

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

Resultados de la Campaña 2014/15: Maíz

Preparado por:

*Miguel Boxler (Coordinador Ensayos), Fernando O. García (IPNI Cono Sur),
Adrián A. Correndo (IPNI Cono Sur), Santiago Gallo (Coordinador Zonal),
Ricardo Pozzi (Asesor CREA San Jorge-Las Rosas), Matías Salinas
(Agroservicios Pampeanos), Nahuel Reussi Calvo y Angel Berardo (Laboratorio
Fertilab)*

En la campaña 2014/15, 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 de la campaña 2014/15 bajo rotación maíz-trigo/soja de segunda. Los objetivos específicos para esta campaña fueron:

1. Evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada (directa y residual) y los siguientes métodos de diagnóstico: disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra, concentración de N-nitrato en jugo de base de tallos al macollaje e índice de verdor en los estadios de 5-6 hojas y floración.
2. Evaluar la respuesta a la fertilización fosfatada (directa y residual) y el análisis de suelos en capa superficial en pre-siembra como método de diagnóstico.
3. Evaluar la respuesta a la fertilización azufrada (directa y residual) y el análisis de S-sulfato en pre-siembra como método de diagnóstico.
4. Evaluar los rendimientos sin limitaciones nutricionales en cada uno de los sitios de experimentación.

5. Evaluar parámetros de suelo: $P_{\text{Bray-1}}$, N-nitrato y S-sulfato 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) y en los sitios de Internet <http://www.aacrea.org.ar> y <http://Lacs.ipni.net>.

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**). Desde 2000/01, la rotación establecida en los tres sitios es maíz - soja de primera - trigo/soja de segunda (M-T/Sj). Los seis tratamientos establecidos son similares en ambos sitios y se disponen en un diseño en bloques completos con tres repeticiones. Los mismos se repiten anualmente siempre sobre las mismas parcelas. La cantidad de nutrientes y los fertilizantes aplicados a la siembra del maíz en la campaña 2014/15 se indican en la **Tabla 2**. 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 sitios.

En pre-siembra, se muestrearon tratamientos selectos en los tres bloques para determinar: $P_{\text{Bray-1}}$, N-nitrato y S-sulfato a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm de profundidad, y N mineralizable como N-nitrato producido por incubación anaeróbica en 7 días (Nan) a 0-20 y 20-40 cm. Se tomaron veinte “piques” por muestra superficial y 10 “piques” por muestra subsuperficial.

Se determinó el contenido de agua útil del suelo, de ser posible a 0-100 cm de profundidad, a la siembra, floración (R1) y madurez fisiológica en los tratamientos PS, NS, NP y NPS.

Al estado de 5-6 hojas (V5-6) se determinó la concentración de nitrato en jugo de base de tallos (JBT) utilizando un equipo Nitracheck. El índice de verdor se determinó utilizando un Minolta SPAD 502 en los estados de V5+6 y R1.

En madurez fisiológica se determinó el número de espigas por m^2 . A cosecha se determinó el rendimiento, y el peso de mil granos. Los rendimientos reportados se han corregido al 14.5% de humedad. Con la información de peso de mil granos, se estimó el número de granos por m^2 . En los tratamientos Testigo y NPS se tomaron muestras de grano para evaluar la concentración de N, P y S.

A partir de la información de rendimientos se analizaron respuestas a la fertilización y se realizaron estimaciones de eficiencia de uso de recursos para los diferentes tratamientos. Considerando las precipitaciones registradas entre Septiembre y Febrero y la variación de almacenaje de agua del suelo entre la siembra y la madurez fisiológica, se estimaron eficiencias de uso de agua (EUA).

Como indicadores de eficiencia de uso de nutrientes se realizaron estimaciones de la productividad parcial del factor (PPF, kg de grano producido por kg de nutriente aplicado) y el balance parcial del nutriente (BPN kg de nutriente exportado por kg de nutriente aplicado).

El análisis de los datos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) y/o regresión, según corresponda, mediante el paquete estadístico Infostat v2013.

RESULTADOS

Análisis de suelos

Los resultados de los análisis de suelo previos a la siembra se muestran en la **Tabla 3** y la **Fig. 1**. Se observaron efectos residuales de fertilizaciones fosfatadas anteriores en los tres sitios sobre el nivel de $P_{\text{Bray-1}}$, principalmente en el estrato superficial (0-20 cm). También se registraron efectos residuales de la fertilización con S sobre los niveles de S-sulfato en todo el perfil analizado en ambos sitios. Asimismo, se observó residualidad de fertilización nitrogenada sobre los niveles de N-nitrato en San Alfredo.

En esta campaña (2014/15), los niveles de disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) fueron bajos, y menores a los niveles críticos para maíz en la región tanto en los tratamientos PS como en los NPS, en ambos sitios (**Tabla 3**). En San Alfredo se registró efecto residual positivo de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de N-nitrato con +20%, +21% y +24% para los estratos 0-20, 20-40 y 40-60 cm, respectivamente. Por otra parte, los niveles de Nan (como indicador del N mineralizable) fueron bajos en ambos sitios, especialmente en Balducchi (sitio más degradado) y no se observó efecto residual de la fertilización nitrogenada de las campañas previas sobre el Nan.

En el caso de $P_{\text{Bray-1}}$, en esta campaña (2014/15), los niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ de los tratamientos NS fueron menores que los considerados críticos para maíz. En ambos sitios, se registró residualidad principalmente en superficie (0-20 cm), con diferencias (NPS vs NS) de +604% y +463% en Balducchi y San Alfredo, respectivamente. En cuanto a la evolución de P en el suelo, el $P_{\text{Bray-1}}$ (0-20 cm) en el tratamiento NPS incrementó su nivel a lo largo de las 15 campañas (**Fig. 2**). Las diferencias en $P_{\text{Bray-1}}$ entre los tratamientos NPS y NS se deben tanto a los efectos residuales de las aplicaciones de P en el tratamiento NPS como a la extracción diferencial de P del perfil de suelo para ambos tratamientos. Las residualidades de este nutriente son positivas desde el punto de vista de la mejora de la fertilidad, y demuestran la posibilidad de manejar estrategias de fertilización de subir y mantener el $P_{\text{Bray-1}}$ en estos suelos. Es interesante destacar que, como es de esperar, la residualidad también se verifica a profundidades mayores. Este efecto probablemente se deba a la movilización de P por las raíces de las plantas a través de los años de ensayos.

Para S-sulfato, se registró residualidad con diferencias a favor del tratamiento con aplicación de S (NPS vs NP) de +45%, +54%, +40% y +51%, y de +46%, +35%, +53% y +23% para los estratos 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm, en Balducchi y San Alfredo, respectivamente. En ambos casos, los niveles de S-sulfato (0-20 cm) se ubicaron por debajo de los 10 mg kg⁻¹, umbral crítico mencionado en la literatura, en los tratamientos NP y NPS en ambos sitios.

