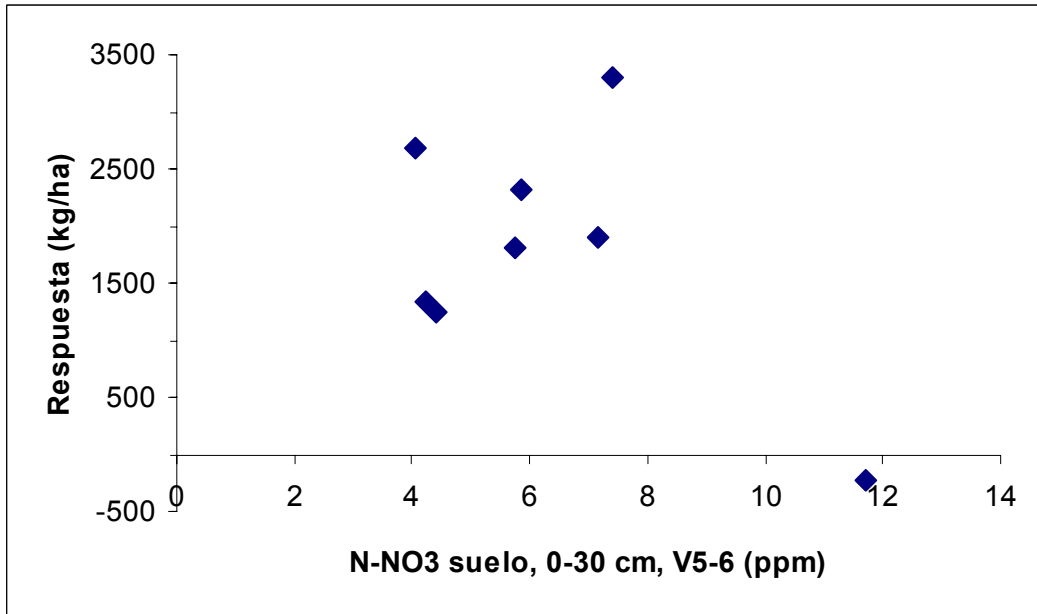


Fig. 3. Respuesta a N en función de la disponibilidad de N-nitratos en suelo a 0-30 cm al estado V5-6.

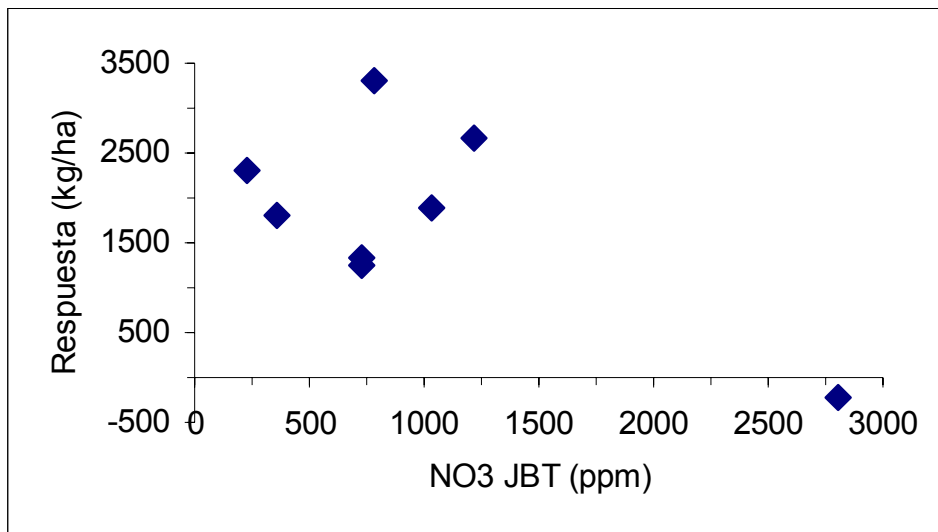


Fig. 4. Respuesta a N en función de la concentración de nitratos en jugo base de tallos al estado V5-6.

