

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

Resultados de la Campaña 2016/17: Maíz

Preparado por:

Adrián A. Correndo (IPNI Cono Sur), Franco Permingeat (CREA Teodelina), Paula Gelso (CREA Sur de Santa Fe), Santiago Gallo (CREA Sur de Santa Fe), Ricardo Pozzi (CREA San Jorge-Las Rosas), Matías Salinas (Agroservicios Pampeanos), Nahuel Reussi Calvo y Angel Berardo (Laboratorio Fertilab) y Fernando O. García (IPNI Cono Sur)

En la campaña 2016/17, 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 durante la campaña 2016/17 bajo rotación maíz - trigo/soja de segunda (Mz-Tr/Sj). 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.
2. Evaluar la respuesta a la fertilización fosfatada (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: el nivel de $P_{\text{Bray-1}}$, 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 (**Tabla 1**). Desde 2000/01, la rotación establecida en ambos sitios es Mz-Tr/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 2016/17 se indican en la **Tabla 2**. Cabe destacar, que debido a los altos niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ alcanzados en los tratamientos con P, a partir de esta campaña se decidió suspender la aplicación de P en los tratamientos correspondientes, se volverá a aplicar P en dichos tratamientos cuando el nivel de $P_{\text{Bray-1}}$ alcance valores inferiores a 30 mg kg⁻¹. 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 sub-superficial. Se determinó el contenido de agua útil del suelo, de ser posible a 0-100 cm de profundidad, a la siembra, en los tratamientos PS, NS, NP y NPS.

En madurez fisiológica se determinó el número de espigas por m². A cosecha se determinó el rendimiento y el peso de mil granos (PG). Con la información de peso de mil granos, se estimó el número de granos por m² (NG). Los rendimientos reportados se han corregido al 14.5% de humedad. En Balducchi, no se realizó análisis de varianza dado que contó con una sola repetición completa por inconvenientes de anegamiento. En el sitio San Alfredo, el tratamiento completo no se consideró para el análisis de datos por contar con una sola repetición debido a problemas de vuelco.

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 durante el ciclo del cultivo (Septiembre-Febrero) se estimó la productividad del agua (PA) como el cociente entre el rendimiento de los tratamientos y las precipitaciones registradas entre durante el ciclo de los cultivos. 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 de nutrientes (BPN kg de nutriente exportado por kg de nutriente aplicado). Estas estimaciones solo se realizaron para N y S, dado que en la presente campaña no se aplicó P.

El análisis de los datos se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA) y/o regresión, según corresponda, mediante diferentes paquetes estadísticos del software R (R Core Team, 2016). Los niveles críticos de nutrientes se estimaron mediante el método lineal-plateau y el del arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2017) utilizando

Microsoft Excel 2016®. Las figuras fueron realizadas con el software GraphPad Prism (GraphPad Software Inc., 2016) y Microsoft Excel 2016®.

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**. En el caso de N, se observaron efectos residuales positivos de la fertilización nitrogenada sobre los niveles de N-nitrato en todos los estratos (0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm) en ambos ensayos. Referido a P, se observaron efectos residuales de fertilizaciones fosfatadas anteriores en ambos sitios sobre el nivel de $P_{\text{Bray-1}}$, principalmente en el estrato superficial (0-20 cm). Por último, no se registraron efectos residuales de la fertilización con S sobre los niveles de S-sulfato en ninguno de los sitios.

En esta campaña (2016/17), los niveles de disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) fueron bajos en Balducchi (33-44 kg N ha⁻¹) y altos en San Alfredo (76-98 kg N ha⁻¹) (**Tabla 3**). En ambos casos se registró efecto residual positivo de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de N-nitrato, con +11 kg N ha ha⁻¹ y +22 kg N ha ha⁻¹ en las parcelas NPS respecto de las PS. Por otra parte, los niveles de Nan (como indicador del N mineralizable) fueron bajos en Balducchi. No se observó efecto residual de la fertilización nitrogenada sobre este indicador en el sitio San Alfredo, mientras que en Balducchi se observó un mayor nivel de Nan en el tratamiento PS (30 ppm) respecto del tratamiento NPS (19 ppm) en los primeros 20 cm de profundidad. Esta diferencia no se registró en el estrato 20-40 cm.