Rendimientos y respuestas a la fertilización

En términos climáticos, la campaña se destacó por comenzar en todos los sitios con muy buena reserva de agua en el suelo a la siembra (**Tabla 1**). Las precipitaciones fueron abundantes y distribuidas de forma homogénea durante el cultivo (Octubre a Marzo). Esto permitió alcanzar altos rendimientos de maíz en ambos sitios. Los contenidos de agua útil en el suelo hasta 100 cm en floración y madurez fisiológica reflejan la oferta hídrica no limitante (**Fig. 3**).

En Balducchi, los mayores rendimientos se registraron con los tratamientos NPS y Completo con 12747 y 12997 kg ha⁻¹, respectivamente. En San Alfredo, el mayor rendimiento se obtuvo en el tratamiento NPS con 13355 kg ha⁻¹ (**Tabla 4, Fig. 4**). En contraste, los menores rendimientos se registraron con el tratamiento Testigo, que en el sitio Balducchi fue menor (5245 kg ha⁻¹) que en San Alfredo (9644 kg ha⁻¹), en buena parte debido al estado más degradado de la fertilidad del suelo producto de la prolongada historia agrícola previa al inicio del ensayo en este sitio.

En cuanto a la respuesta a nutrientes, en Balducchi se observaron respuestas significativas al 5% a N (4413 kg ha⁻¹) y S (1776 kg ha⁻¹), mientras que la respuesta a P (1313 kg ha⁻¹) fue significativa pero al 10%. La interacción NS fue significativa, y también se observó una tendencia de respuesta a la triple interacción NPS. En San Alfredo, se observaron respuestas significativas a N (1406 kg ha⁻¹), P (1168 kg ha⁻¹) y S (435 kg ha⁻¹), pero la respuesta a los tres nutrientes (NPS vs Testigo) superó ampliamente a las respuestas individuales y dobles combinaciones de N, P y S. En ambos sitios, las respuestas directas y residuales, en general se explican por los bajos niveles de N-nitrato, P_{Bray-1} y S-sulfato en ambos sitios. En todos los sitios,

Las eficiencias de uso de agua (EUA) variaron entre 8.9 y 22.2 kg maíz mm⁻¹, en Balducchi para los tratamientos Testigo y NS, respectivamente; mientras que en San Alfredo las EUA variaron entre 21.5 y 28.7 kg maíz mm⁻¹, para los tratamientos Testigo y NPS, respectivamente (**Fig. 5**). Esta diferencia entre sitios, se relaciona con los mayores rendimientos y menor consumo aparente de agua en San Alfredo (**Fig. 5**). En todos los sitios las eficiencias más altas se registraron en los tratamientos NPS y Completo.

El rendimiento se relacionó estrechamente con número de granos por m² (R² = 0.90) y, en menor grado, con el peso de los granos (R² = 0.72) y el número

de espigas ($R^2 = 0.45$) (**Fig. 6**). Las respuestas en rendimiento a la fertilización se explican fundamentalmente por efectos sobre el número de granos por m^2 y, dentro de los componentes de este, más probablemente por los efectos sobre el número de granos por espiga que sobre el número de espigas por m^2 (**Tabla 5**).

La **Tabla 6** muestra las concentraciones de N, P y S en grano en los tratamientos Testigo y NPS. Las concentraciones de N, P y S son superiores en el tratamiento NPS que en el Testigo en ambos sitios. Las concentraciones se ubican por debajo de los valores citados por referencias internacionales de 1.5%, 0.30% 0.14% para N, P y S, respectivamente.

Referido a la eficiencia de uso de los nutrientes (**Tabla 7**), en ambos sitios las mejores productividad parciales (PPN, PPP, y PPS) se registraron para los tratamientos NPS y Completo, lo que destaca a la nutrición balanceada. Principalmente para el caso de S, su productividad mejoró considerablemente acompañado de N+P como base, respecto de acompañado solo con N o solo con P.

Respecto de los balances parciales de nutrientes (BP), expresados como $\text{kg nutriente extraído kg}^{-1}$ nutriente aplicado, en general, muestran valores cercanos a la neutralidad para P y positivos para N y S, y son inferiores a los estimados a nivel nacional (**Tabla 7**). Para N, los BP muestran valores muy positivos, rango de 0.73 a 0.89, lo que podría estar indicando la posibilidad de bajar las dosis aplicadas, aunque los valores estimados de PPN se ubican dentro de rangos adecuados. Para P, los valores fueron cercanos a la neutralidad para los tratamientos NPS y Completo en Balducchi, y para PS, NP, NPS y Completo en San Alfredo, mientras que los balances fueron más positivos para los tratamientos PS (0.67) y NP en Balducchi (0.88). En el caso de S, los balances fueron positivos, con valores de BPS entre 0.46 a 0.74 kg de S extraído por kg de S aplicado.

La concentración de NO_3 en JBT y el IV al estado V5-6 y floración fueron afectados por los tratamientos de fertilización (**Tabla 8**). 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 IV fue afectado por la disponibilidad de N al estado V5-6 en Balducchi y en ambas evaluaciones (V5-6 y floración) en San Alfredo.

Relación entre variables de suelo y rendimientos

A continuación, se discuten algunas relaciones entre las variables de suelo y planta, y las respuestas a los nutrientes. En todos los casos se evalúan las relaciones para las 8 campañas con información de maíz de la Red de Nutrición, incluyendo ocho sitios en 2000/01, cinco sitios en 2002/03, seis sitios en 2003/04, cuatro sitios en 2004/05, nueve sitios en 2006/07, dos sitios en

2008/09, cuatro sitios en 2009/10, dos sitios en 2010/11, cinco sitios en 2012/13, y dos en 2014/15 (n=47).

Se estimó una relación significativa entre la disponibilidad de N a la siembra (N-nitrato en el suelo a la siembra, 0-60 cm de profundidad, + N fertilizante) y los rendimientos de maíz (**Fig. 7**). La función ajustada ($r^2=0.45$), permitiría estimar necesidades de 144 a 271 kg ha⁻¹ de N (suelo + fertilizante) para alcanzar rendimientos de 10000 a 12000 kg maíz ha⁻¹.

La concentración de nitrato en jugo de base de tallos en V5-6 se relacionó con los rendimientos, no obstante la misma no permitió definir modelos predictivos. La determinación del IV, determinado con el Minolta SPAD 502 en V5-6 y anthesis no se relacionó con las respuestas a N, pero si se encontró una relación significativa entre con el rendimiento de maíz (datos no mostrados), aunque la misma no fue estrecha.

