

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

Resultados de la campaña 2003/04: Maíz

Artículo publicado en *Informaciones Agronómicas*, No. 23, Agosto 2004

Informe preparado por Hugo Blanco (Asesor CREA María Teresa), Miguel Boxler (Asesor Privado), Jorge Minteguiaga (Coordinador Zonal), Raúl Houssay (Miembro CREA María Teresa), Germán Deza Marín (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 prácticas 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), 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 2003/04 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, concentración de N-nitratos en jugo de base de tallos al estado de 6 hojas desarrolladas (V6), e índice de verdor (medidor de clorofila) al estado V6 y floración.
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 seis ensayos que se reportan en este informe se establecieron en las campañas 2000/01 y 2001/02 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). En 2000/01 se sembró maíz, en 2001/02 soja de primera y en 2002/03 trigo/soja. Los tratamientos de fertilización se realizan anualmente siempre sobre las mismas parcelas.

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

En pre-siembra, se muestrearon tratamientos selectos de dos bloques para determinar: P Bray en capa superficial (0-20 cm); y N-nitratos y S-sulfatos a 0-20, 20-40 y 40-60 cm de profundidad. Se tomaron veinte "piques" por muestra superficial y 10 piques por muestra subsuperficial.

Se determinó el contenido de agua del suelo a 0-100 cm de profundidad en el tratamiento 5 (NPS) a la siembra, y a 0-60 cm en el mismo tratamiento a madurez fisiológica.

Al estado de 5-6 hojas desarrolladas (V5-6 según la escala de Ritchie y Hanway, 1982), se determinó la concentración de nitratos en jugo de base de tallos (NO₃ JBT) utilizando un equipo Nitracheck y el índice de verdor en la última hoja expandida utilizando un Minolta SPAD 502, en los tratamientos PS y NPS. El índice de verdor también se determinó en floración en la hoja de la espiga.

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 y determinaciones en planta

En la Tabla 3 se indican los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra. La disponibilidad de N-nitratos a 0-60 cm fue muy baja en La Hansa y presentó niveles intermedios en el resto de los ensayos. La comparación de las concentraciones de N-nitratos entre los tratamientos PS y NPS no demuestra residualidad del N aplicado en años anteriores.

Los mayores niveles de P Bray para los tratamientos NPS con respecto a los tratamientos NS demuestran efectos residuales de las aplicaciones de P de años anteriores en La Blanca, La Hansa, San Antonio y Santo Domingo. Estos efectos residuales no se observaron en los otros dos sitios: La Lira y Lambaré.

La disponibilidad de S-sulfatos a 0-20 cm fue baja en La Blanca y San Antonio. La comparación de las concentraciones de S-sulfatos a 0-60 cm entre los tratamientos NP y NPS, sugiere efectos residuales de aplicaciones previas de S en La Hansa, Lambaré, San Antonio y Santo Domingo.

La Tabla 4 muestra los promedios de NO₃ JBT al estado V6 y de índice de verdor en V6 y floración en los tratamientos PS y NPS.

Rendimientos y respuestas a la fertilización

Las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo fueron inferiores a las normales para la región. Sin embargo, la ocurrencia de precipitaciones en Diciembre-Enero, pre- y post-floración del cultivo, permitió alcanzar rendimientos elevados y buenas respuestas a la fertilización (Tabla 1; Fig. 1). Como consecuencia, las eficiencias de uso de agua estimadas son altas y, considerando las precipitaciones Septiembre-Febrero, fueron de 17.5, 22.7, 25.6, 26.3, 27.2 y 28.4 kg de maíz por mm de agua en promedio para los seis sitios en los tratamientos Testigo, PS, NS, NP, NPS y Completo, respectivamente.

Las respuestas promedio fueron de 3857, 1862, 697 y 461 kg/ha para NPS, N, P, y S, respectivamente, con eficiencias promedio de uso de 18, 19 y 23 kg de maíz por kg de N, P y S aplicados, respectivamente (Tabla 5). Las respuestas a la fertilización estuvieron dominadas por el efecto de N que fue significativo en cuatro de los seis sitios evaluados. En Lambaré y La Blanca, las combinaciones de N, P y S superaron en todos los casos al Testigo demostrando la interacción entre los tres nutrientes. En todos los sitios, la aplicación de P+S resultó en mayores rendimientos que el Testigo. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos NPS y Completo en ninguno de los seis sitios.

