

**Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos  
Región CREA Sur de Santa Fe**

***Resultados de la campaña 2010/11: Maíz***

*Preparado por Miguel Boxler (Coordinador Ensayos), Fernando O. García (IPNI Cono Sur), Adrian Correndo (IPNI Cono Sur), Jorge Minteguiaga (Coordinador Zonal), Ricardo Pozzi (CREA San Jorge-Las Rosas), Máximo Uranga (CREA Posta Espinillos), Francisco Bauschen (Agroservicios Pampeanos), Nahuel Reussi Calvo (Laboratorio Fertilab) y Angel Berardo (Laboratorio Fertilab)*

En la campaña 2010/11, la región Sur de Santa Fe del movimiento CREA, con la colaboración de IPNI Cono Sur y el auspicio de Agroservicios Pampeanos (ASP), continuó la Red de Ensayos de Nutrición de Cultivos iniciada en la campaña 2000/01. Los objetivos generales de la Red son:

1. Determinar respuestas (directas y residuales) de los cultivos dentro de la rotación a la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) 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: potasio (K), magnesio (Mg), boro (B), cobre (Cu) y zinc (Zn)
4. Conocer la evolución de los suelos bajo distintos esquemas de fertilización determinando índices relacionados con su calidad

En este informe se reportan los resultados observados en dos ensayos de maíz en la rotación maíz-trigo/soja. Para esta campaña 2010/11, los objetivos específicos incluyeron la evaluación:

- La respuesta a la fertilización nitrogenada (directa y residual) 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 a V5-6 e índice de verdor en V5-6 y floración.
- La respuesta a la fertilización fosfatada (directa y residual) y del análisis de suelos en capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico.
- La respuesta a la fertilización azufrada (directa y residual) y del análisis de S-sulfatos en pre-siembra como método de diagnóstico.
- El rendimiento sin limitaciones nutricionales en cada uno de los sitios de experimentación.
- La evaluación de parámetros de suelo: P Bray 1, N-nitratos y S-sulfatos en tratamientos selectos.

Información de años anteriores de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe se puede encontrar en García et al. (2010)<sup>1</sup> y en los sitios de Internet [www.aacrea.org.ar](http://www.aacrea.org.ar) y [www.ipni.net/lasc](http://www.ipni.net/lasc).

## **Materiales y Métodos**

Los dos ensayos que se reportan en este informe se establecieron en lotes bajo siembra directa de varios años ubicados en establecimientos de grupos CREA de la región Sur de Santa Fe en la provincia de Santa Fe en la campaña 2000/01 (Tabla 1). En la campaña 2000/01 se sembró maíz y en los dos ensayos se continuó en los años siguientes con rotación maíz-trigo/soja.

Los tratamientos de fertilización se realizan anualmente siempre sobre las mismas parcelas en todos los ensayos. La cantidad de nutrientes y los fertilizantes aplicados a la siembra del maíz en la campaña 2010/11 se indican en la Tabla 2. Los seis tratamientos establecidos fueron similares en los dos sitios. En los dos sitios, los tratamientos se disponen en un diseño en bloques completos con tres repeticiones.

El manejo general del cultivo (control de malezas, fecha de siembra, etc.) fue similar al manejo del lote de producción, utilizándose maquinaria del productor en todos los casos.

En pre-siembra, se muestrearon tratamientos selectos en los tres 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 a la siembra en el tratamiento 5 (NPS).

Al estado V5-6 se determinó la concentración de nitratos en jugo de base de tallos (JBT) utilizando un equipo Nitracheck y el índice de verdor utilizando un Minolta SPAD 502 en los tratamientos PS y NPS. El IV se determinó nuevamente a floración del cultivo.

A cosecha se determinó el rendimiento, la humedad de grano y el peso de mil granos. Los rendimientos reportados se han corregido al 14.5% de humedad. Con la información de rendimiento y de peso de mil granos, se estimó el número de granos por m<sup>2</sup>. En todos los tratamientos se tomaron muestras de grano para evaluar la concentración de nutrientes (información no presentada).

## **Resultados**

### **Análisis de suelo**

Los niveles de P Bray, N-nitratos y S-sulfatos fueron bajos en los dos ensayos para los tratamientos NS, PS, y NP, respectivamente. Se observaron efectos residuales de la

---

<sup>1</sup> García F.; M. Boxler; J. Minteguiaga; R. Pozzi; L. Firpo; I. Ciampitti; A. Correndo; F. Bauschen; A. Berardo y N. Reussi Calvo. 2010. *La Red de Nutrición de la Región Crea Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 200-2009*. 2a. ed. AACREA. Buenos Aires, Argentina. ISBN ISBN 978-987-1513-07-9. 64 pag.

fertilización fosfatada en los dos ensayos con incrementos acumulados de P Bray significativos a lo largo de los once años de ensayos en el tratamiento NPS (Tabla 3, Fig. 1).

Las residualidades de P son positivas desde el punto de vista de mejorar los niveles de P Bray en los suelos y demuestran la posibilidad de manejar estrategias de fertilización de subir y mantener el P extractable en estos suelos. Los incrementos y caídas en los niveles de P Bray se asocian con balances negativos y/o positivos entre la extracción en grano y la aplicación vía fertilización fosfatada.

Para N-nitratos, se registraron efectos residuales solamente en Balducci, aunque los valores acumulados en el tratamiento NPS a la siembra del maíz 2011 no fueron elevados. No se registró efecto residual de S en ninguno de los dos sitios.

### ***Rendimientos y respuestas a la fertilización***

Los rendimientos difirieron marcadamente entre los dos ensayos (Tablas 1 y 4). En Balducci, la disponibilidad hídrica inicial fue intermedia y las reducidas precipitaciones de Octubre-Diciembre (115 mm) afectaron los rendimientos. Por el contrario, la elevada disponibilidad de agua del suelo a la siembra en San Alfredo y las mayores precipitaciones de Octubre-Diciembre (189 mm) permitieron alcanzar altos rendimientos (Tablas 1 y 4).