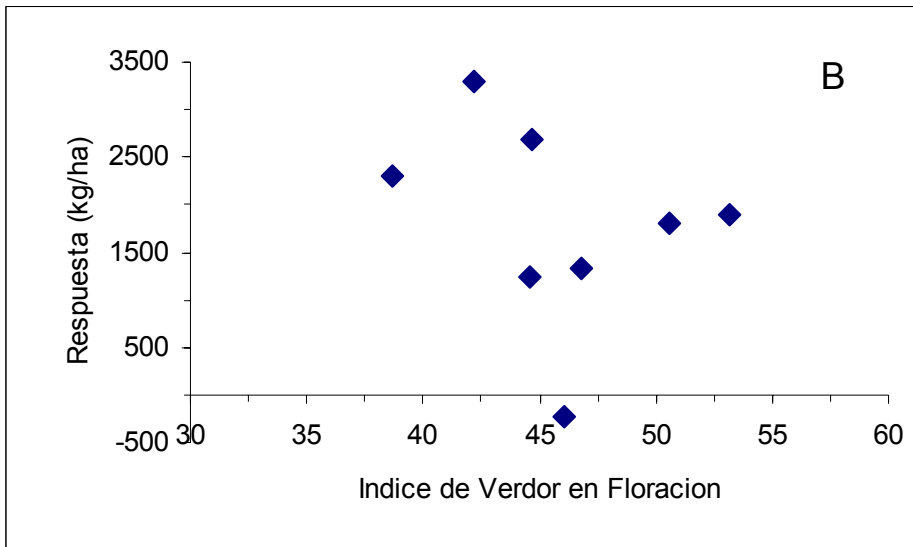
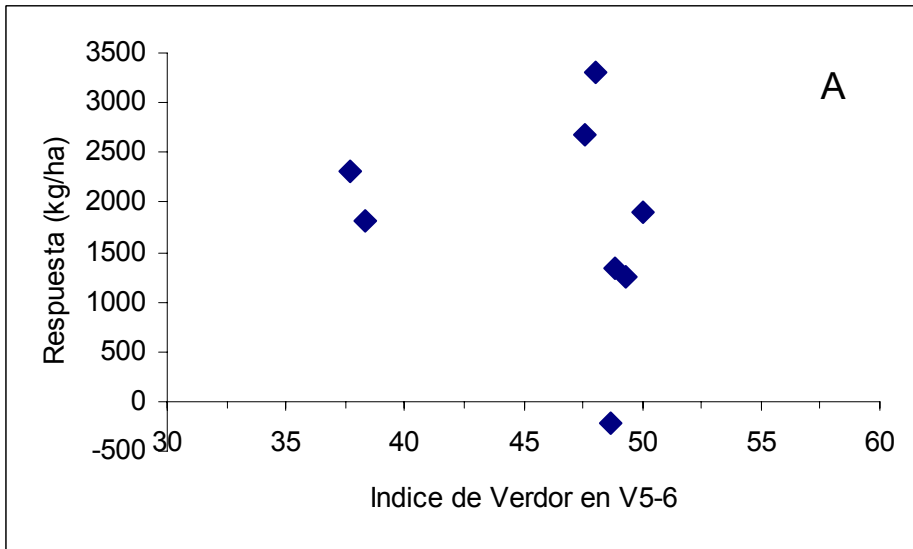


Fig. 5. Respuesta a N en función del índice de verdor (Minolta SPAD 502) al estado V5-6 (A) y en floración (B).