Considerando los 47 casos (sitios-años) de las ocho campañas de maíz, la relación entre el rendimiento relativo (rendimiento tratamiento NS/rendimiento tratamiento NPS) y la concentración de P_{Bray-1} en la capa superficial (**Fig. 8**) indica que:

- Según el método gráfico de Cate y Nelson:
 - el 52% de los casos con P_{Bray-1} menor de 12 mg kg⁻¹ presentó rendimientos relativos < 90%;
 - el 84% de los casos con P_{Bray-1} menor de 14 mg kg⁻¹ presentó rendimientos relativos < 95%;
 - el 83% de los casos con P_{Bray-1} superior a 16 mg kg⁻¹ presentó rendimientos relativos ≥ 90%.
 - el 83% de los casos con P_{Bray-1} superior a 16 mg kg⁻¹ presentó rendimientos relativos ≥ 95%.
- Según el método estadístico de Cate y Nelson:
 - se requiere un nivel de 11.2 mg kg⁻¹ de P_{Bray-1} para lograr el 95% del rendimiento relativo.
- Ajustando una función matemática de respuesta con la restricción de que tienda a un máximo = 1 (100 % de rendimiento relativo):
 - Se requieren niveles entre 12.8 y 24.1 mg kg⁻¹ de P_{Bray-1} para lograr entre 90 y 95% del rendimiento relativo, respectivamente.

En el caso de S, se observó asociación entre el rendimiento relativo de maíz (NS:NPS) con la concentración de S-sulfato a 0-20 cm (**Fig. 9**). En un 63% de los casos debajo de 10 mg kg⁻¹, el rendimiento relativo (NP:NPS) fue <95%; mientras que en el 89% de los casos superior a 10 mg kg⁻¹, el rendimiento

relativo fue $\geq 95\%$. Sin embargo, se destaca que en general, los niveles de S-sulfato en superficie (0-20 cm) a la siembra son muy bajos, menores de 10 mg kg^{-1} , por lo que no se puede manejar un rango adecuado para explorar este tipo de relaciones. Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar metodologías alternativas basada en el análisis de planta o grano con el fin de poder diagnosticar la deficiencia de S en el cultivo de maíz.

CONCLUSIONES

1. Los análisis de suelos realizados en pre-siembra mostraron efectos residuales significativos de fertilizaciones de campañas anteriores para $P_{\text{Bray-1}}$, principalmente en el estrato 0-20 cm, mientras que para S-sulfato se observaron efectos residuales positivos de la fertilización con S en todo el estrato analizado (hasta 100 cm). En el caso de N-nitrato, no se detectaron efectos residuales por fertilización.
2. Luego de quince campañas en la rotación M-T/Sj (18 cultivos previos), los niveles de rendimiento de maíz de los tratamientos Testigo muestran el agotamiento de las reservas de N, P y S de estos suelos, con disminuciones de hasta -28% a -59% en los rendimientos del tratamiento testigo respecto del NPS.
3. En ambos sitios, la buena disponibilidad de agua a la siembra y las distribución de precipitaciones no fueron limitantes para el cultivo, lo que permitió alcanzar altos rendimientos de maíz en los tratamientos mejor fertilizados.
4. Se observaron respuestas significativas a N y S en Balducchi; y a N, P y S en San Alfredo. En ningún caso se observó respuesta a otros nutrientes complementarios.
5. La eficiencia de uso de agua (EUA) se incrementó cuando se eliminaron las deficiencias de N, P y/o S, registrando desde $8.9 \text{ kg maíz mm}^{-1}$ para el Testigo a $28.7 \text{ kg maíz mm}^{-1}$ para el tratamiento NPS.
6. Se obtuvieron relaciones significativas entre el rendimiento y la disponibilidad de N en suelo a la siembra (N suelo + N fertilizante). Según la función ajustada, disponibilidades de N a la siembra (suelo + fertilizante) de entre 144 a 271 kg ha^{-1} permitirían alcanzar rendimientos de 10000 a 12000 kg ha^{-1} , respectivamente.
7. Los casos con niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ menores de 12 mg kg^{-1} presentan respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de 16 mg kg^{-1} la probabilidad y magnitud de respuesta disminuye considerablemente.
8. El rendimiento relativo de maíz se relacionó con la disponibilidad de S-sulfato a la siembra, en los primeros 20 cm de profundidad.

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.

Referencia

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 2000-2009. AACREA. 64 pp. ISBN 978-987-1513-07-9.

Tabla 1. Información de manejo y de sitio, lámina de agua en el suelo a la siembra y precipitaciones durante el ciclo del cultivo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15. *cc=capacidad de campo.

Establecimiento	Balducci	San Alfredo
CREA	Teodelina	Santa Isabel
Serie Suelo	Santa Isabel	Hughes
Labranza	SD	SD
Años agricultura	60	15
Antecesor	Trigo/Soja	Trigo/Soja
Híbrido	Monsanto DK 692 VT3 Pro	
Fecha de siembra	25/09/2014	21/10/2014
Densidad lograda (pl/ha)	64000	78000
Distancia entre surcos (cm)	52	52
Fecha de Cosecha	11/03/2015	14/05/2015
Lámina de agua útil (mm, 0-100 cm)		
Siembra	97	141 (cc)
Floración	115	141 (cc)
Madurez Fisiológica	113	141 (cc)
Precipitaciones		
Septiembre	8	-
Octubre	101	21
Noviembre	177	154
Diciembre	95	109
Enero	154	134
Febrero	61	41
<i>Ciclo</i>	596	459

Tabla 2. Tratamientos de fertilización establecidos en los sitios bajo rotación M-T/Sj. Región CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
Fertilizante (kg ha⁻¹)						
FMA		156		156	156	156
Urea			326	287	287	287
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⁻¹)						
N		18	150	150	150	150
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 previo a la siembra del maíz en los sitios bajo rotación M-T/Sj. Región CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15.

Ensayo	Tratamiento	P _{Bray-1}	N-NO ₃	S-SO ₄	S-SO ₄	Nan
		ppm	kg ha ⁻¹	ppm	kg ha ⁻¹	ppm
		0-20 cm	0-60 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20/20-40 cm
Balducchi	PS	-	46	-	-	19/9
	NS	6	-	-	-	-
	NP	-	-	4.7	11	-
	NPS	43	47	6.8	15	16/9
San Alfredo	PS	-	72	-	-	38/20
	NS	7	-	-	-	-
	NP	-	-	4.6	34	-
	NPS	41	87	6.7	50	35/18

Tabla 4. Rendimientos de maíz para los seis tratamientos evaluados y respuestas a diferentes combinaciones de N, P, S y otros nutrientes en los dos ensayos con rotación M-T/Sj. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15. [#]Rendimientos seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%. ^{##}Otros incluye K, Mg y Zn.