La fertilización NPS incrementó significativamente la eficiencia de uso de agua (EUA) en los dos sitios. En términos relativos, este efecto sobre la EUA fue mayor en Balducci, el sitio de menor disponibilidad de agua (suelo+precipitaciones). Considerando las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo (Octubre-Marzo), las eficiencias de uso de agua (EUA) de los tratamientos NPS superaron en un 250% y 93% la EUA del tratamiento Testigo en Balducci y San Alfredo, respectivamente (Fig. 2).

Los rendimientos, respuestas y el análisis estadístico se presentan en la Tabla 4. Debe tenerse en cuenta que los rendimientos y las respuestas a la fertilización que se presentan, involucran el efecto directo de la fertilización de esta campaña 2010/11 más el efecto residual de las aplicaciones de años anteriores desde la implantación de los ensayos en la campaña 2000/01.

Se observaron respuestas significativas a los tratamientos de fertilización en los dos sitios. Las respuestas promedio a N, P, S y otros nutrientes fueron de 4490, 1185, 1850 y 581 kg/ha, respectivamente. En Balducci, se observó respuesta significativa a NPS y Otros (B, Cl, Cu, Mg y Zn), y en San Alfredo a NPS. Estas respuestas indican que N, P y S son deficientes en los dos sitios e interactúan entre ellos. Por otra parte, en Balducci, la deficiencia de Otros nutrientes generada por la extracción continua durante muchísimos años de agricultura, ha resultado en respuestas significativas a la fertilización. La respuesta a Otros nutrientes no ha sido frecuente en maíz en la Red de Nutrición, este es el cuarto caso sobre los 40 sitio-años evaluados desde 2000/01.

En términos relativos, las diferencias entre los tratamientos de fertilización se incrementaron respecto a años anteriores (Fig. 3). Este incremento en las respuestas relativas se dio en condiciones contrastantes, de menor rendimiento potencial en Balducci por la deficiencia hídrica y de mayor rendimiento potencial en San Alfredo, y

demuestra la caída en los rendimientos del tratamiento Testigo por la pérdida de fertilidad.

Como se observó en campañas anteriores, el número de granos por  $m^2$  fue el componente más estrechamente relacionado con el rendimiento ( $R^2=0.93$ ) (Fig. 4, Tabla 5). El rendimiento también se correlacionó significativamente con el peso de mil granos pero más débilmente ( $R^2=0.71$ ).

La concentración de  $NO_3$  en JBT y el índice de verdor al estado V5-6 y floración fueron afectados por los tratamientos de fertilización (Tabla 6). En los dos sitios, la concentración de  $NO_3$  en JBT fue superior en el tratamiento NPS que en el tratamiento PS, mostrando claramente el efecto de la fertilización nitrogenada. El índice de verdor fue afectado por la disponibilidad de N en ambas evaluaciones (V5-6 y floración).

### ***Relaciones entre las variables de suelo y planta y los rendimientos y las respuestas a la fertilización***

A continuación, se discuten algunas relaciones significativas entre las variables de suelo y planta, y las respuestas a los nutrientes. En todos los casos se evalúan las relaciones para las ocho campañas de información de maíz de la Red de Nutrición, incluyendo cuatro sitios en el 2000/01, cinco en el 2002/03, cuatro en el 2004/05 y 2006/07, y dos en el 2008/09 para M-T/S, y cuatro sitios en el 2000/01, seis en el 2003/04, cinco en el 2006/07, cuatro en el 2009/10 y dos en el 2010/11 para M-S-T/S (total de 40 sitios-año).

Se estimó una relación significativa entre la disponibilidad de N a la siembra (N-nitratos en el suelo a la siembra, 0-60 cm de profundidad, + N fertilizante) y los rendimientos (Fig. 5). Si bien la variabilidad de la relación es alta, permitiría estimar necesidades de 140-160 kg/ha de N (suelo + fertilizante) para alcanzar 10000 kg/ha de rendimiento y de 270-290 kg/ha de N para lograr 12000 kg/ha de rendimiento. Estas estimaciones indicarían que para incrementar el rendimiento de 10000 a 12000 kg/ha, es decir 2000 kg/ha, habría que aplicar unos 120 kg/ha de N, lo cual representa aplicar 60 kg de N por tonelada de grano. Este es un valor alto, considerando las necesidades de N del maíz, estaría indicando una fuerte caída en la eficiencia de uso del N y podría deberse fundamentalmente al ajuste de la curva de respuesta que tiende a un máximo (o plateau) a los 11000 kg/ha.

Si se considera una disponibilidad de N a la siembra (N-nitratos a 0-60 cm) de 100 kg/ha N, la aplicación de 50 kg de N resultaría en una respuesta de 1264 kg/ha o sea 25 kg de maíz por kg de N aplicado y la aplicación de 100 kg/ha de N en una respuesta de 2161 kg/ha o 22 kg de maíz por kg de N. Estas relaciones kg de maíz por kg de N, se pueden comparar con la relación de precios actual de 8-9 kg de maíz por kg de N.

La concentración de nitratos en jugo de base de tallos al estado de 5-6 hojas desarrolladas (V5-6) no se relacionó con el rendimiento relativo de los tratamientos PS (Rendimiento PS/Rendimiento NPS). La determinación del índice de verdor (IV), determinado con el Minolta SPAD 502, al estado de V5-6 no se relacionó con los rendimientos o las respuestas a N, pero si se encontró una relación significativa entre el IV en floración y el rendimiento de maíz (Fig. 6), aunque la misma no fue estrecha ( $R^2=0.38$ ).