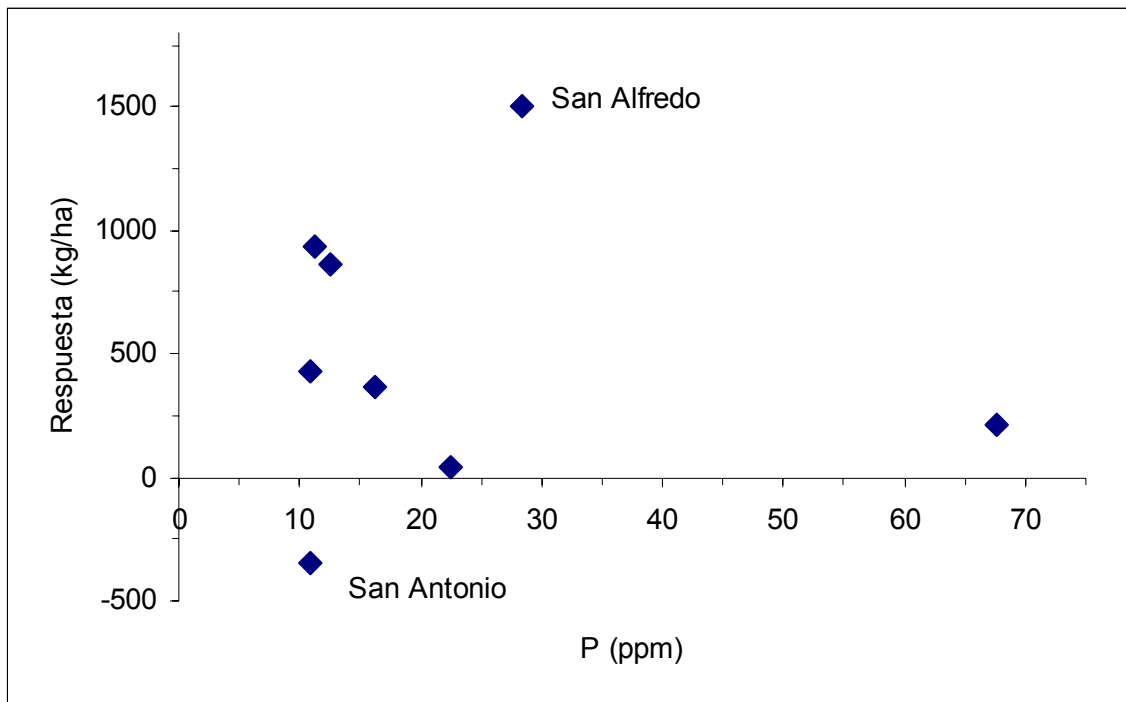


Fig. 6. Respuesta a P en función de la disponibilidad de P en suelo en pre-siembra a 0-20 cm. Se indican los datos correspondientes a los sitios San Alfredo y San Antonio.

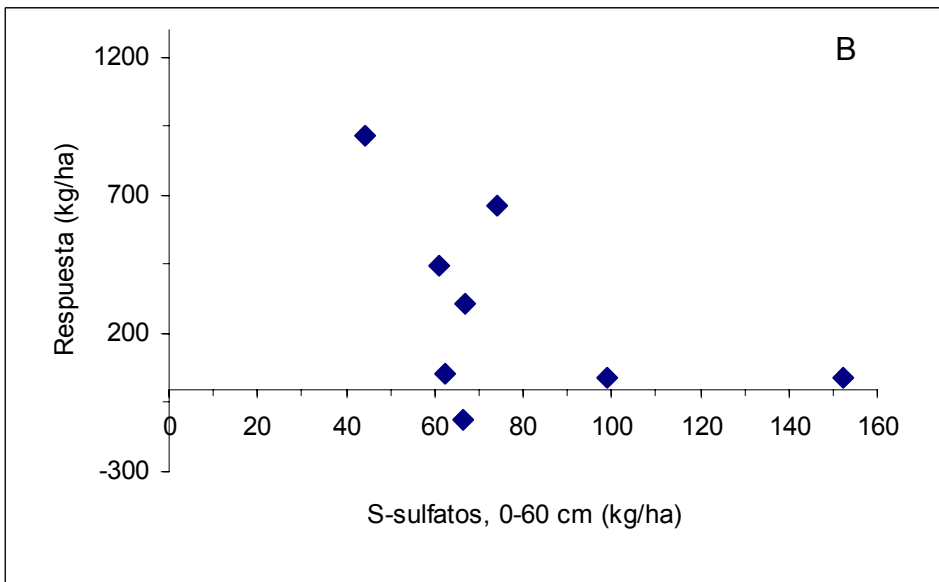
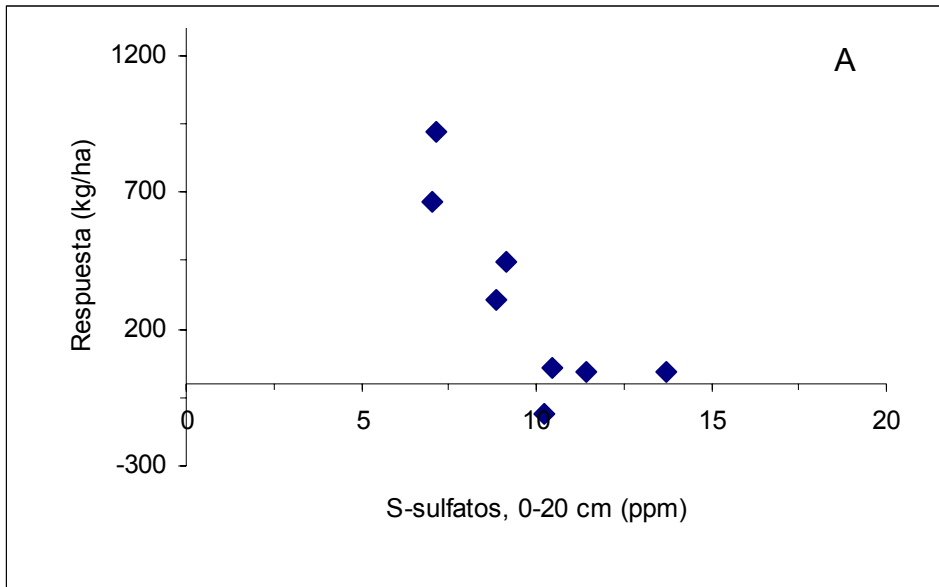