Ensayo	Balducchi	San Alfredo	Promedio
Rendimiento (kg maíz ha⁻¹)			
Testigo	5245 d	9644 d	7444
PS	8334 c	11949 c	10141
NS	11434 ab	12186 c	11810
NP	10971 b	12920 b	11946
NPS	12747 a	13355 a	13051
Completo	12997 a	12948 b	12972
DMS	1681	389	-
Respuesta (kg maíz ha⁻¹)			
N	4413	1406	2910
P	1313	1168	1241
S	1776	435	1105
PS	3089	2305	2697
NS	6189	2542	4366
NP	5727	3276	4501
NPS	7502	3711	5607
Otros	250	-407	-78

Tabla 5. Componentes de rendimiento de maíz (Peso mil granos, Granos por m² y Espigas por m²) para los seis tratamientos evaluados en los dos ensayos. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15. [#] Valores seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

Ensayo	Tratamiento	Peso mil granos (g)	Granos m ⁻²	Espigas m ⁻²
Balducchi	Testigo	261 e	1962 b	6.01 d
	PS	269 d	3188 a	6.83 c
	NS	328 a	3579 a	8.85 b
	NP	299 c	3545 a	8.70 b
	NPS	313 b	4041 a	11,73 a
	Completo	314 b	4064 a	11.65 a
	DMS	5.0	981	0.64
San Alfredo	Testigo	313 d	3081 d	7.63
	PS	314 c	3805 a	7.95
	NS	335 b	3638 c	7.76
	NP	343 b	3767 ab	7.90
	NPS	351 a	3805 a	8.15
	Completo	351 a	3689 bc	8.15
	DMS	3.0	86	-

Tabla 6. Concentraciones de N, P y S en grano de maíz de los tratamientos Testigo y NPS en los dos ensayos con rotación M-T/Sj. Promedios de dos repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15.

Ensayo	Tratamiento	N Total(%)	P Total(%)	S Total(%)
Balducchi	Testigo	0.8	0.27	0.07
	NPS	1.2	0.30	0.10
San Alfredo	Testigo	0.9	0.25	0.08
	NPS	1.1	0.30	0.08

Tabla 7. Estimaciones de indicadores de eficiencia de uso de nutrientes (N, P y S) para los tratamientos de fertilización en los dos sitios. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15. # Para la estimación del balance de nutrientes se consideraron concentraciones de N, P y S en grano de 1.00%, 0.28%, y 0.08%, respectivamente.

Ensayo	Tratamiento	Productividad parcial del factor (PPF)			Balance parcial de nutrientes (BP) #		
		N	P	S	N	P	S
		kg maíz kg nutriente aplicado ⁻¹			kg extraído kg aplicado ⁻¹		
Balducchi	PS	-	238	556	-	0.67	0.46
	NS	76	-	762	0.76	-	0.63
	NP	73	313	-	0.73	0.88	-
	NPS	85	364	850	0.85	1.02	0.71
	Completo	87	371	866	0.87	1.04	0.72
San Alfredo	PS	-	341	797	-	0.96	0.66
	NS	81	-	812	0.81	-	0.67
	NP	86	369	-	0.86	1.03	-
	NPS	89	382	890	0.89	1.07	0.74
	Completo	86	370	863	0.86	1.04	0.72

Tabla 8. Valores de nitrato en jugo base de tallos (V5-6), e índice de verdor (SPAD de última hoja expandida en V5-6 y SPAD de hoja de abajo de la espiga en R1). Rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15. # Valores seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

Ensayo	Tratamiento	Nitrato JBT (ppm)	Índice de verdor	
			V5-6	Floración
Balducchi	PS	2210 b	45 b	46
	NS	-	46 b	47
	NP	-	50 a	51
	NPS	5280 a	51 a	54
	DMS	3176	2.4	ns
San Alfredo	PS	1970 b	46 c	45 b
	NS	-	54 b	51 ab
	NP	-	61 a	58 a
	NPS	5215 a	61 a	57 a
	DMS	1208	2.1	8.6