Considerando los 40 sitios de las ocho campañas, el rendimiento relativo de maíz sin P (Rendimiento NS/Rendimiento NPS) se relacionó significativamente con la concentración de P Bray en el suelo a la siembra (0-20 cm) (Fig. 7). El 83% de los 30 sitios-año con P Bray menor de 15 mg/kg presentaron rendimientos relativos menores del 95%, mientras que el 80% de los 10 sitios-año con P Bray superior a 15 mg/kg presentó rendimientos relativos mayores del 95%.

El rendimiento relativo de maíz sin S (Rendimiento NP/Rendimiento NPS) se relacionó con la concentración de S-sulfatos a 0-20 cm en el muestreo de pre-siembra. La Fig. 8 muestra que el 61% de los 31 sitios-año con niveles de S-sulfatos menores de 10 mg/kg presentaron rendimientos relativos menores del 95%. El 89% de los 9 sitios-año con niveles de S-sulfatos superiores a 10 mg/kg presentó rendimientos relativos mayores del 95%. Los rendimientos de maíz no se relacionaron con la disponibilidad de S-sulfatos a la siembra (S-sulfatos 0-60 cm + S aplicado) (Fig. 9), y tampoco se observó relación de esta variable con el rendimiento relativo.

### **Conclusiones**

- Los análisis de suelos realizados en pre-siembra mostraron efectos residuales de fertilizaciones de campañas anteriores para P Bray y, en uno de los sitios, para N-nitratos. Estos efectos residuales se observaron desde los primeros años para P, y posteriormente para N-nitratos y S-sulfatos.
- Los rendimientos de maíz en la campaña 2010/11 fueron elevados debido a las adecuadas condiciones climáticas registradas en San Alfredo y la adecuada tecnología de producción en ambos sitios, permitiendo expresar el potencial de respuesta a los distintos nutrientes.
- Los dos sitios registraron respuestas significativas a N+P+S. En Balducci se observó respuesta significativa a Otros nutrientes.
- Considerando los 40 sitios de las ocho campañas de maíz evaluadas en la Red de Nutrición, se obtuvieron relaciones significativas entre el rendimiento y la disponibilidad de N en suelo a la siembra (N suelo 0-60 cm + N fertilizante). Disponibilidades de N a la siembra (suelo 0-60 cm + fertilizante) de 140-160 kg/ha permiten alcanzar rendimientos de 10000 kg/ha.
- Los sitios con niveles de P Bray menores de 15 mg/kg presentan respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de 15 mg/kg de P Bray, la probabilidad de respuesta disminuye marcadamente. La predicción de la respuesta con el análisis de P Bray en pre-siembra fue exitosa en un 82% de los sitios-año.
- El análisis de S-sulfatos a la siembra a 0-20 cm permite predecir con un 67% de éxito la respuesta a la fertilización azufrada.

### **Agradecimientos**

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

- A *Agroservicios Pampeanos (ASP)* por su continuo apoyo para la realización de esta Red.

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 CREA Sur de Santa Fe, Maíz 2010/11.

Establecimiento	Balducci	San Alfredo
CREA	Teodelina	Santa Isabel
Serie Suelo	Santa Isabel	Hughes
Labranza	SD	SD
Años agricultura	+ 60	15
Antecesor	Trigo/Soja	
Híbrido	NK 900 TD MAX	
Fecha de siembra	12/10/10	19/10/10
Densidad lograda (pl/ha)	62433	78295
Distancia entre surcos (cm)	52	52
Fecha de Cosecha	20/4/11	10/5/11
<i>Lámina de agua en el suelo</i>		
Siembra (mm) (0-100 cm)	240	343
Floración (mm) (0-100 cm)		
Madurez fisiológica (mm) (0-100 cm)		
<i>Precipitaciones</i>		
Septiembre	95	113
Octubre	68	79
Noviembre	7	16
Diciembre	40	94
Enero	95	124
Febrero	121	143
Marzo	89	61

Tabla 2. Tratamientos establecidos en los dos sitios experimentales.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	NPSMgK Micros
	Fertilizante (kg/ha)					
FMA		156		156	156	156
Urea			348	314	314	314
SulPoMag						68
Azufertil (19%)		79	79		79	
B10						10
Zn 40						5
Cu25						8
Fertilizante total (kg/ha)	0	235	427	470	549	561
	Nutrientes (kg/ha)					
N		18	160	160	160	160
P		35		35	35	35
K						12
Mg						7
S		15	15		15	17
B						1
Zn						2
Cu						2

Tabla 3. Análisis de suelo previos a la siembra del maíz, Campaña 2010/11. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Promedios de dos repeticiones.

Ensayo	Tratamiento	P	N-NO <sub>3</sub>	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>	S-SO <sub>4</sub>
		ppm	ppm	kg/ha	ppm	kg/ha
		0-20 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20 cm	0-60 cm
Balducci	PS		8	33		
	NS	7				
	NP				5	52
	NPS	38	10	52	6	52
San Alfredo	PS		15	58		
	NS	5				
	NP				6	45
	NPS	47	13	58	7	45



Tabla 4. Rendimientos de maíz para los seis tratamientos evaluados y respuestas a N, P, S, NPS y otros nutrientes en los dos ensayos. Campaña 2010/11. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Promedios de tres repeticiones.

Tratamiento	Balducci	San Alfredo	Promedio
<b>Rendimientos (kg/ha)</b>			
Testigo	2434 f	7360 d	4897
PS	3576 e	9168 c	6372
NS	7313 c	13041 b	10177
NP	6147 d	12877 b	9512
NPS	8514 b	14210 a	11362
Completo	9161 a	14725 a	11943
DMS (5%)	622	802	-
<b>Respuestas (kg/ha)</b>			
N	4939	5042	4990
P	1202	1169	1185
S	2367	1334	1850
PS	1141	1808	1475
NS	4878	5681	5280
NP	3713	5517	4615
NPS	6080	6850	6465
Otros ##	647	515	581

# Rendimientos seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

## Otros incluye K, Mg y Zn.

Tabla 5. Componentes de rendimiento de maíz (Peso mil granos y Granos por m<sup>2</sup>,) para los seis tratamientos evaluados en los dos ensayos. Campaña 2010/11. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Promedios de tres repeticiones.