Fig. 7. Respuesta a S en función de la disponibilidad de S-sulfatos en suelo en pre-siembra a 0-20 cm (A) y a 0-60 cm (B).

Tabla 1. Información de manejo y de sitio, lámina de agua en el suelo a la siembra, floración y madurez fisiológica y precipitaciones durante el ciclo del cultivo.

CREA	Gral. Baldissera	Teodelina	Rosario	San Jorge-Las Rosas	Monte Buey	Canals	María Teresa	Santa Isabel
Establecimiento	La Blanca	Balducchi	San Antonio	Lambaré	Santo Domingo	La Marta	El Pilarcito	San Alfredo
Serie Suelo	La Bélgica	Santa Isabel	Maciel	Los Cardos	Monte Buey	Canals	Cafferata	Hughes
Labranza	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	LM
Años agricultura	6	+ 60	4	12	5	40	6	8
Antecesor	T/S	T/S	Soja	T/S	Soja	T/S	T/S	T/S
Fecha de siembra	19/9	21/9	28/9	25/9	13/10	4/10	18/9	22/9
Híbrido	Monsanto DK 696 MG							
Densidad (sem/m)	5.3	5.3	5.3	5.3	4.6	5.3	5.3	4.6
<i>Lámina de agua en el suelo (0-100 cm)</i>								
Siembra (mm)	183	238	250	229	224	167	267	271
Floración (mm)	113	192	29 **	65 ***	30 **	268	123	117
Madurez fisiológica (mm)	283	313	263	308	235	153	360	320
<i>Precipitaciones</i>								
Septiembre	12	43	60	8	0	8	15	49
Octubre	73	201	109	140	169	64	115	203
Noviembre	291	169	161	168	180	251	328	196
Diciembre	30	16	93	86	75	99	55	26
Enero	63	284	130	311	124	133	100	166
Febrero	8	31	68	49	7	30	36	20
Marzo	140	329	197	146	167	242	372	286
Septiembre-Marzo	617	1073	818	908	722	827	1021	946

** 0-30 cm (por sequía), *** 0-60 cm (por sequía).

Tabla 2. Tratamientos establecidos en los ocho sitios experimentales.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
	Fertilizante (kg/ha)					
FMA		100		100	100	100
Urea			164	200	160	200
Sulfato de amonio			80		80	0
SulPoMag						90
Yeso gran.(17%)		112				
B (10%)						10
Zn (40%)						10
Cu (20%)						10
Fertilizante total (kg/ha)	0	100	200	300	340	390
	Nutrientes (kg/ha)					
N		10	92	102	102	102
P		20		20	20	20
K						18
Mg						10
S		19	19		19	20
B						1
Zn						4
Cu						2

Tabla 3. Análisis de suelo previos a la siembra del maíz y lámina de agua en suelo a la siembra, floración y madurez fisiológica. Promedios de tres repeticiones.