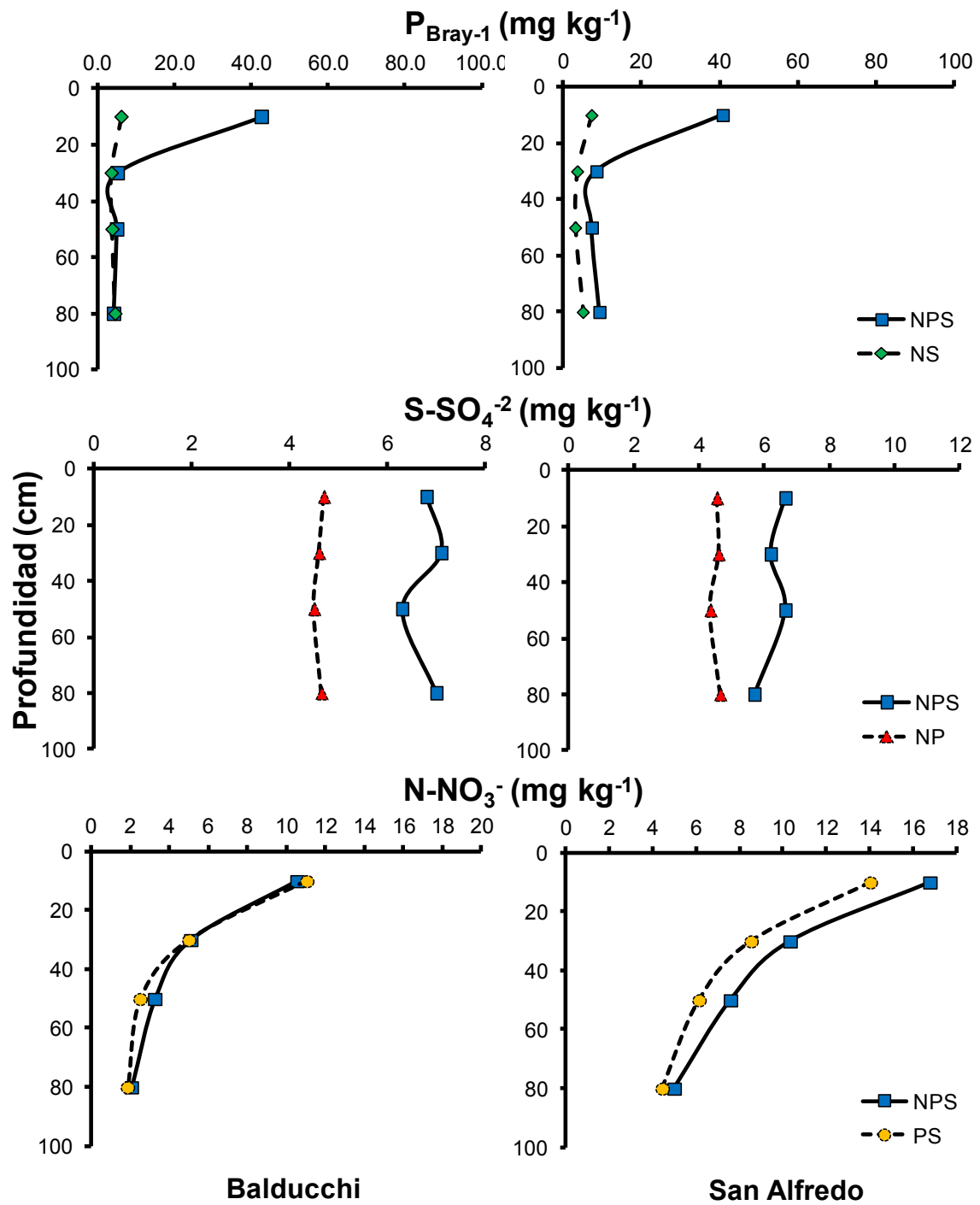


Fig. 1. Distribución de la concentración de P_{Bray-1}, S-SO₄⁻², N-NO₃⁻, hasta 100 cm de profundidad en pre-siembra para tratamientos selectos en los sitios bajo rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15.

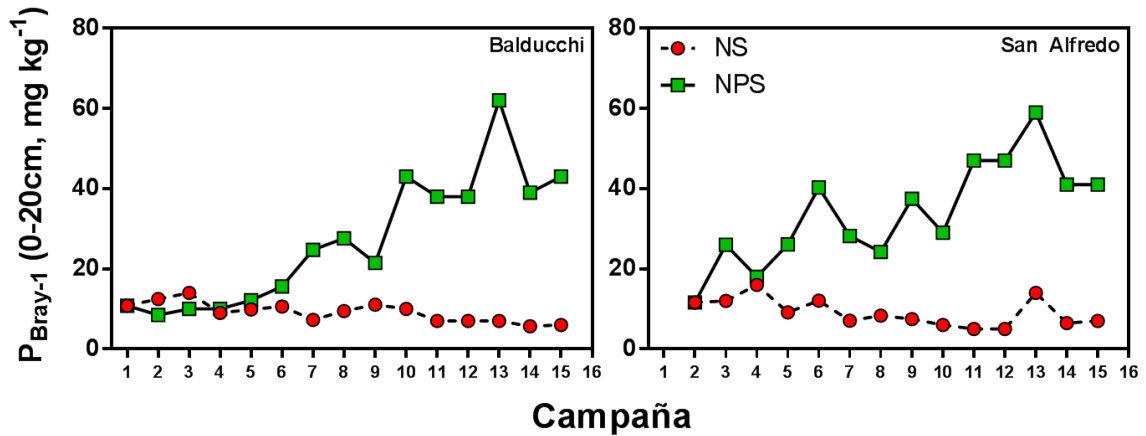


Fig. 2. Evolución de P Bray (0-20 cm), desde el establecimiento de los ensayos bajo rotación M-T/S, en los tratamientos sin fósforo (NS) y con fósforo (NPS). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (200/01) a 15 (2014/15).

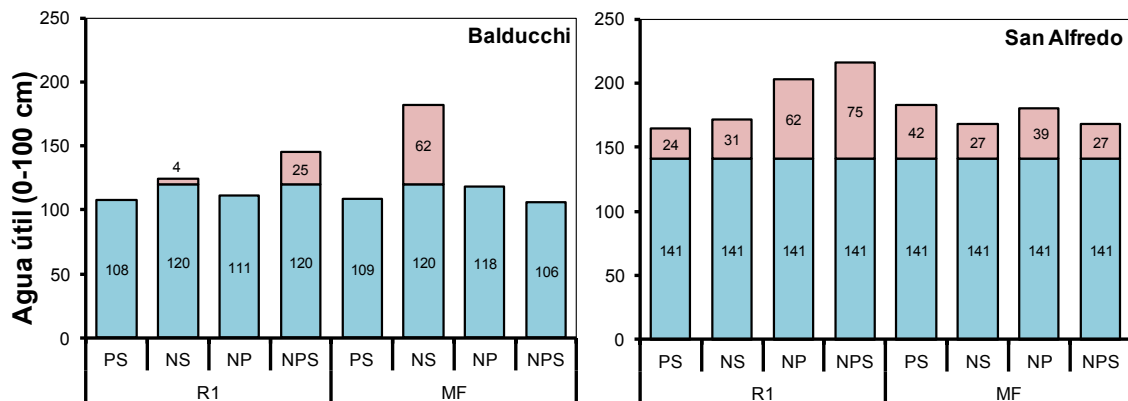


Fig. 3. Lámina de agua útil (AU, mm), hasta el metro de profundidad (celeste) en R1 y madurez fisiológica para los tratamientos PS, NS, NP y NPS, en los ensayos bajo rotación M-T/Sj. Las barras rojas indican lámina por encima de capacidad de campo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15.