Entre los sitios, las mayores diferencias entre tratamientos se registraron en La Hansa, el sitio con historia agrícola más prolongada, y las menores en Lambaré, un sitio con reducida historia de agricultura continua, contenidos altos de N disponible y P Bray en pre-siembra (Tabla 3) y buenas condiciones físicas del suelo.

Los incrementos en rendimiento se asociaron estrechamente con el número de granos por m² (Tabla 6), encontrándose la siguiente relación entre ambas variables:

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = 465.7 + 2.82 \text{ Números granos/m}^2 \quad R^2 = 0.697$$

El peso de mil granos también fue afectado por los tratamientos de fertilización (Tabla 6), pero su impacto sobre el rendimiento fue menor ($R^2 = 0.317$).

Las respuestas observadas confirman la importancia de la nutrición nitrogenada para alcanzar altos rendimientos en el cultivo de maíz, y los efectos de interacción entre los tres nutrientes N, P y S. Debe remarcar el hecho de que, para esta campaña 2003/04, los tratamientos de fertilización ya llevaban tres años de instalación (desde la campaña 2000/01). El hecho de que año a año se repita el mismo tratamiento sobre la misma parcela genera efectos residuales no solamente sobre los nutrientes aplicados sino también sobre la condición general de la parcela: 1) mayores rendimientos en grano están asociados a mayores acumulaciones de rastrojo y, por lo tanto, a una mayor incorporación de carbono (C) al suelo; y 2) la mejor nutrición resulta en un mayor crecimiento y proliferación de raíces. La suma de estos efectos resulta en un ambiente edáfico de mejor calidad para el desarrollo de los cultivos. Estos efectos aún no han sido evaluados en esta Red, pero se ha programado para este año la determinación de algunos indicadores de calidad de suelo que confirmen o no esta hipótesis.

Relaciones entre las variables de suelo y planta y las respuestas a la fertilización. Ensayos 2000/01, 2002/03 y 2003/04.

La respuesta a N se relacionó con la disponibilidad de N-nitratos a 0-60 cm + N aplicado como fertilizante utilizando la información de estos ensayos y los de las campañas 2000/01 y 2002/03 (Fig. 2). Con la relación estimada ($\text{Rendimiento} = 5106 + 38.2 \text{ N} - 0.06 \text{ N}^2$; $R^2 = 0.494$, $n=37$), se alcanzarían rendimientos de 10000 kg/ha con disponibilidades de N a la siembra de 180 kg/ha, mientras que para lograr 11000 kg/ha se necesitarían 260 kg/ha de N disponible a la siembra.

La misma relación se puede utilizar para determinar dosis de aplicación rentables. Si por ejemplo consideramos un suelo con una disponibilidad de N-nitratos (0-60 cm) a la siembra de 120 kg/ha (promedio de los 19 ensayos en los

tres años), podemos estimar la eficiencia de cada kg de N aplicado en términos de kg maíz por kg de N aplicado como se observa en la Fig. 3. Cuando la eficiencia de conversión es mayor a la relación de precios N/maíz, la dosis utilizada será rentable.

No se encontraron relaciones significativas entre el índice de verdor determinado en V6 o a floración con los rendimientos o respuestas a N, ya sea expresadas en términos absolutos como relativos. La concentración de nitratos en jugo de base de tallos en V6 (NO₃ JBT) se relacionó significativamente con los rendimientos relativos (Rendimiento Tratamiento PS/Rendimiento Tratamiento NPS), indicando que para alcanzar el 90% del rendimiento máximo el valor de NO₃ JBT debería ser de 1800 ppm o superior. Debe tenerse en cuenta que esta metodología de NO₃ JBT requiere de una cuidadosa atención en su determinación y la calibración a nivel local. Por otra parte, en la relación encontrada, las variaciones en NO₃ JBT resultan en cambios menores en el Rendimiento Relativo, lo que indicaría que es una relación de muy baja sensibilidad y, por lo tanto, de uso reducido como herramienta de diagnóstico.

Los rendimientos relativos de maíz en las tres campañas se relacionaron con los contenidos de P Bray (Fig. 5). Las líneas vertical y horizontal de la Fig. 5 separan los sitios con P Bray menor o mayor de 15-16 ppm y de rendimiento relativo menor y mayor del 95%, respectivamente. La separación en cuadrantes indica que con niveles de P Bray menores de 15-16 ppm se observaron respuestas significativas a P en un 77% de los casos, mientras que en los sitios con P Bray superior a 15-16 ppm no se observaron respuestas significativas en 80% de los casos.