En el caso de $P_{\text{Bray-1}}$, en esta campaña (2016/17), los niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ de los tratamientos NS fueron bajos en Balducchi (6.3 mg kg⁻¹) y en San Alfredo (5.8 mg kg⁻¹). En ambos casos, se registró residualidad -principalmente en superficie (0-20 cm)-, con diferencias (NPS vs NS) de +706% y +424% en Balducchi y San Alfredo, respectivamente (**Fig. 1**). 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 campañas (**Fig. 2**). 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 construir y mantener el $P_{\text{Bray-1}}$ en estos suelos. Es interesante destacar que la residualidad también se verifica, año a año, 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, no se registró residualidad clara de S con diferencias a favor del tratamiento con aplicación de S (NPS vs NP) en ninguno de los dos ensayos. En todos los casos, los niveles de S-sulfato (0-20 cm) se ubicaron por debajo de 8-10 mg kg⁻¹, umbral crítico mencionado en la literatura internacional.

Rendimientos y respuestas a la fertilización

En términos climáticos, la campaña se destacó por comenzar en ambos sitios con buena reserva de agua en el suelo a la siembra (**Tabla 1**). Durante el ciclo del maíz, el nivel de precipitaciones fue alto y, en general, distribuidas hacia el final del ciclo del cultivo. Los contenidos de agua útil en el suelo hasta 100 cm en ambos casos reflejan oferta hídrica no limitante.

En ambos sitios, los mayores rendimientos se registraron con los tratamientos NPS y Completo, que en ningún caso difirieron entre sí (**Tabla 4 y Fig. 4**). En contraste, los menores rendimientos se registraron con el tratamiento Testigo, que en el sitio Balducchi fue de 5501 kg ha⁻¹, y en San Alfredo de 6052 kg ha⁻¹.

En cuanto a la respuesta a nutrientes, en Balducchi se observaron respuestas a N (+6132 kg ha⁻¹), P-residual- (+3845 kg ha⁻¹), y a S (+2936 kg ha⁻¹). Aunque no se pudo evaluar la significancia estadística por falta de repeticiones (dos repeticiones se perdieron por inundaciones en los últimos años), las diferencias observadas son de una magnitud más que relevante. En San Alfredo, no se observaron respuestas significativas a los nutrientes individuales; sin embargo, la respuesta a la aplicación combinada de N, P y/o S resultó significativa en todas sus variantes (+1313 a +3885 kg ha⁻¹, **Tabla 4**).

El rendimiento se relacionó estrechamente con número de granos por m² ($R^2 = 0.93$), y, en menor grado, con el peso de los granos ($R^2 = 0.69$), pero no se observó relación con el número de espigas ($p > 0.05$) (**Fig. 5**). Las respuestas en rendimiento a la fertilización se explican fundamentalmente por efectos sobre el número de granos por m² y, en menor medida, por efecto en el peso de los mismos (**Tabla 5**).

La productividad del agua de lluvia (PA, kg maíz mm lluvia⁻¹) varió entre 4.7 y 11.5 kg maíz mm⁻¹ en Balducchi, y entre 6.0 y 10.1 kg maíz mm⁻¹ en San Alfredo, respectivamente (**Fig. 6**). Si bien se observaron diferencias entre tratamientos, la tendencia general fue de PA bajas por la elevada cantidad de precipitaciones durante el ciclo de los cultivos (>1000 mm).

Referido a la eficiencia de uso de los nutrientes (**Tabla 6**), en Balducchi las mejores productividades parciales, tanto PPN como 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 (residual). En San Alfredo, no se registraron diferencias entre tratamientos para el caso de la PPN, pero sí para PPS, donde los tratamientos NS y NPS registraron la mayor productividad.

Los balances parciales de nutrientes (BP), expresados como kg nutriente extraído kg⁻¹ nutriente aplicado, se detallan en la **Tabla 6**. Para N, los BP muestran valores de extracción entre 15% y 64% más altos que la aplicación en Balducchi, variando entre tratamientos (más alto en NPS y Completo respecto de NS y NP). En San Alfredo, los BPN fueron alrededor de un 20% más altos que la aplicación sin diferencias claras entre tratamientos, con la excepción del tratamiento Completo, que registró un BPN más bajo (1.09) por problemas de vuelco en una de las parcelas. En el caso de S, en Balducchi los balances fueron positivos para los tratamientos PS y NS, con valores de BPS entre 0.73 y 0.96 kg S extraído por kg S aplicado, mientras que para los tratamientos NPS y Completo se registraron balances negativos (35-36%). En San Alfredo, los BPS fueron cercanos a la neutralidad en todos los tratamientos, con variaciones entre 0.89 y 1. Cabe recordar que no

se aplicó P en los tratamientos correspondientes por lo cual todos los balances de P fueron negativos con remociones de 26 a 48 kg P/ha en Balducchi y de 31 a 35 kg P/ha 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 12 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, dos en 2014/15, tres en 2015/16, y dos en 2016/17 (n=52).