Ensayo	Tratamiento	Peso mil granos (g)	Granos/m <sup>2</sup>
Balducci	Testigo	242	962
	PS	251	1427
	NS	305	2473
	NP	295	2003
	NPS	312	2755
	NPSMicro	332	2751
San Alfredo	Testigo	252 f	2922 c
	PS	261 e	3513 b
	NS	330 d	3951 a
	NP	318 c	4049 a
	NPS	343 b	4137 a
	NPSMicro	353 a	4165 a

# Valores seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

Tabla 6. Concentración de nitratos en jugo de base de tallos (NO<sub>3</sub> JBT) al estado de 5-6 hojas e índice de verdor (IV) determinado con Minolta SPAD 502, al estado de 5-6 hojas y a floración del maíz, en tratamientos seleccionados en los dos ensayos. Campaña 2010/11. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Promedios de tres repeticiones.

Ensayo	Tratamiento	NO <sub>3</sub> JBT (ppm) <sup>#</sup>	IV V5-6 <sup>#</sup>	IV Floración <sup>#</sup>
Balducci	PS	2026 b	51 c	51 c
	NS		53 b	53 b
	NP		53 b	53 b
	NPS	6033 a	54 a	55 a
San Alfredo	PS	2250 b	55 b	46 b
	NS			
	NP			
	NPS	7100 a	60 a	58 a

<sup>#</sup> Valores seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

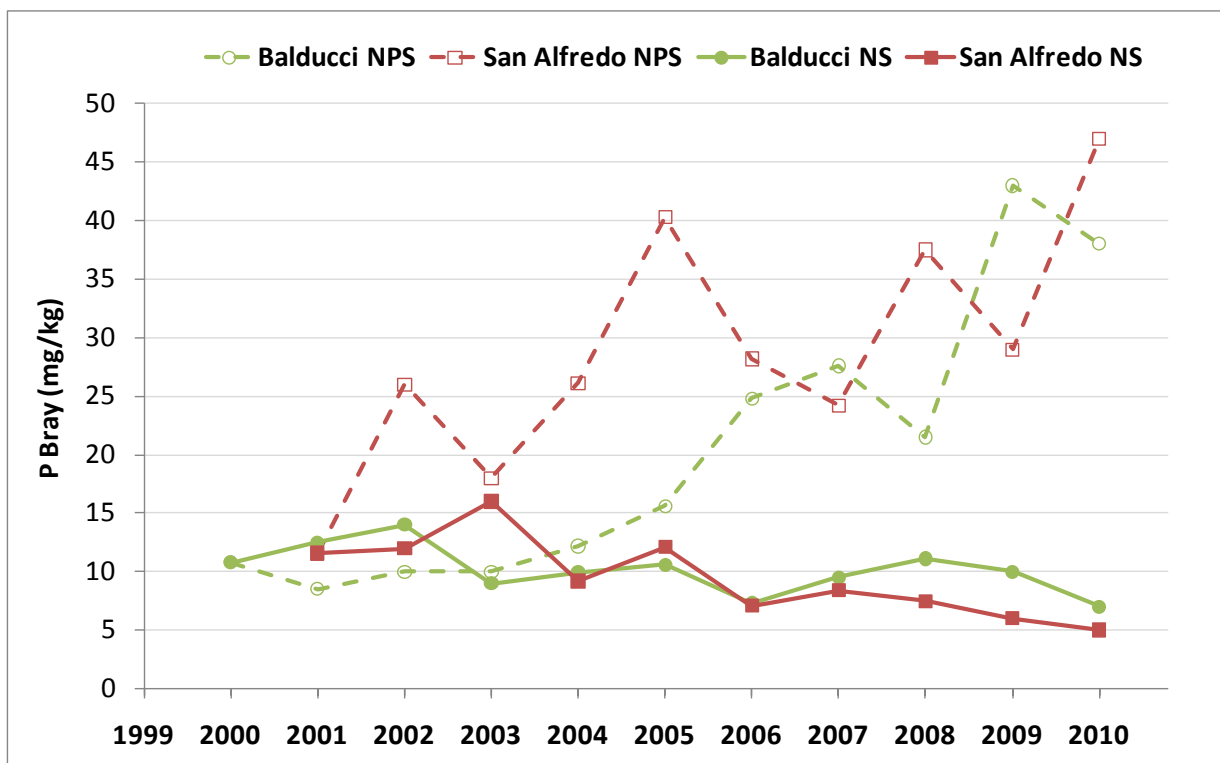


Fig. 1. Evolución de P Bray (0-20 cm) en los tratamientos NS y NPS para los dos ensayos en rotación M-T/S de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, 2000 a 2010.