La Fig. 6. muestra la relación entre la concentración de S-sulfatos a 0-20 cm de profundidad y los rendimientos relativos de maíz. El mismo tipo de análisis realizado para el caso de P en la Fig. 5, indica que con niveles de S-sulfatos menores de 10 ppm se encontró respuesta significativa a S en un 89% de los casos, mientras que en los sitios con concentración de S-sulfatos mayor de 10 ppm no hubo respuestas significativas en un 89% de los casos.

Estimaciones de mineralización de nitrógeno orgánico del suelo durante el ciclo del cultivo de maíz a partir del rendimiento obtenido

La mineralización del N orgánico del suelo se puede estimar a través del rendimiento del cultivo. Para esta estimación se considero el siguiente cálculo:

$$N_{min} = [(Rendimiento \text{ en t/ha}) * 40 \text{ kg N /t}] - N_{siembra}$$

Donde,

N_{min} = N mineralizado durante el ciclo del cultivo

40 kg N / T = Requerimiento en kg de N necesarios en el suelo para producir 1 t de grano de maíz

$N_{siembra}$ = Cantidad de N-nitratos en kg/ha a 0-60 cm a la siembra (en Tabla 3)

Considerando los tratamientos PS de los 18 ensayos de las campañas 2000/01, 2002/03 y 2003/04, la mineralización de N promedio fue de 221 kg/ha, con un mínimo de 156 kg/ha y un máximo de 317 kg/ha. En el 61% de los sitios (11 ensayos), la mineralización estimada varió entre 160 y 220 kg/ha de N. La mineralización no se relacionó significativamente con el contenido de materia orgánica o el contenido de N-nitratos a la siembra.

Conclusiones

1. En la campaña 2003/04:
 - 1.1. Se encontraron respuestas significativas a N en cuatro de los seis sitios.
 - 1.2. La respuesta a PS fue significativa en todos los sitios.
 - 1.3. La fertilización NPS incrementó los rendimientos en 3857 kg/ha, un 58% de aumento de rendimiento sobre el Testigo, en promedio para los seis sitios.
 - 1.4. Las eficiencias promedio de uso fueron de 18, 19 y 23 kg de maíz por kg de N, P y S aplicados, respectivamente
 - 1.5. La aplicación de Mg, B, Cu y Zn no afectó los rendimientos.
2. Considerando los 19 ensayos con maíz realizados en las campañas 2000/01, 2002/03 y 2003/04.
 - 2.1. Los rendimientos se relacionaron significativamente con la disponibilidad de N-nitratos a 0-60 cm en pre-siembra.
 - 2.2. Los niveles de P Bray y de S-sulfatos a 0-20 cm en pre-siembra se relacionaron con los rendimientos relativos de maíz sin P y S, respectivamente.
 - 2.3. La mineralización estimada de N orgánico del suelo promedió 221 kg/ha, variando entre 160 y 220 kg/ha de N en el 61% de los casos.

Agradecimientos

- A todos los productores y personal de los establecimientos que implantaron los ensayos y participan en este proyecto.
- A Agroservicios Pampeanos (ASP) por su permanente apoyo en la realización de esta Red de Nutrición.