Determinación	Profundidad (cm)	Unidad	La Blanca	Balduchi	San Antonio	Lambare	Santo Domingo	La Marta	El Pilarcito	San Alfredo
P	0-20	ppm	16.2	10.8	10.8	67.7	22.5	11.2	12.6	28.3
MO	0-20	%	2.6	2.6	3.0	2.8	2.7	2.2	3.5	4.8
pH	0-20		6.6	5.9	5.6	5.7	6.3	6.3	5.9	6.0
Ca	0-20	meq/100 g	7.2	8.1	7.4	9.7	10.8	6.9	9.7	10.3
Mg	0-20	meq/100 g	2.0	2.0	1.7	2.3	2.9	2.1	2.6	2.1
K	0-20	meq/100 g	1.9	1.4	1.4	2.3	2.3	2.4	1.8	1.9
Na	0-20	meq/100 g	0.42	0.38	0.41	0.40	0.43	0.51	0.34	0.41
B	0-20	ppm	1.04	0.74	1.04	0.99	0.95	1.08	0.82	1.18
Cu	0-20	ppm	1.28	1.25	1.65	2.00	1.48	0.93	1.50	1.40
Fe	0-20	ppm	71.1	89.8	91.4	75.3	60.5	53.6	94.3	95.0
Mn	0-20	ppm	35.6	45.5	80.9	99.0	90.8	28.4	80.3	74.4
Zn	0-20	ppm	1.74	1.80	1.68	1.28	1.38	1.10	1.73	1.70
N-NO ₃	0-20	ppm	31.4	20.0	60.1	26.5	24.5	28.2	11.5	22.7
N-NO ₃	0-60	kg/ha	129	88	304	117	120	107	55	142
S-SO ₄	0-20	ppm	9.2	8.9	10.2	13.7	11.4	10.4	7.2	7.0
S-SO ₄	0-60	kg/ha	61	67	66	152	99	63	44	74

Tabla 4. Rendimientos de maíz para los seis tratamientos evaluados y respuestas a N, P, S, NPS y otros nutrientes en los ocho ensayos. Promedios de tres repeticiones.

Tratamientos	La Blanca	Balducchi	San Antonio	Lambaré	Santo Domingo	La Marta	El Pilarcito	San Alfredo
Rendimientos								
	----- kg/ha -----							
Testigo	7074 b #	5628 b	7691	9682 c	7839 b	9084 c	6350 c	8277 d
PS	8113 ab	6089 b	7969	10630 b	7556 b	10258 bc	6376 c	8784 d
NS	8998 a	7970 a	8093	11760 a	9409 a	11138 ab	8818 b	9962 c
NP	8914 a	8093 a	7854	11928 a	9409 a	12017 a	8758 b	10800 bc
NPS	9362 a	8399 a	7742	11971 a	9451 a	12073 a	9676 ab	11462 ab
Completo	9177 a	8369 a	7880	11748 a	9629 a	11248 ab	9999 a	12349 a
DMS (5%)	1450 ##	1201	ns ###	806	548	1197	1060	1132
Respuestas								
	----- kg/ha -----							
N (NPS vs. PS)	1249	2310	-227	1340	1895	1815	3300	2678
P (NPS vs. NS)	364	429	-351	211	42	935	858	1499
S (NPS vs. NP)	448	306	-113	42	42	56	918	662
NPS (NPS vs. Testigo)	2103	2741	189	2066	1790	2164	3649	4073
Otros ##### (Completo vs. NPS)	-185	-30	138	-222	178	-825	323	888

Rendimientos seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%. ## DMS al 10%. ### Diferencias entre tratamientos no significativas. ##### Otros incluye K, Mg, B, Cu y Zn.