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. 6a**). La función ajustada ($r^2=0.35$, $p<0.001$), permitiría estimar necesidades aproximadas de 166 kg ha⁻¹ de N (suelo + fertilizante) para alcanzar rendimientos de 10 000 kg maíz ha⁻¹, mientras que se necesitarían alrededor de 231 kg N ha⁻¹ (IC_{95%} = 165 a 295 kg N ha⁻¹) para lograr un rendimiento máximo medio estimado en 11630 kg ha⁻¹. Por otra parte, se ajustó un modelo de rendimiento relativo ($r = 0.89$, $p<0.001$) que arrojó un nivel crítico de 226 kg N ha⁻¹ (IC_{95%} = 215 a 237 kg N ha⁻¹) para lograr el 99% del rendimiento máximo (**Fig. 6b**). Para el 95% del rendimiento máximo, el umbral crítico es de 182 kg N ha⁻¹ (IC_{95%} = 174 a 190 kg N ha⁻¹).

Considerando los 52 casos (sitios-años) de las 12 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. 7**) indica un nivel crítico de 11 mg kg⁻¹ para obtener el 90% del rendimiento relativo, con un intervalo de confianza al 95% entre 10 y 13 mg kg⁻¹. Mientras que para obtener el 95% del rendimiento relativo, el umbral asciende a 15 mg kg⁻¹, con un intervalo de confianza al 95% entre 13 y 18 mg kg⁻¹.

Por otra parte, la respuesta de maíz a S se correlacionó con la concentración de S-sulfato a 0-20 cm (**Fig. 8**), no así con la disponibilidad a 0-60 cm (datos no mostrados). En función de dicha relación se estimó un nivel crítico de 7 mg kg⁻¹ (entre 6 y 8 mg S kg⁻¹) para obtener el 95% del rendimiento relativo. Cabe destacar que, en general, los niveles de S-sulfato en superficie (0-20 cm) a la siembra son bajos, menores de 10 mg kg⁻¹. Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar metodologías complementarias basadas en el análisis de planta o grano con el fin de poder diagnosticar mejor 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 no se observaron efectos residuales de la fertilización con S. En el caso de N-nitrato, se detectaron efectos residuales positivos por fertilización con N en ambos sitios y en todos los estratos analizados.
2. Luego de diecisiete campañas en la rotación Mz-Tr/Sj, 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 desde 25% a 46% en los rendimientos del tratamiento testigo respecto del NPS.
3. En ambos sitios, la disponibilidad de agua a la siembra y la distribución de precipitaciones no fueron limitantes para el cultivo, lo que permitió alcanzar altos rendimientos de maíz en los tratamientos mejor fertilizados, especialmente en las parcelas con NPS.
4. El agotamiento por falta de reposición generó grandes respuestas a la aplicación de N (6132 kg ha^{-1}), P (3845 kg ha^{-1}) y S (2936 kg ha^{-1}) en Balducchi, aunque no se pudo analizar la significancia por la falta de repeticiones. En San Alfredo, por su parte, no se observaron respuestas significativas a N, P o S aplicados por separado. Sin embargo, las respuestas a las aplicaciones combinadas N, P y/o S fueron significativas en todas sus variantes. En ninguno de los ensayos se observó respuesta a otros nutrientes complementarios.
5. La productividad del agua (PA) por mm de lluvia, con más de 1000 mm caídos en ambos sitios, se incrementó cuando se cubrieron las deficiencias de N, P y/o S, registrando desde $4.7 \text{ kg maíz mm}^{-1}$ para el Testigo a $11.5 \text{ kg maíz mm}^{-1}$ 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 para rendimiento absoluto, disponibilidades de N a la siembra (suelo + fertilizante) de entre 166 y 231 kg ha^{-1} permitieron alcanzar rendimientos medios de entre 10000 a 11630 kg ha^{-1} , respectivamente. Por otra parte, según el modelo ajustado para rendimiento relativo, se estimó un umbral de 226 kg N ha^{-1} (entre 215 a 237 kg N ha^{-1}), para alcanzar el 99% del rendimiento máximo.
7. Suelos con niveles de $P_{\text{Bray-1}}$ menores de 13 mg kg^{-1} en 0-20 cm a la siembra presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de 18 mg kg^{-1} la probabilidad de respuesta esperada, y también la magnitud, disminuyó considerablemente.
8. Similar al caso de P, suelos con niveles de $S\text{-SO}_4^{2-}$ menores de 6 mg kg^{-1} en 0-20 cm a la siembra presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de S, mientras que por arriba de 8 mg kg^{-1} la probabilidad y magnitud de respuesta disminuyó considerablemente.

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.

Referencias

- Correndo, A.A., F.H. Gutiérrez Boem, F. Salvagiotti, y F.O. García. 2016. Método alternativo para estimar niveles críticos de nutrientes. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Ordenamiento territorial: un desafío para la ciencia del suelo. 27 de Junio al 1^{ro} de Julio de 2016. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. AACCS. Disponible en: <https://www.unrc.edu.ar/unrc/comunicacion/editorial/repositorio/978-987-688-173-9.pdf>
- 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.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://R-project.org>

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 2016/17. *cc=capacidad de campo.