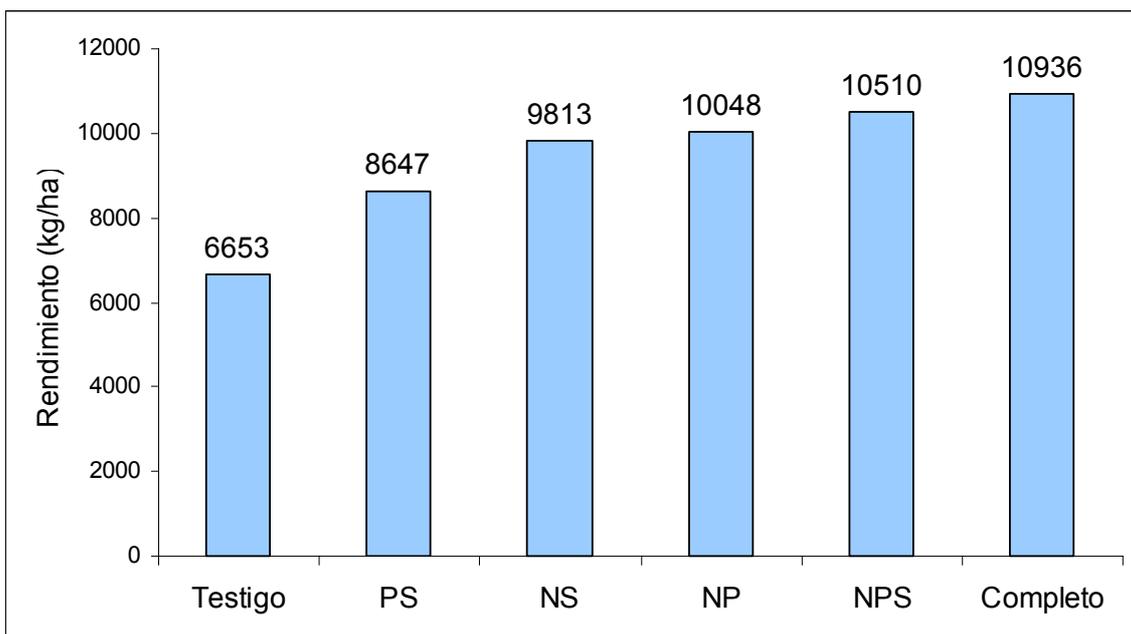


Fig. 1. Rendimientos promedios para los seis tratamientos en los seis sitios evaluados.

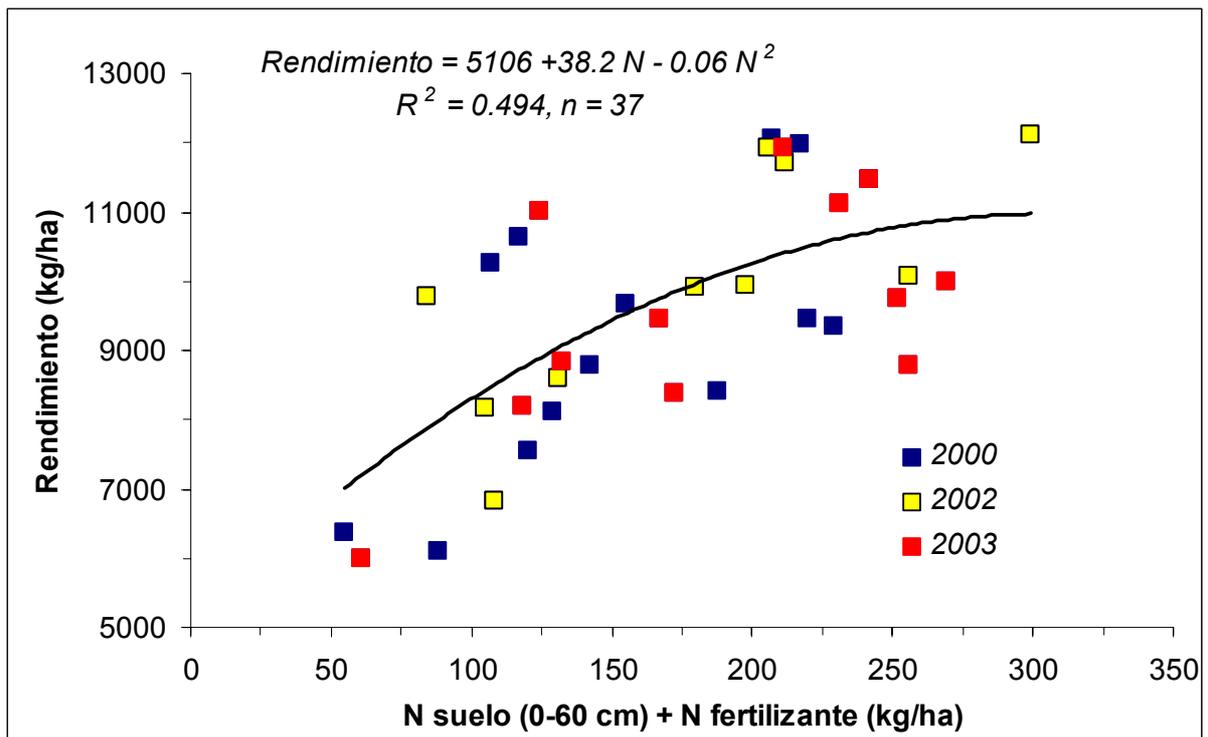


Fig. 2. Rendimiento en función de la disponibilidad de N-nitratos en el suelo a 0-60 cm en pre-siembra. Ensayos Maíz 2000/01, 2002/03 y 2003/04. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