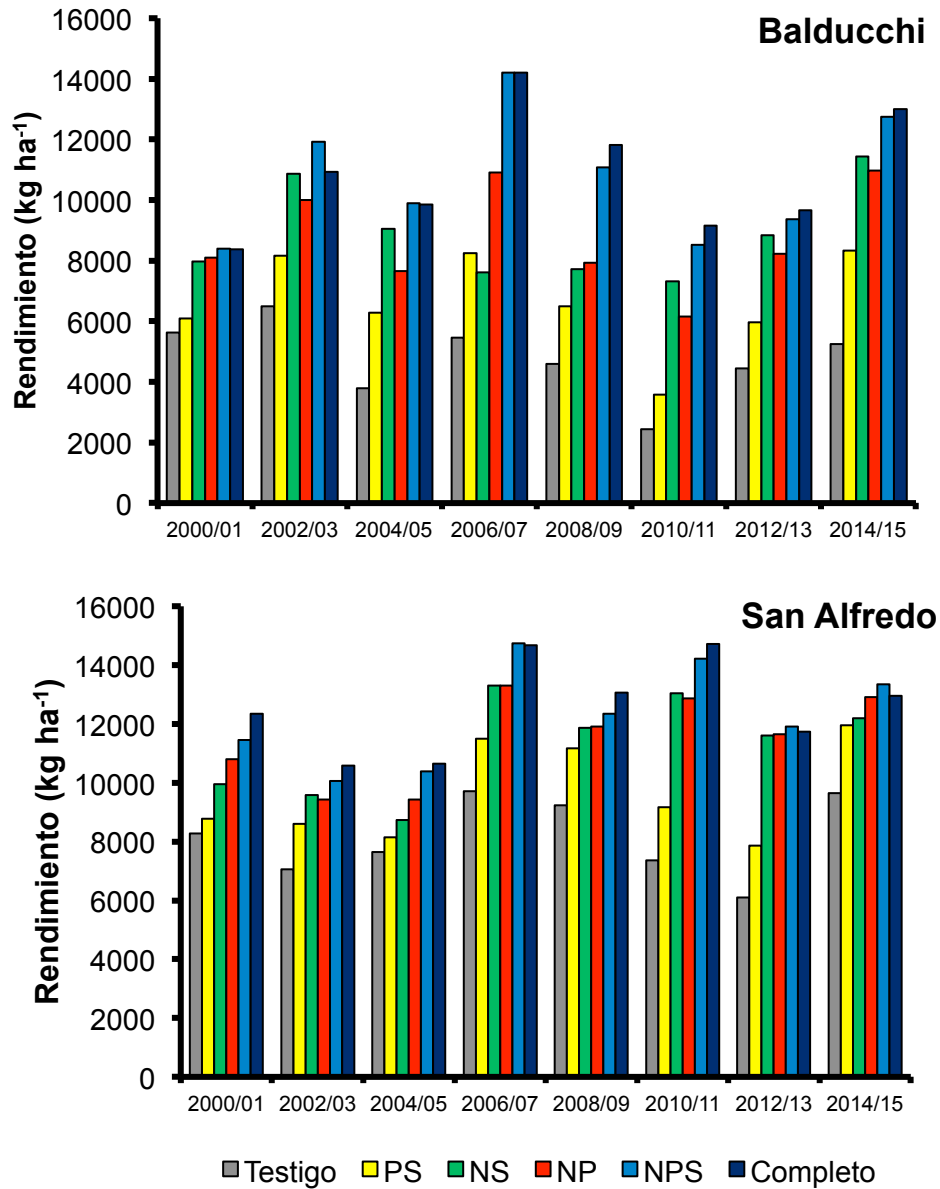


Fig. 4. Evolución de los rendimientos promedio de maíz para los seis tratamientos en los sitios bajo rotación M-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campañas 2000/01 a 2014/15.

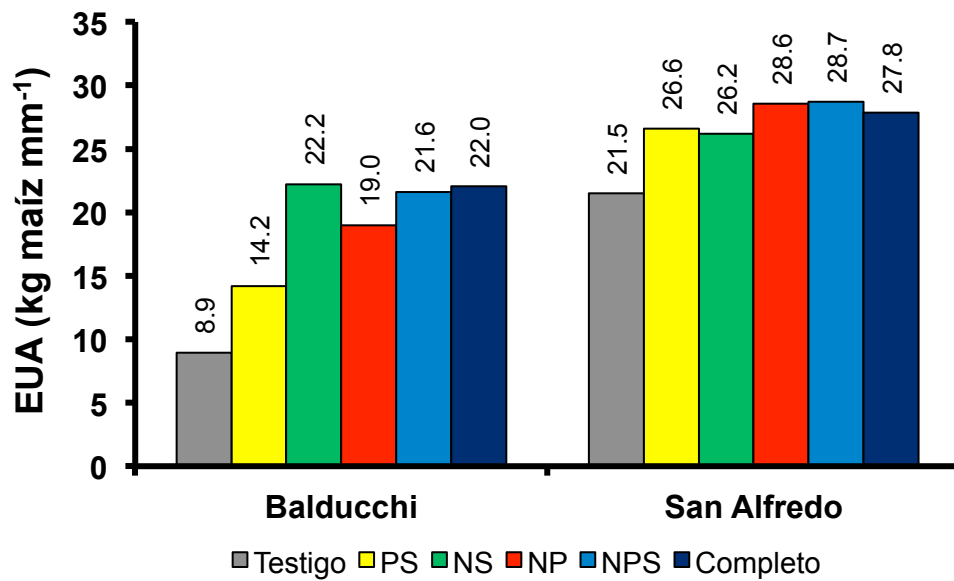


Fig. 5. Eficiencia de uso del agua (EUA) en maíz, calculada como cociente entre el rendimiento y la suma de las precipitaciones durante el ciclo más la diferencia de almacenaje de agua en el suelo entre la siembra y madurez fisiológica, para los sitios bajo rotación M-Sj-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15.

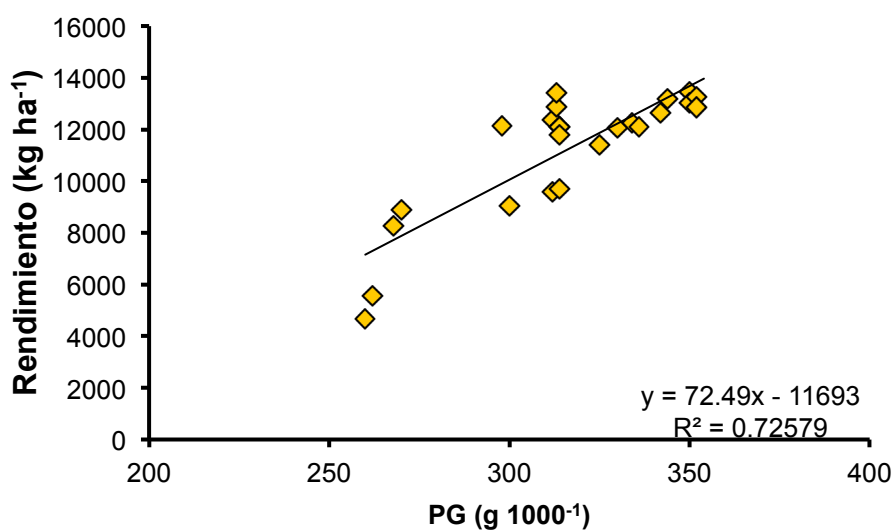
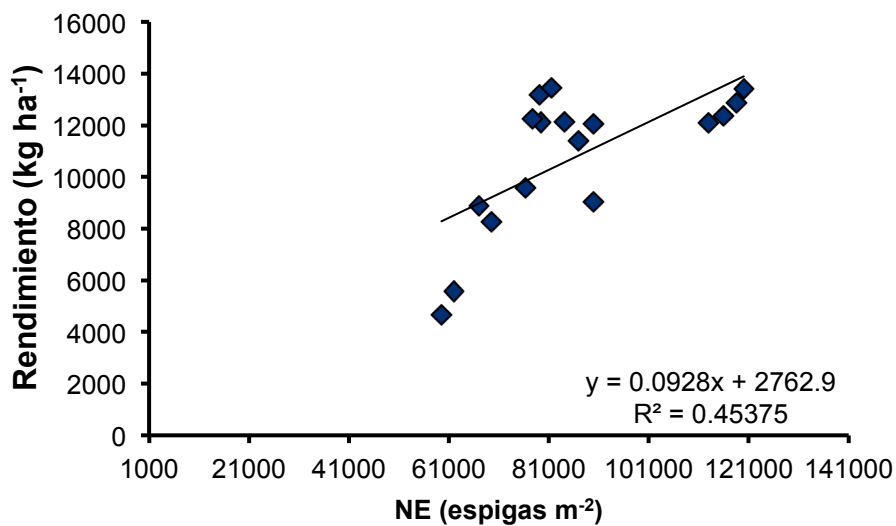
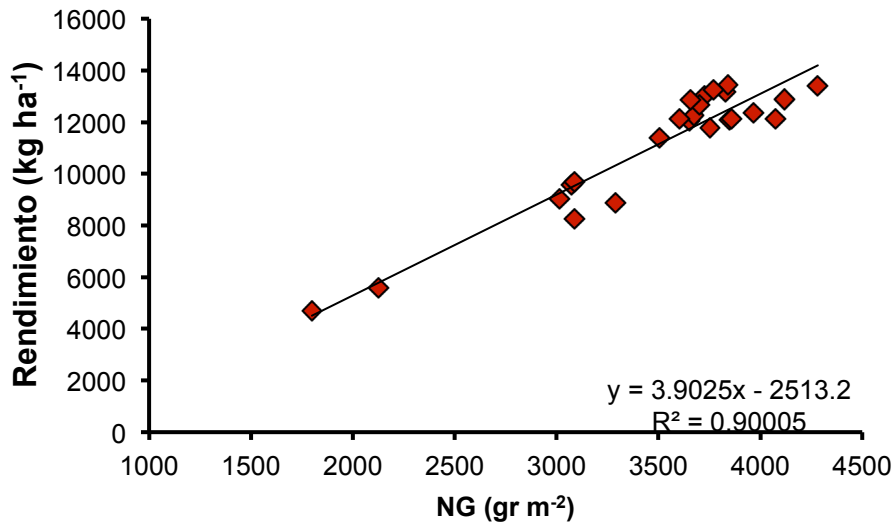