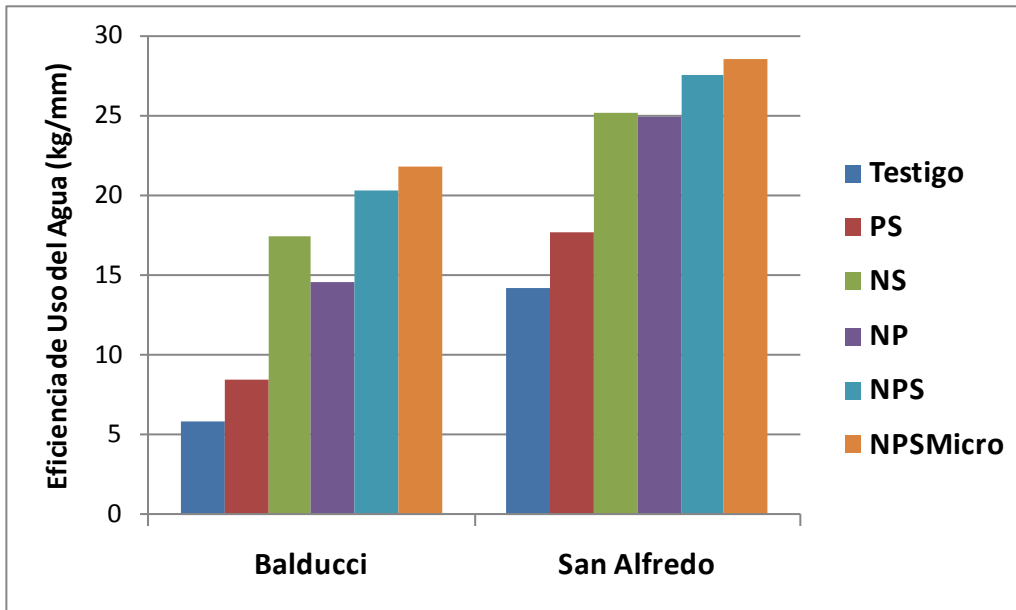


Fig. 2. Eficiencia de uso del agua, promedio para los seis tratamientos en los dos ensayos de maíz de la Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe, 2010/11.

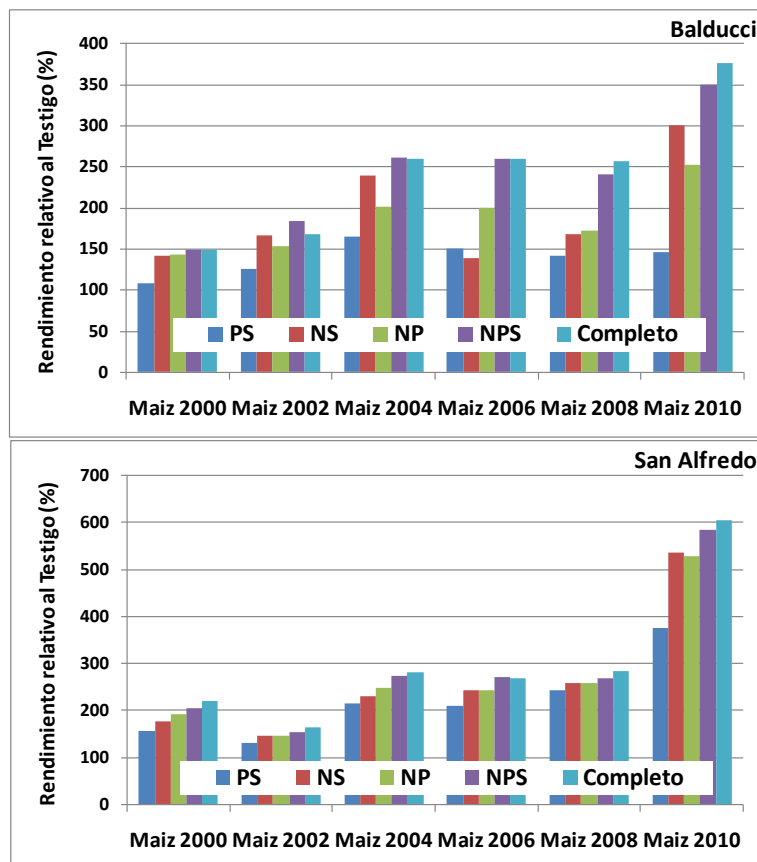


Fig. 3. Evolución de los rendimientos relativos al Testigo (en %) de los tratamientos fertilizados en maíz para los dos sitios desde la implantación de los ensayos en 2000. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe, 2000 a 2010.

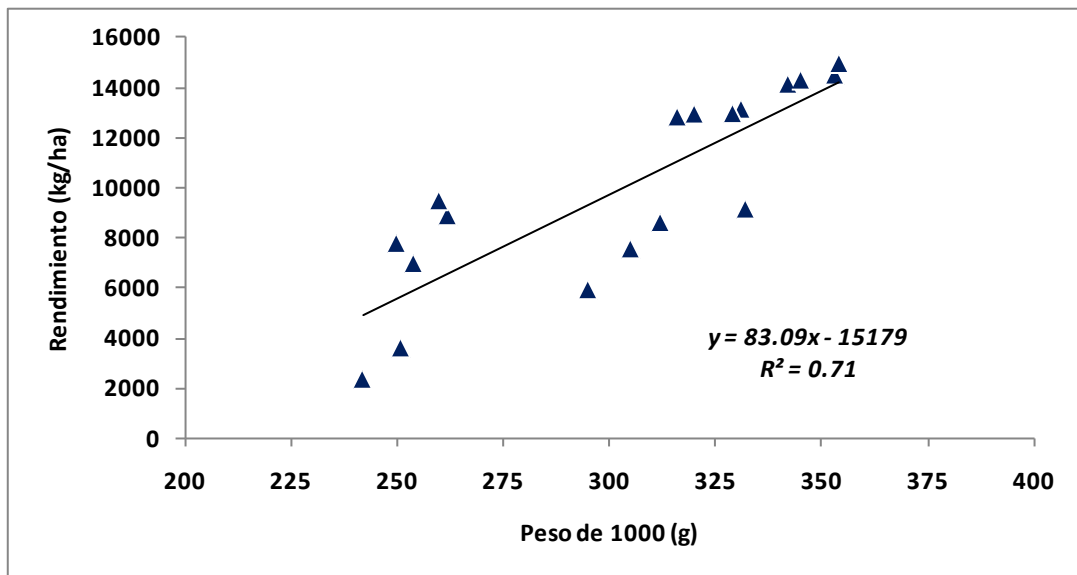
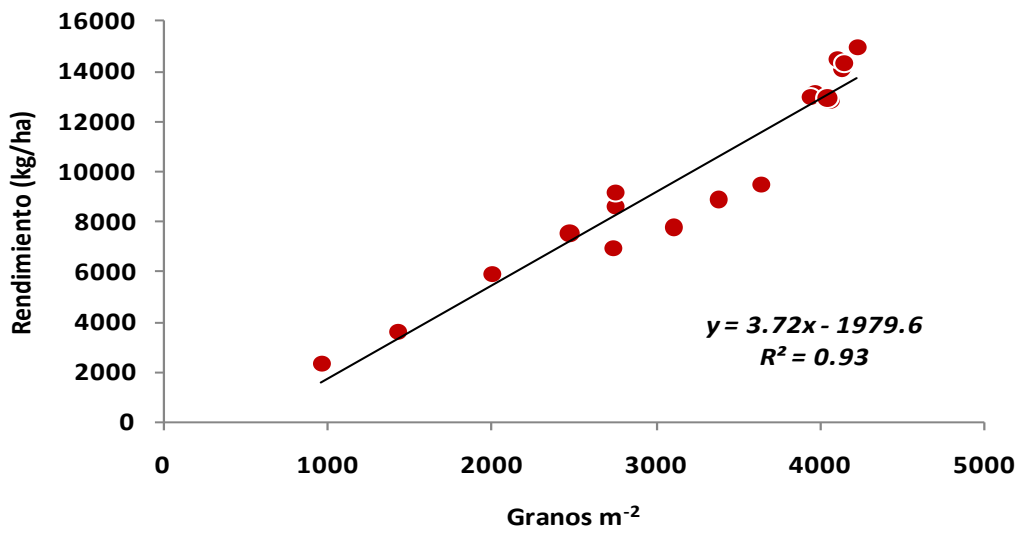