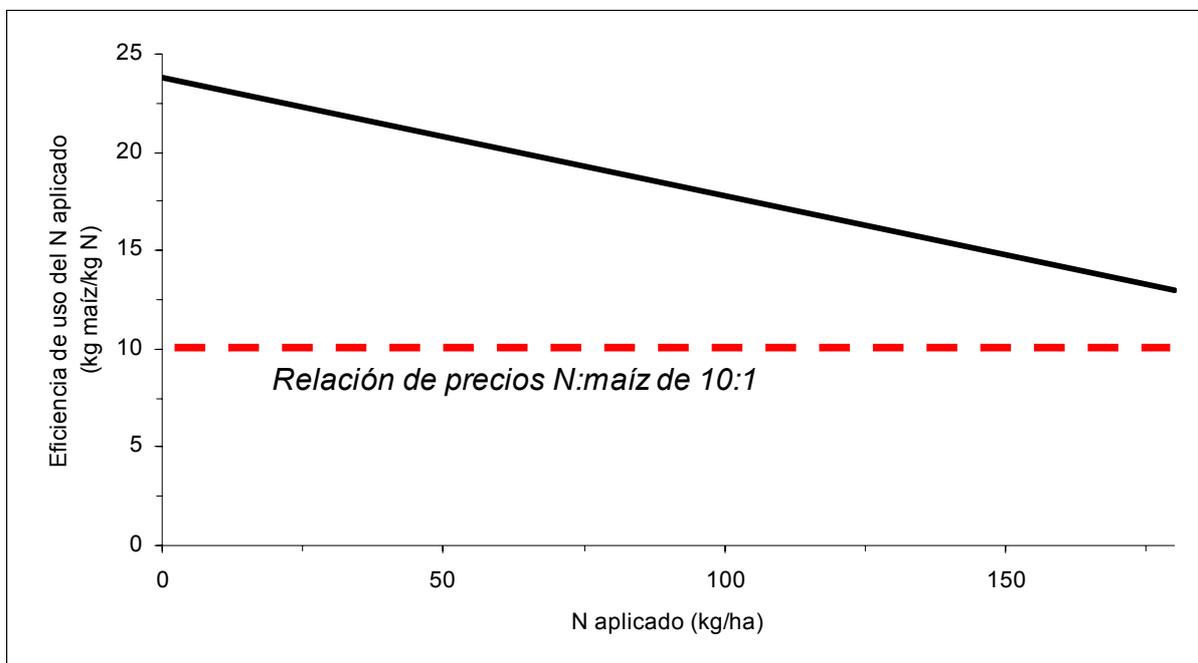


Fig. 3. Eficiencia de uso del N aplicado (kg maíz por kg N) en función de la dosis de N aplicada con una disponibilidad inicial de N-nitratos (0-60 cm) de 120 kg/ha según la función de respuesta de la Fig. 2. Ensayos Maíz 2000/01, 2002/03 y 2003/04, Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