Fig. 6. Relaciones entre el rendimiento de maíz y: el número de granos por m² (arriba), el número de espigas por m² (medio) y el peso de mil granos (abajo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2014/15.

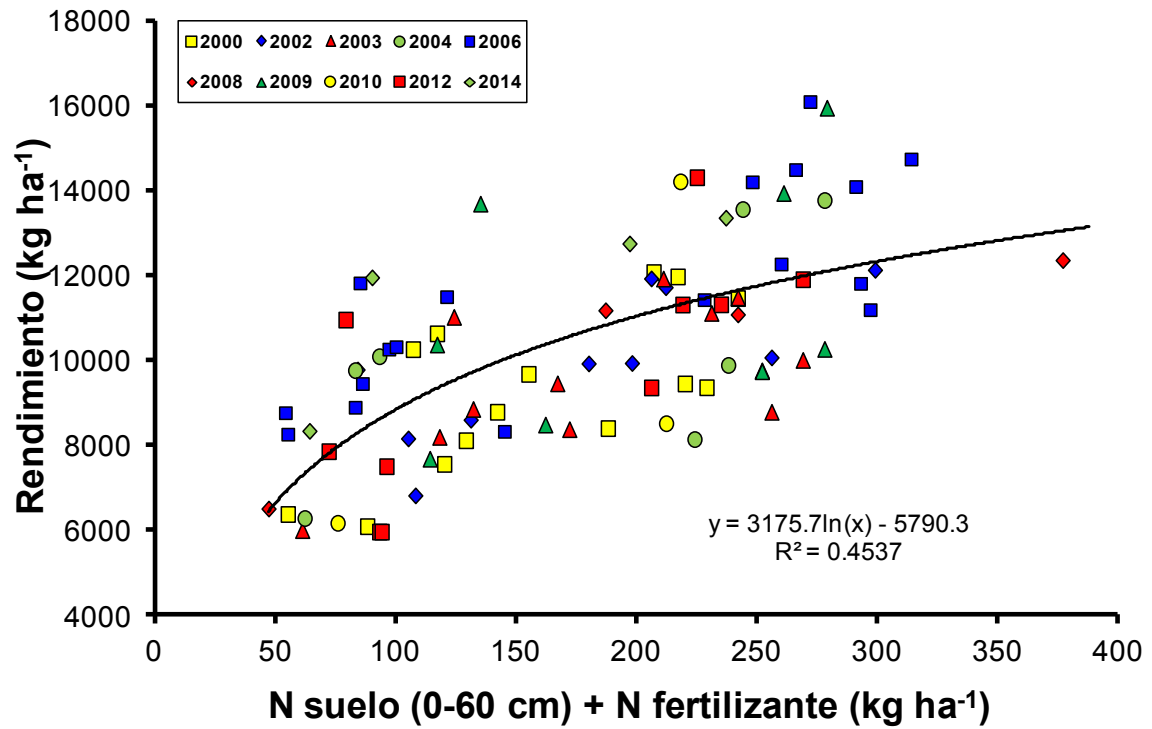


Fig. 7. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante. n=92. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe, 2000/01, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2012/13 y 2014/15.