Fig. 4. Relaciones entre el rendimiento y el número de granos por m<sup>2</sup>, y el peso de mil granos. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe 2010/11.

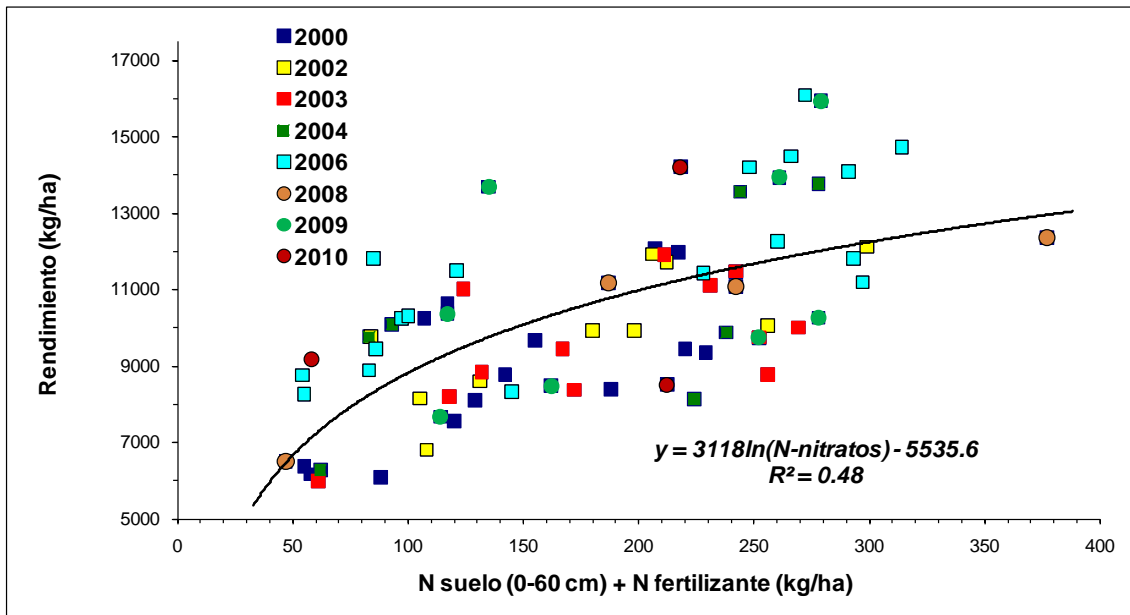


Fig. 5. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N-nitratos en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009 y 2010 (n=78).