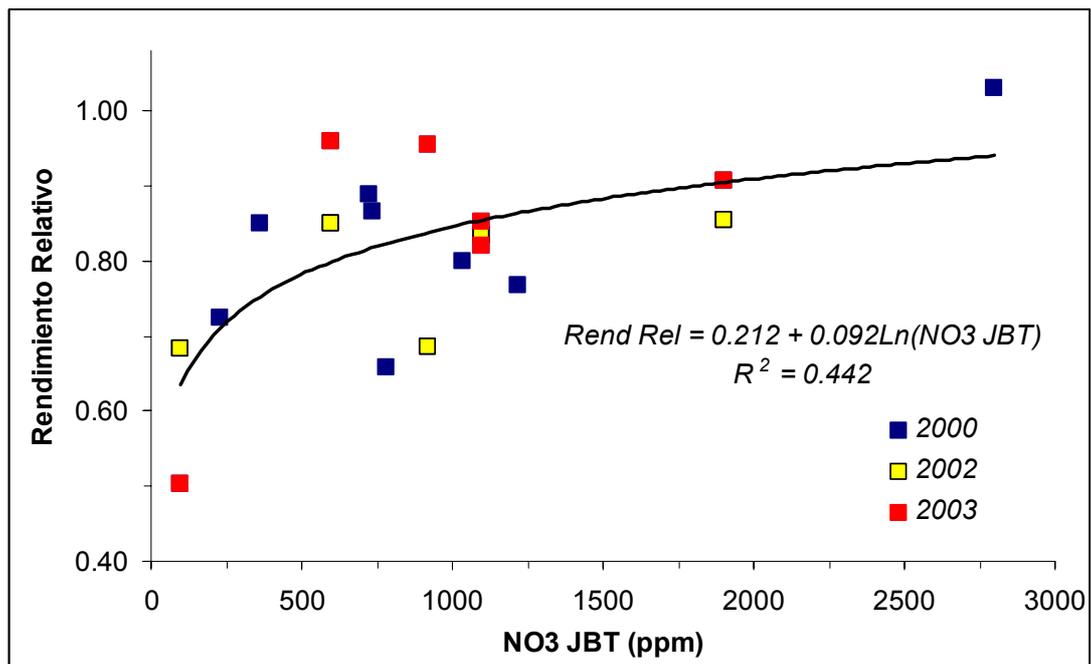


Fig. 4. Rendimiento relativo de maíz en función de la concentración de nitratos en jugo de base de tallos (NO3 JBT) al estado de 6 hojas desarrolladas (V6). Ensayos 2000/01, 2002/03 y 2003/04, Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

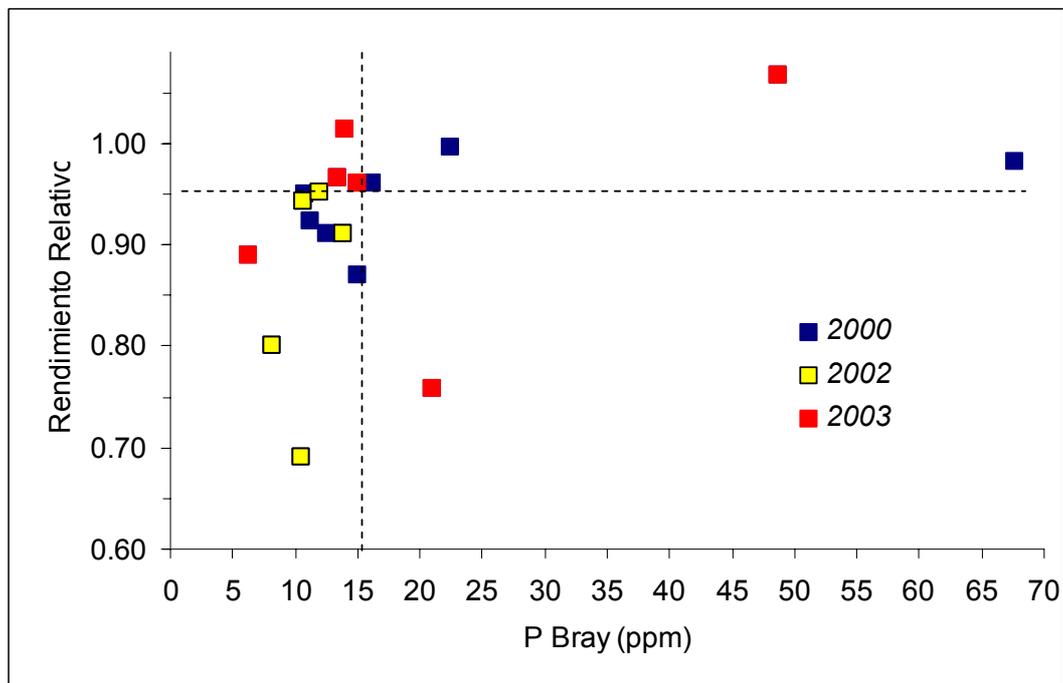


Fig. 5. Rendimiento relativo en función del nivel de P Bray en suelo en pre-siembra a 0-20 cm. Ensayos Maíz 2000/01, 2002/03 y 2003/04, Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe (n=18). La línea vertical indica el nivel de P Bray de 15-16 ppm y la horizontal el rendimiento relativo de 0.95.