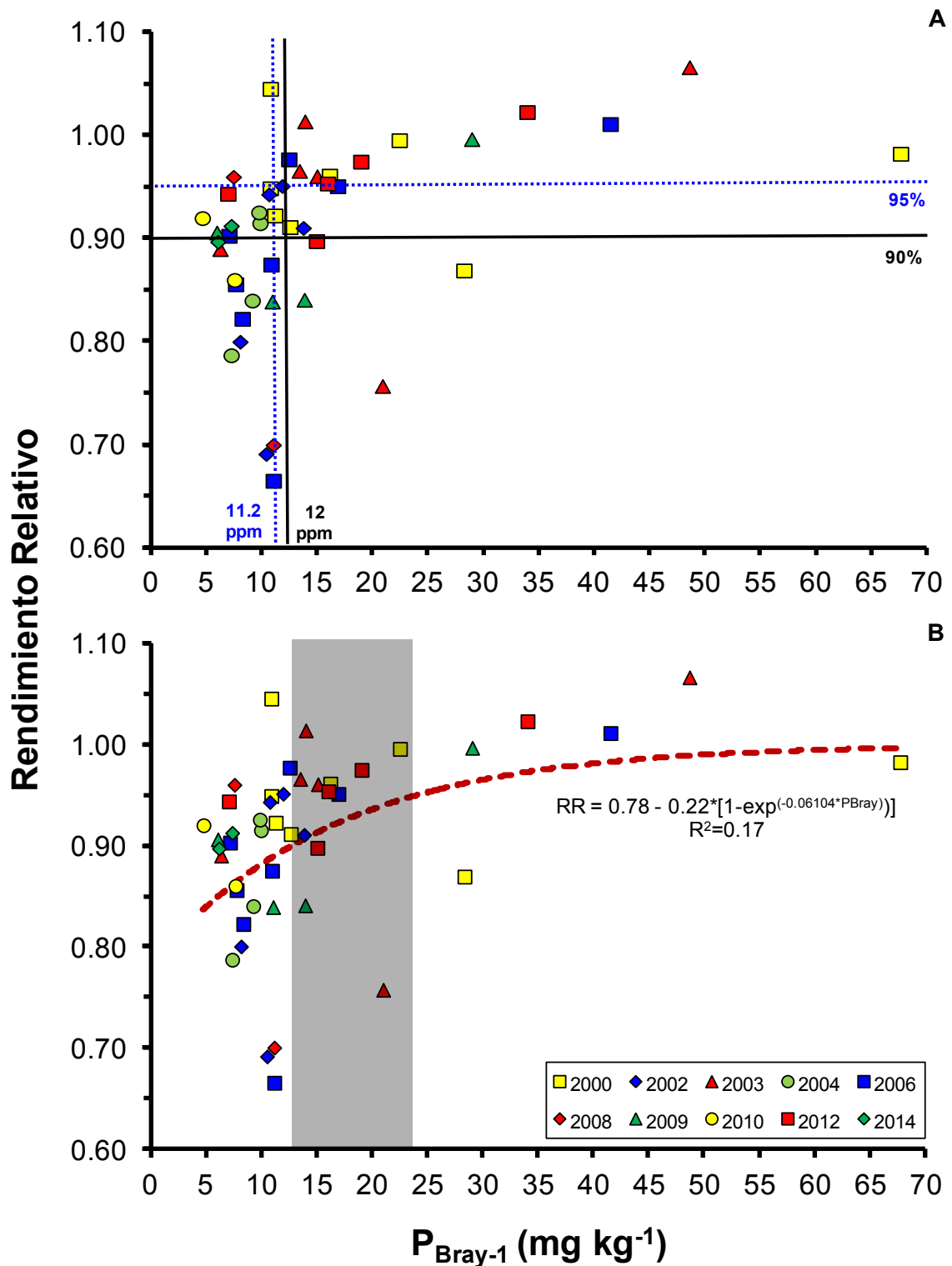


Fig. 8. Rendimiento relativo (RR) de maíz (NS:NPS) en función del nivel de P_{Bray-1} (0-20 cm) a la siembra. n=47. En A, Las líneas llenas indican un nivel crítico de 12 mg kg^{-1} de P_{Bray-1} para obtener 90% del rendimiento relativo, según el método gráfico de Cate & Nelson; las líneas punteadas un nivel crítico de 11.2 mg kg^{-1} de P_{Bray-1} para obtener 95% del rendimiento relativo, según el método estadístico de Cate & Nelson. En B, la franja gris vertical indica niveles de 12.8 y 24.1 mg kg^{-1} de P_{Bray-1} , para alcanzar entre 90 y 95% del rendimiento relativo, según la función de respuesta ajustada (curva punteada roja). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe, 2000/01, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2012/13 y 2014/15.

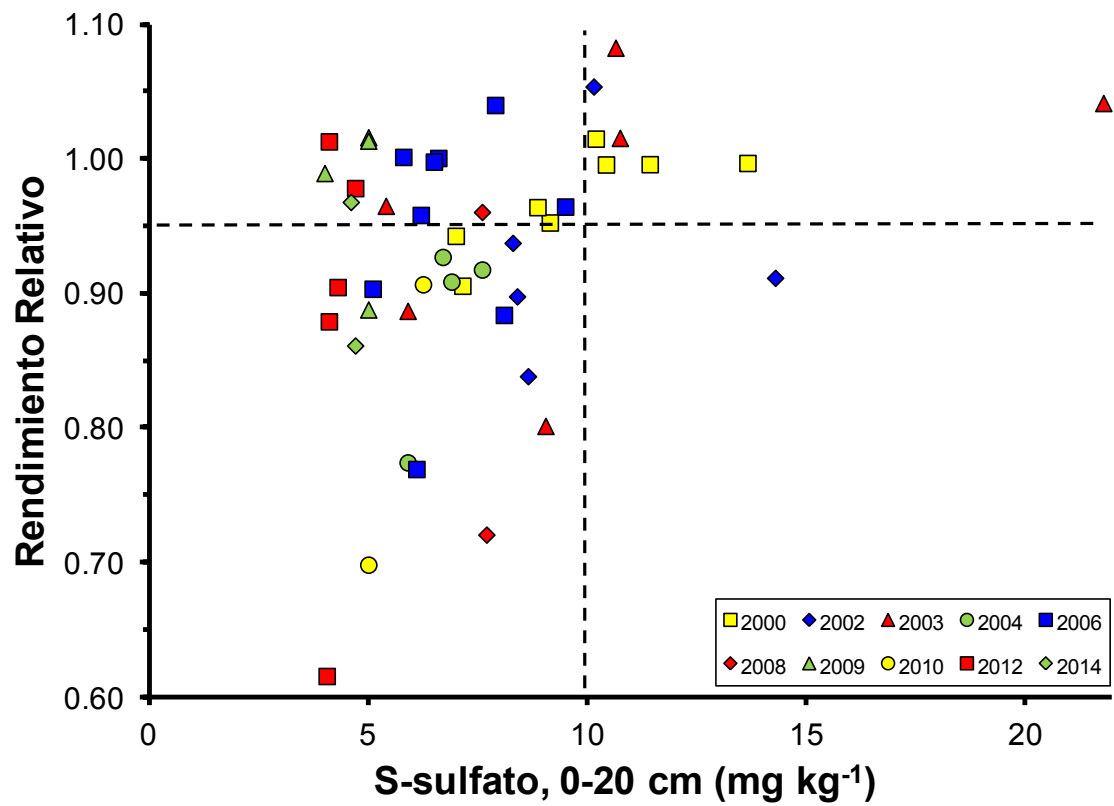


Fig. 9. Rendimiento relativo (RR) de maíz (NP:NPS) en función del nivel de $S-SO_4^{2-}$ (0-20 cm) a la siembra. $n=47$. Las líneas punteadas indican un nivel crítico de 10 mg kg^{-1} de $S-SO_4^{2-}$ para obtener 90% del rendimiento relativo según el método gráfico de Cate & Nelson. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe, 2000/01, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2012/13 y 2014/15.