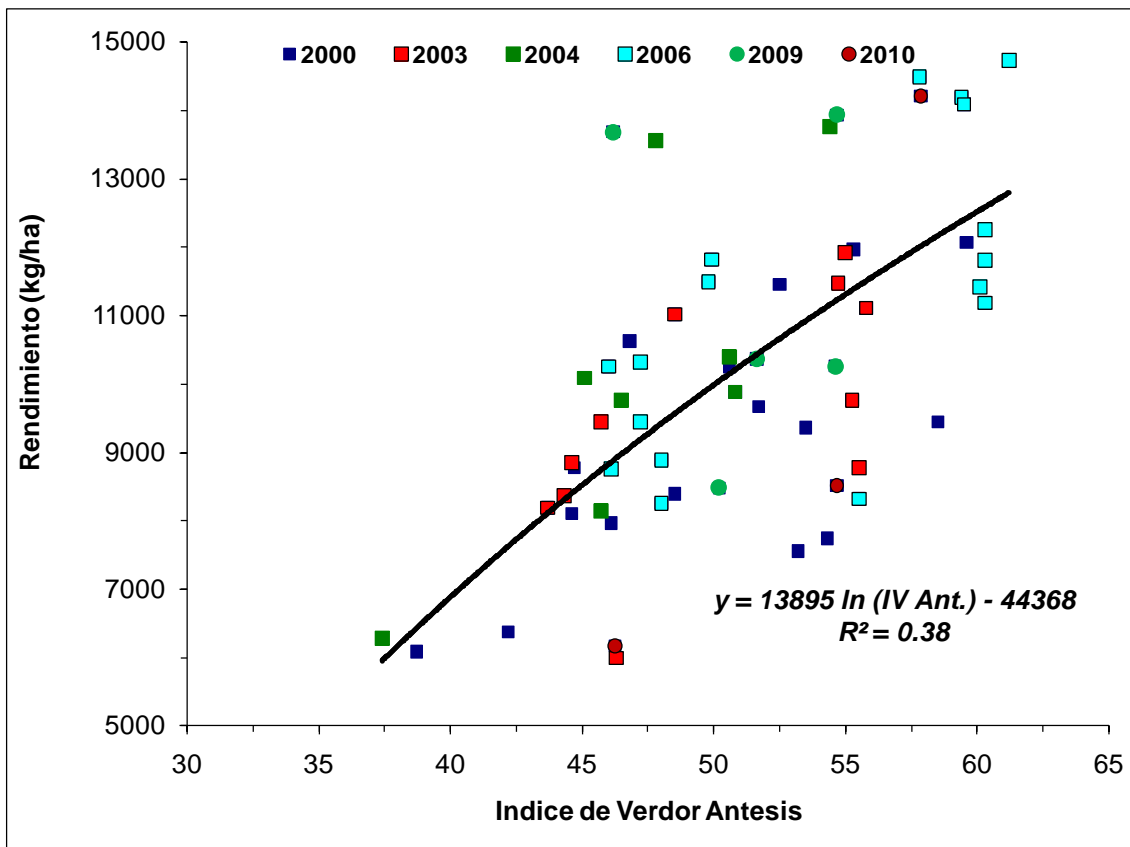


Fig. 6. Rendimiento de maíz en función del índice de verdor en antesis. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009 y 2010 (n=65).

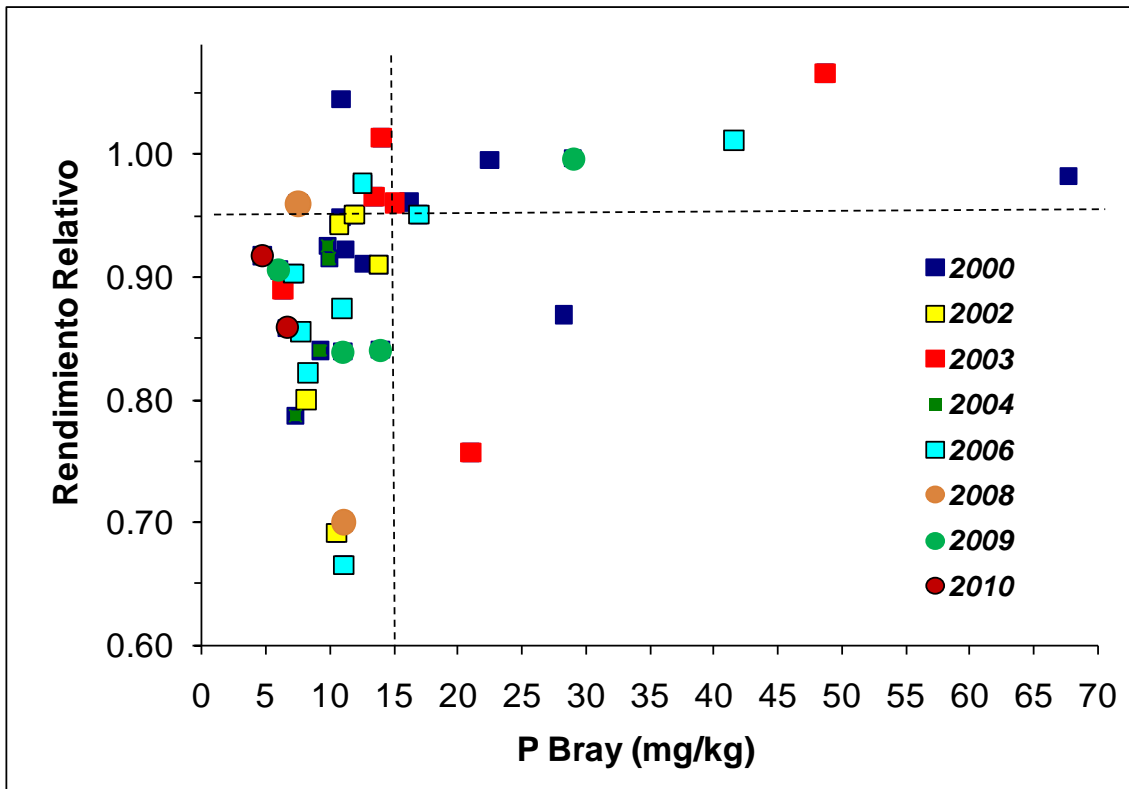


Fig. 7. Rendimiento relativo de maíz (rendimiento NS/Rendimiento NPS) en función del nivel de P Bray a 0-20 cm de profundidad a la siembra. La línea horizontal indica nivel de P Bray a 0-20 cm de profundidad a la siembra. La línea horizontal indica rendimiento relativo del 95% y la vertical la concentración de P Bray de 15 mg/kg. Ensayos Región CREA Sur de Santa Fe, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009 y 2010 (n=40).