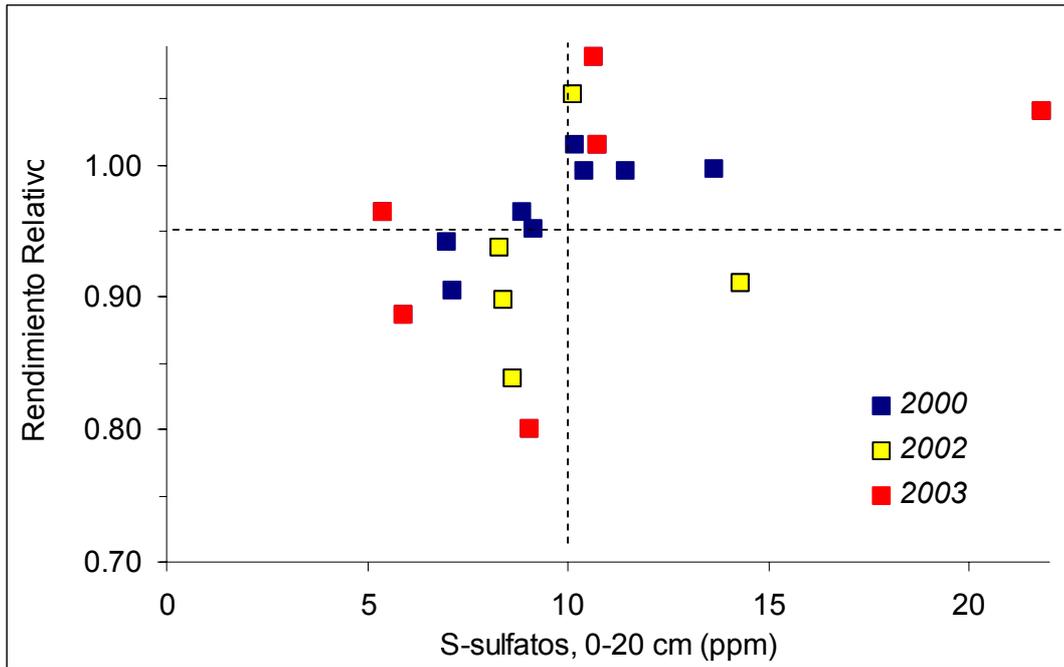


Fig. 6. Rendimiento relativo en función de la disponibilidad de S-sulfatos en suelo en pre-siembra a 0-20 cm. Ensayos Maíz 2000/01, 2002/03 y 2003/04, Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe (n=18). La línea vertical indica el nivel de S-sulfatos de 10 ppm y la horizontal el rendimiento relativo de 0.95.

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. Ensayos Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, Maíz 2003-04.

Establecimiento	Lambaré	La Blanca	La Hansa	La Lira	San Antonio	Santo Domingo
CREA	S. Jorge-Las Rosas	Gral. Baldissera	Armstrong-M. de Oca	La Cesira	Rosario	M. Buey-Inrville
Serie Suelo	Los Cardos	La Bélgica	Bustinzá	Complejo Laboulaye 4	Maciel	M. Buey
Labranza	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Años agricultura	7	9	24	9	7	6
Antecesor	Trigo/Soja					
Fecha de siembra	7/10/03	8/9/03	23/9/03	25/9/03	15/9/03	12/9/03
Híbrido	Monsanto DK 682MG					
Densidad a cosecha (pl/ha)	54779	73082	73806	88277	67273	63629
Fecha de cosecha	16/3/04	9/3/04	15/3/04	26/3/04	20/2/04	6/3/04
Agua en el suelo (mm) - Tratamiento NPS						
Siembra (0-100 cm)	280	209	305	128	197	243
Madurez fisiológica (0-60 cm)	216	284	276	231	300	251
Precipitaciones (mm)						
Junio	0	2	0	4	0	2
Julio	48	48	67	53	60	69
Agosto	34	30	45	31	35	40
Septiembre	4	14	10	5	22	12
Octubre	88	22	70	6	60	1
Noviembre	56	41	63	50	64	35
Diciembre	122	126	157	40	146	206
Enero	56	128	78	215	82	88
Febrero	35	37	52	9	92	40
Marzo	111	65	55	136		
<i>Diciembre-Enero</i>	178	254	235	255	228	294
<i>Total Septiembre-Febrero</i>	361	368	430	325	466	382

ND = No determinado

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		171		171	171	171
Urea			260	224	224	224
Yeso granulado		118	118		118	118
Mg (36%)						30
B (10%)						10
Zn (40%)						10
Cu (24%)						8
	Nutrientes (kg/ha)					
N		10	120	120	120	120
P		37		37	37	37
Mg						10
S		20	20		20	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 dos repeticiones.