Establecimiento	BALDUCCHI	SAN ALFREDO
CREA	Teodelina	Santa Isabel
Serie Suelo	Santa Isabel	Hughes
Labranza	siembra directa	siembra directa
Años agricultura	60	15
Antecesor	Trigo/Soja	Trigo/Soja
Híbrido	DK 72-10VT3Pro	N7822VT3Pro
Fecha de siembra	30/10/16	12/10/16
Densidad lograda (pl/ha)	82000	74000
Distancia entre surcos (cm)	52.5	52.5
Fecha de Cosecha	15/6/2017	25/06/2017
<i>Lámina de agua útil (mm, 0-100 cm)</i>		
Siembra	108	142*
<i>Precipitaciones</i>		
Septiembre	53	41
Octubre	144	123
Noviembre	96	131
Diciembre	283	286
Enero	249	216
Febrero	164	107
Marzo	239	139
<i>Ciclo (OCT-MAR)</i>	<i>1175</i>	<i>1002</i>

Tabla 2. Tratamientos de fertilización establecidos en los dos sitios bajo rotación Mz-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2016/17.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
Fertilizante (kg ha⁻¹)						
FMA		0		0	0	0
Urea			326	287	287	287
SulPoMag						68
Azufertil (19%)		79	79		79	
B10						10
Zn 40						5
Cu25						8
Fertilizante total (kg/ha)	0	79	427	287	366	368
Nutrientes (kg ha⁻¹)						
N		18	150	150	150	150
P		0		0	0	0
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 dos sitios bajo rotación Mz-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2016/17.

Ensayo	Tratamiento	P	N-NO ₃	N-NO ₃	S-SO ₄	S-SO ₄	Nan
		ppm	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	ppm	kg ha ⁻¹	ppm
		0-20 cm	0-60 cm	0-60 cm	0-20 cm	0-60 cm	0-20/ 20-40 cm
Balducchi	PS	-	6.4	33	-	-	30/12
	NS	6	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	4.9	35	-
	NPS	50	7.6	44	4.7	35	19/11
San Alfredo	PS	-	17.9	76	-	-	46/16
	NS	6	-	-	-	-	-
	NP	-	-	-	4.5	34	-
	NPS	30	20.8	98	4.3	32	48/18

Tabla 4. Rendimientos de maíz para los seis tratamientos evaluados y respuestas a diferentes combinaciones de N, P, S y otros nutrientes en los tres ensayos con rotación M-Sj-T/Sj. Promedios de tres repeticiones. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2016/17. #Rendimientos seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%. ##Otros incluye K, Mg y Zn. + Valor de una sola repetición, tratamiento "completo" de San Alfredo no incluido en el análisis de varianza por problemas de vuelco.

	Balducchi	San Alfredo	Promedio
Rendimiento (kg ha⁻¹)			
Testigo	5501	5952 c	5727
PS	7271	8865 b	8068
NS	9558	9797 a	9678
NP	10467	9937 a	10202
NPS	13403	9885 a	11644
Completo	13559	10081 ⁺	11820
DMS (5%)	-	1103	-
Respuesta (kg ha⁻¹)			
N	6132	2520	4326
P	3845	88	1966
S	2936	-52	1442
PS	1770	1313	1541
NS	4057	3745	3901
NP	4966	3885	4425
NPS	7902	3832	5867
Otros	156	196 ⁺	176

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 2016/17. # 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	210	2620	7.95
	PS	234	3107	7.75
	NS	312	3064	8.20
	NP	290	3609	8.30
	NPS	308	4352	8.15
	Completo	304	4460	8.05
	DMS (5%)	-	-	-
San Alfredo	Testigo	266 e	2275 c	7.35
	PS	274 d	2688 b	7.40
	NS	285 a	3437 a	7.40
	NP	280 c	3549 a	7.30
	NPS	285 a	3468 a	7.40
	Completo	284 b	3549	7.35
	DMS (5%)	1	403	-

Tabla 6. Estimaciones de indicadores de eficiencia de uso de nutrientes (N, P y S) para los tratamientos de fertilización en los dos sitios. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2016/17. # 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	-	-	485	-	-	0.73
	NS	64	-	637	1.15	-	0.96
	NP	70	-	-	1.26	-	-
	NPS	89	-	894	1.62	-	1.35
	Completo	90	-	904	1.64	-	1.36
San Alfredo	PS	-	-	591	-	-	0.89
	NS	65	-	653	1.18	-	0.99
	NP	66	-	-	1.20	-	-
	NPS	66	-	659	1.19	-	1.00
	Completo	67	-	672	1.22	-	1.01