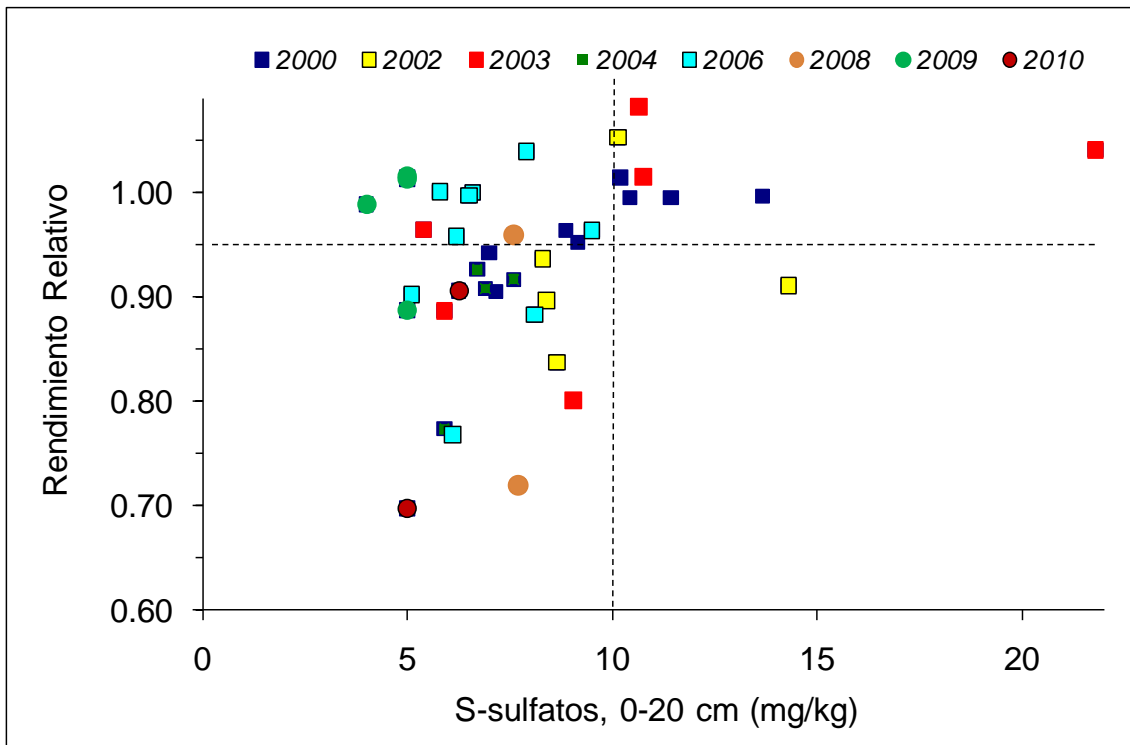


Fig. 8. Rendimiento relativo de maíz (rendimiento NP/Rendimiento NPS) en función del nivel de S-sulfatos a 0-20 cm de profundidad a la siembra. Ensayos Región CREA Sur de Santa Fe, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009 y 2010 (n=40).

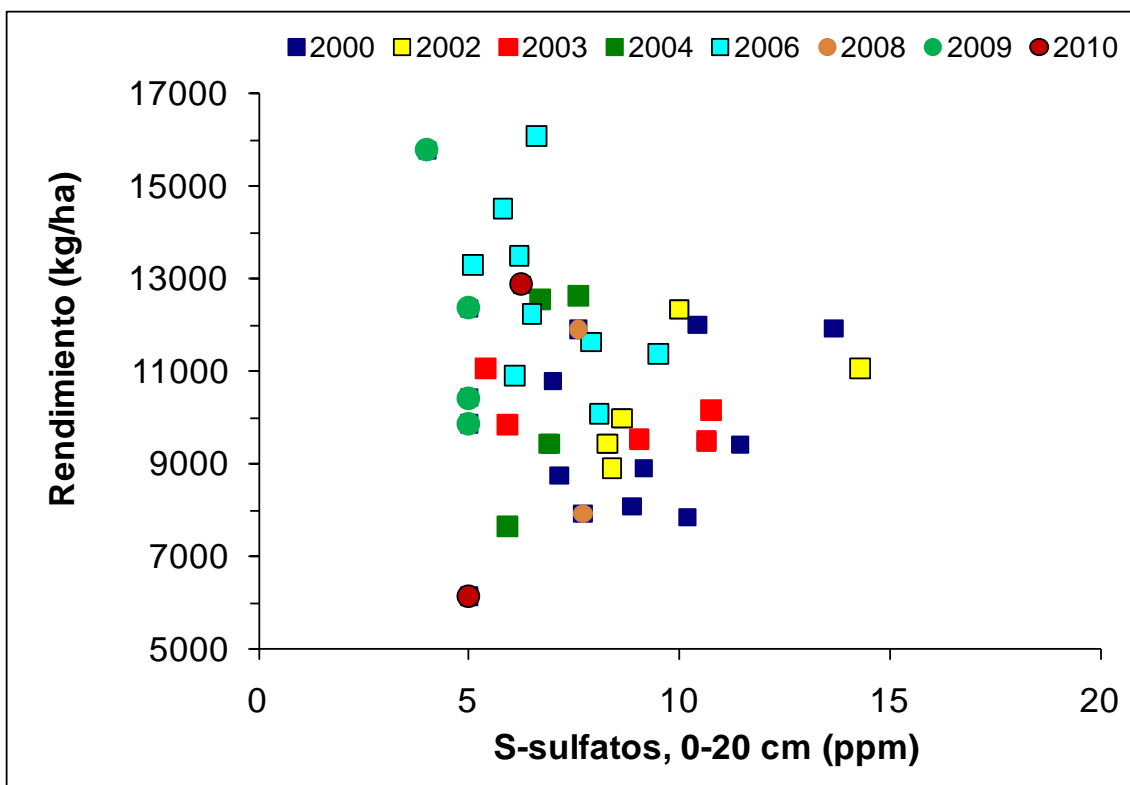


Fig. 9. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de S-sulfatos en pre-siembra (0-60 cm) + S aplicado como fertilizante. Ensayos Región CREA Sur de Santa Fe, 2000, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2009 y 2010 (n=80).