Ensayo	Tratamiento	P	N-NO ₃	N-NO ₃	S-SO ₄	S-SO ₄
		<i>ppm</i>	<i>ppm</i>	<i>kg/ha</i>	<i>ppm</i>	<i>kg/ha</i>
		0-20 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20 cm	0-60 cm
La Blanca	PS		24.7	124		
	NS	15.0				
	NP				5.4	42
	NPS	25.3	24.7	122	7.8	47
La Hansa	PS		13.5	61		
	NS	20.9				
	NP				9.0	50
	NPS	44.3	20.4	91	16.0	69
La Lira	PS		23.8	132		
	NS	13.4				
	NP				21.8	80
	NPS	13.7	21.7	132	7.4	55
Lambaré	PS		30.6	172		
	NS	48.6				
	NP				10.6	51
	NPS	50.8	31.6	136	14.6	79
San Antonio	PS		42.8	167		
	NS	6.3				
	NP				5.9	39
	NPS	9.6	24.2	111	12.9	65
Santo Domingo	PS		22.4	118		
	NS	13.9				
	NP				10.7	53
	NPS	23.3	23.7	149	13.0	96

Tabla 4. Concentración de nitratos en jugo de base de tallos al estado de 6 hojas (V6) (NO₃ JBT) e índice de verdor determinado con Minolta SPAD 502 al estado de 6 hojas (V6) y floración. Promedios de tres repeticiones.

Ensayo	Nitratos JBT		Índice de Verdor			
	Estado de seis hojas (V6)				Floración	
	PS	NPS	PS	NPS	PS	NPS
	-- mg/kg --		-- Unidades SPAD --			
La Blanca	600	2040	47.2	52.3	48.5	52.1
La Hansa	100	2200	48.3	51.8	46.3	50.3
La Lira	1900	2300	49.8	52.6	44.6	49.5
Lambaré	920	2260	47.7	50.5	44.3	51.2
San Antonio	1100	2200	48.6	51.2	45.7	51.2
Santo Domingo	1100	2200	48.8	52.9	43.7	48.9

Tabla 5. Rendimientos de maíz para los seis tratamientos evaluados y respuestas a N, P, S, NPS y otros nutrientes en los seis ensayos. Promedios de tres repeticiones.

Tratamiento	Lambare	La Blanca	La Hansa	La Lira	San Antonio	Santo Domingo	Promedio
Rendimientos							
----- kg/ha -----							
Testigo	7101	7729	4625	6496	6951	7018	6653
PS	8374	11019	5996	8850	9453	8192	8647
NS	9366	11025	9027	9425	9890	10143	9813
NP	9505	11071	9547	10160	9851	10156	10048
NPS	8783	11478	11921	9759	11112	10005	10510
Completo	9744	11886	11890	10210	11664	10222	10936
DMS (5%)	1006	911	972	877	1268	404	-
Respuestas							
N	409	459	5925	909	1659	1813	1862
P	-426	453	2894	333	1223	-138	697
S	-635	406	2374	-401	1262	-151	461
NPS	1682	3749	7297	3263	4162	2987	3857
Otros	961	408	-32	452	551	216	426

Tabla 6. Número de granos por m² y peso de mil granos de maíz promedio para los seis tratamientos evaluados y respuestas a N, P, S, NPS y otros nutrientes en los seis ensayos.

Tratamiento	Lambare	La Blanca	La Hansa	La Lira	San Antonio	Santo Domingo	Promedio
Número de granos por m²							
<i>Promedios</i>							
Testigo	2463	2472	2052	2160	2872	2888	2476
PS	3034	3363	2383	2870	3505	3145	3063
NS	3182	3236	2836	2894	3961	3655	3260
NP	3172	3365	2941	2976	3591	3840	3288
NPS	2977	3464	3513	2919	4126	3599	3413
Completo	3284	3653	3685	2994	4206	3737	3573
DMS (5%)	361	291	309	264	493	164	-
<i>Respuestas</i>							
N	-57	101	1130	49	620	454	350
P	-79	228	677	25	165	-56	154
S	-64	99	572	-58	535	-241	125
NPS	515	992	1461	759	1254	711	937
Otros	307	189	172	75	80	138	159
Peso mil granos (g)							
<i>Promedios</i>							
Testigo	288	313	225	301	242	243	269
PS	276	328	252	308	270	261	282
NS	294	341	318	326	250	278	301
NP	300	329	325	341	274	265	306
NPS	295	331	339	334	269	278	308
Completo	297	325	323	341	277	274	306
DMS (5%)	2.3	2.5	2.6	2.5	1.7	1.9	-
<i>Respuestas</i>							
N	19	4	88	26	0	18	26
P	-6	-9	21	9	20	1	7
S	-15	2	15	-7	-5	14	2
NPS	7	19	114	34	27	35	39
Otros	2	-6	-17	7	8	-5	-2