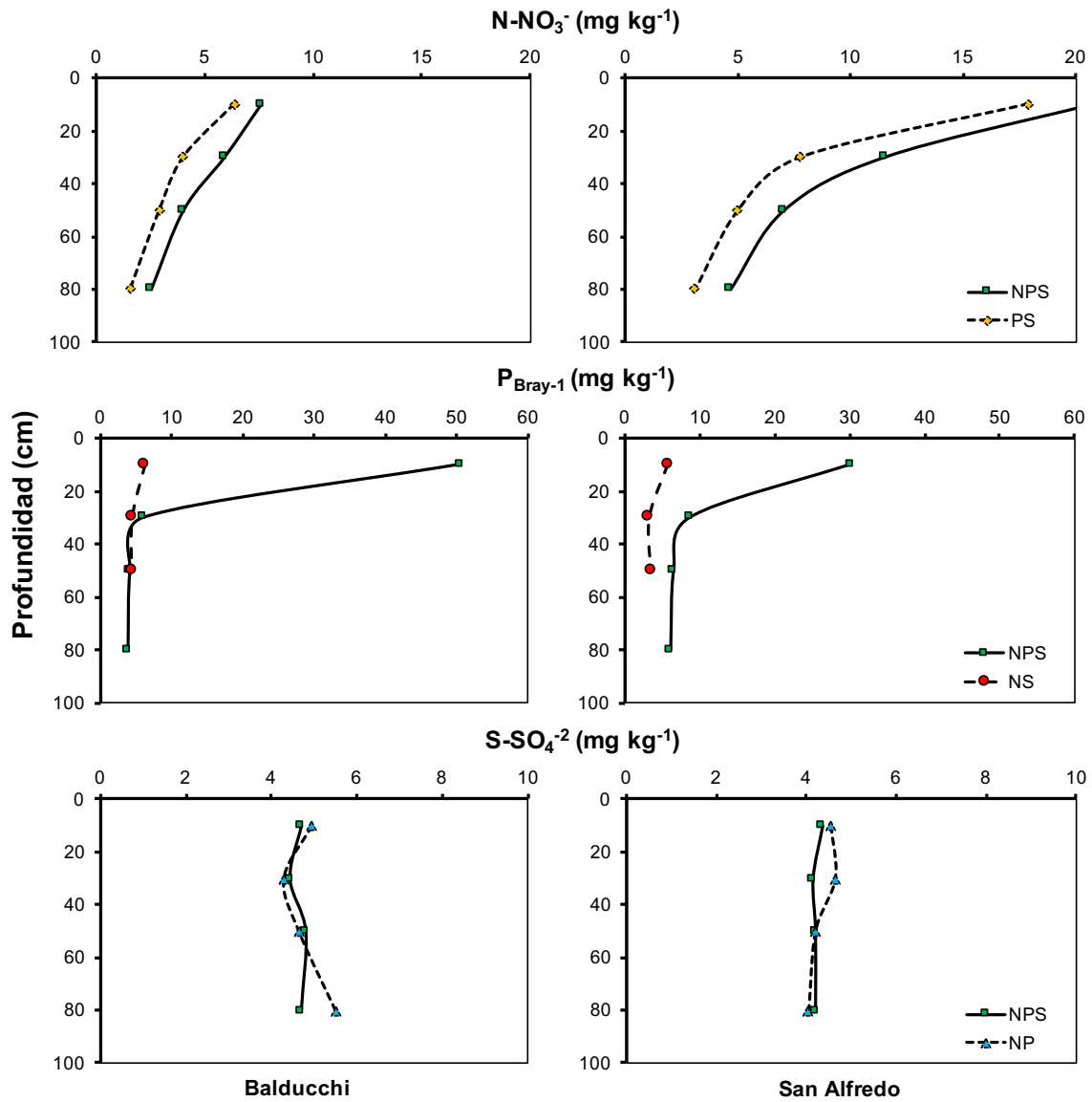


Fig. 1. Distribución de la concentración de P_{Bray-1}, S-SO₄⁻², N-NO₃⁻, hasta 100 cm de profundidad en pre-siembra para tratamientos selectos en los sitios bajo rotación Mz-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2015/16.

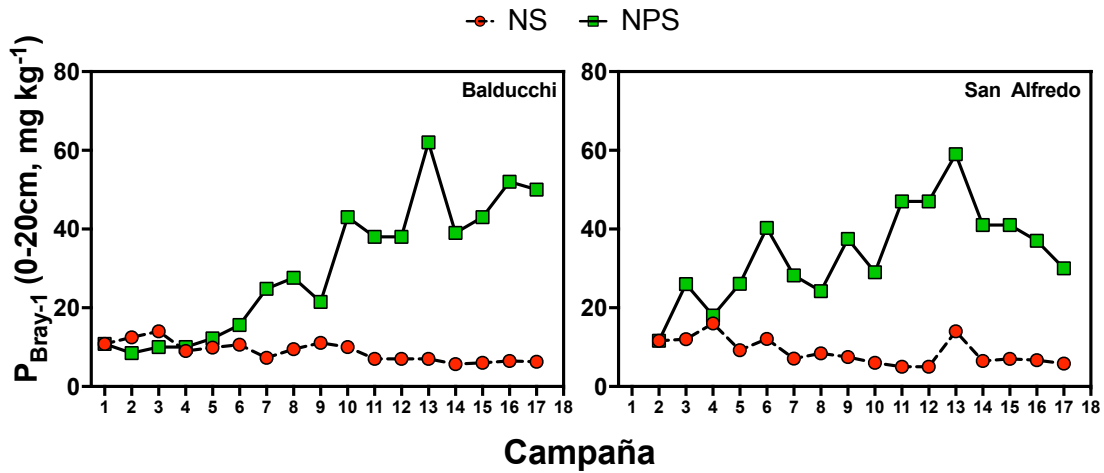


Fig. 2. Evolución de P Bray (0-20 cm), desde el establecimiento de los ensayos bajo rotación Mz-Sj-Tr/Sj, en los tratamientos con (NPS) y sin la aplicación de fósforo (NS). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (200/01) a 17 (2016/17).

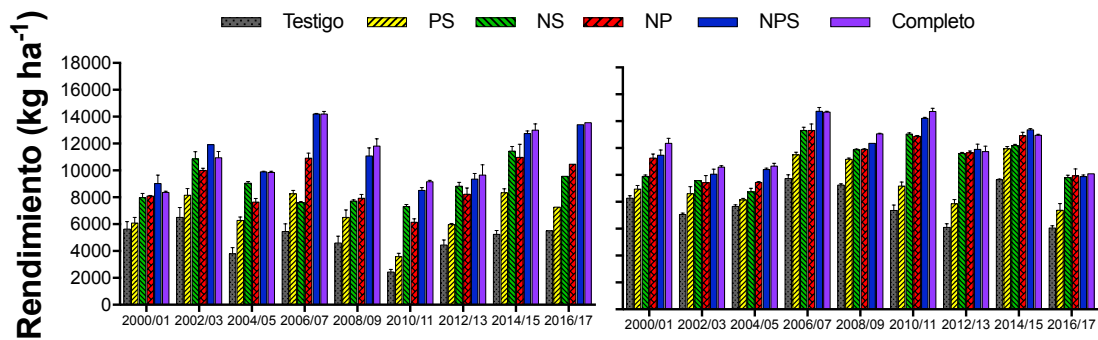


Fig. 3. Evolución de los rendimientos promedio de maíz para los seis tratamientos en los dos sitios bajo rotación Mz-Tr/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campañas 2000/01 a 2016/17.

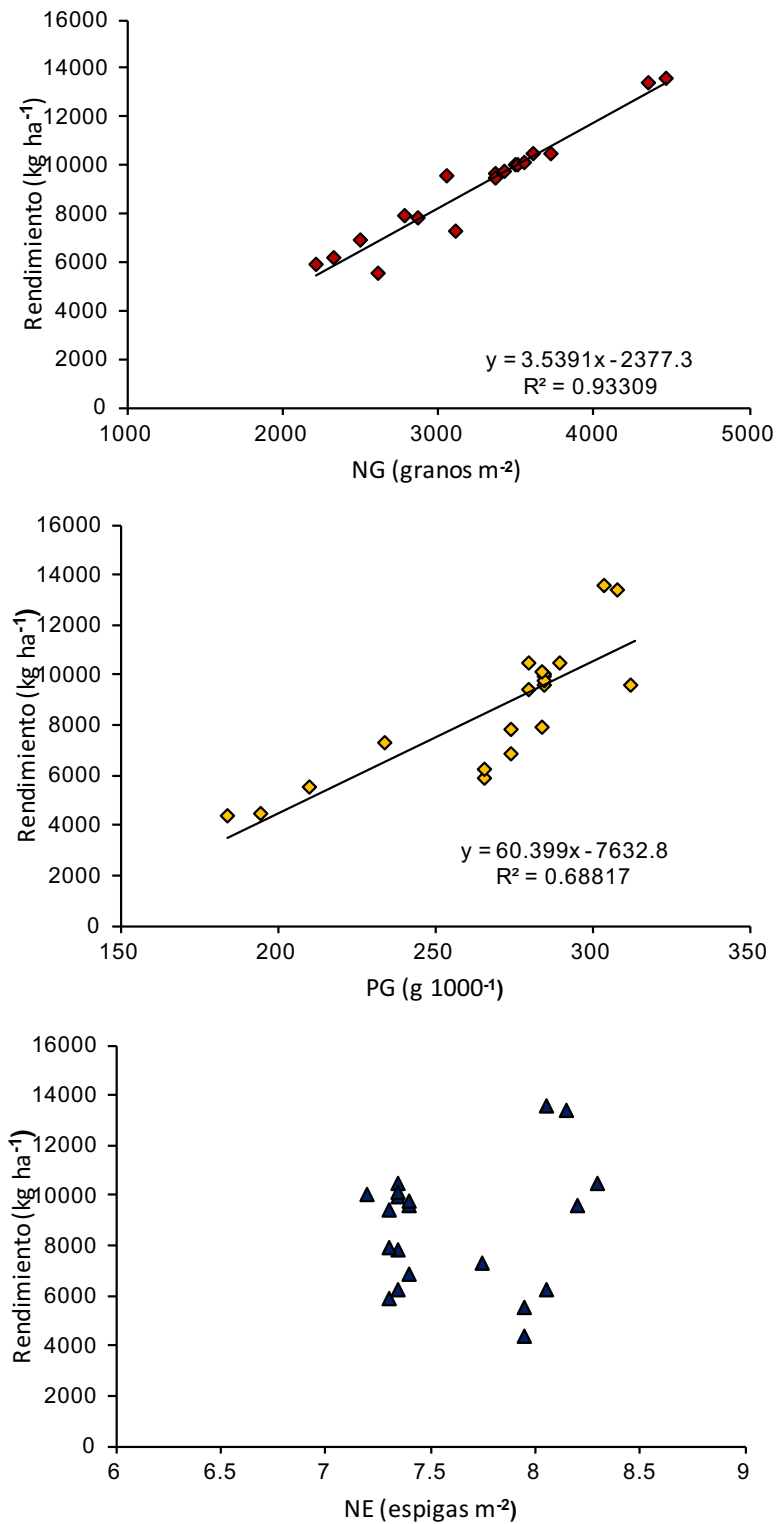


Fig. 4. Relaciones entre el rendimiento de maíz y: el número de granos por m² (arriba), el número de espigas por m² (medio) y el peso de mil granos (abajo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2016/17.

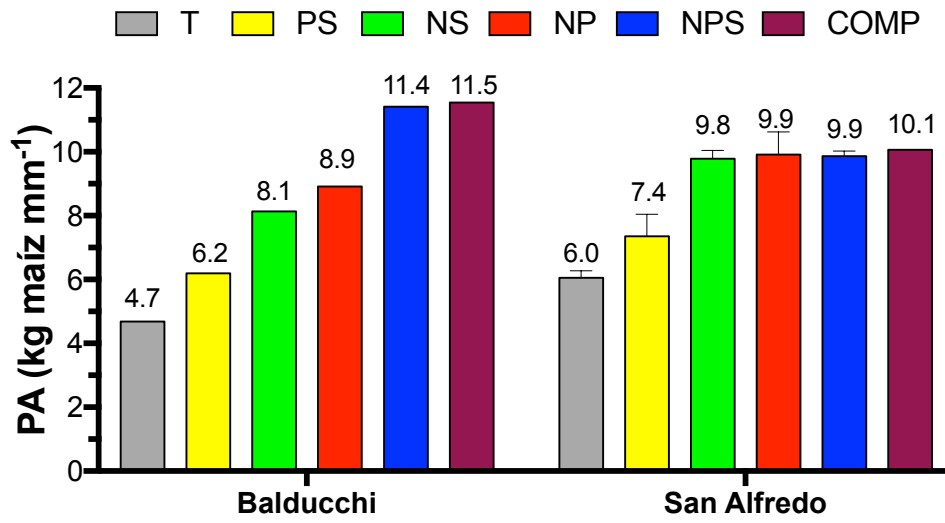


Fig. 5. Productividad del agua (PA) en maíz, calculada como cociente entre el rendimiento y la suma de las precipitaciones durante el ciclo, para los dos sitios bajo rotacion Mz-Tr/Sj. Red de Nutricion CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2016/17.

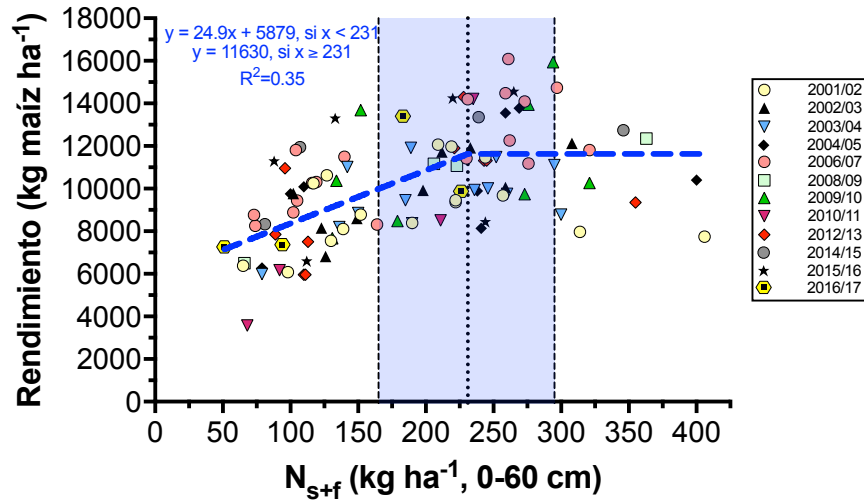


Fig. 6a. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante (n=104). Las líneas punteadas verticales indican un valor umbral de 231 kg N ha⁻¹ para alcanzar un rendimiento máximo medio de 11630 kg ha⁻¹, según la función de ajuste ($r^2=0.35$, $p<0.001$). La franja vertical azul indica el intervalo de confianza para el umbral (IC_{95%} = 165 a 295 kg N ha⁻¹). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2000/01, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2012/13, 2014/15, 2015/16 y 2016/17.

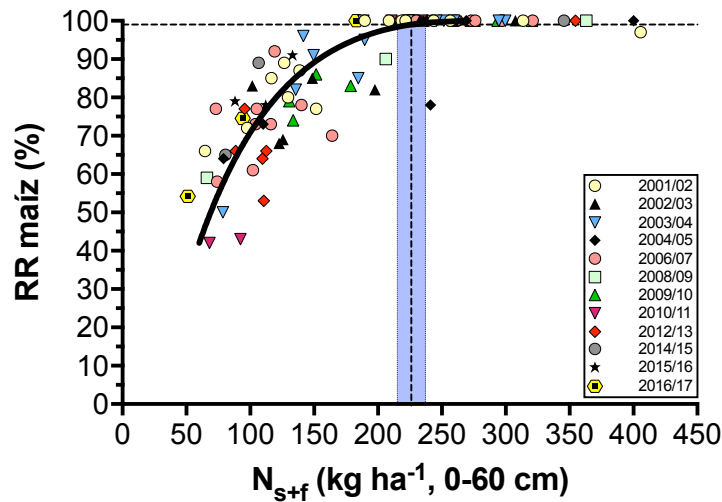


Fig. 6b. Rendimiento relativo (%) de maíz en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante (n=104). Las líneas punteadas verticales indican un valor umbral de 226 kg N ha⁻¹ para alcanzar el 99% del rendimiento relativo al máximo. La franja vertical azul indica el intervalo de confianza para el umbral (IC_{95%} = 215 a 237 kg N ha⁻¹). La curva de ajuste ($r=0.84$, $p<0.0001$) y las estimaciones se obtuvieron mediante el método arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2016). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2000/01, 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2012/13, 2014/15, 2015/16 y 2016/17.

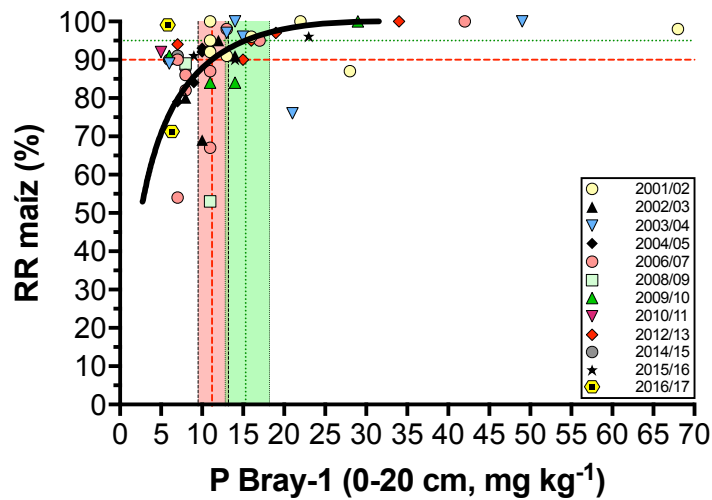


Fig. 7. Rendimiento relativo (RR) de maíz (NS/NPS) en función del nivel de $P_{\text{Bray-1}}$ (0-20 cm) a la siembra. $n=52$. Las líneas punteadas rojas y verdes indican niveles críticos de 11.2 mg kg^{-1} ($IC_{95\%}=9.5 \text{ a } 13.2 \text{ mg kg}^{-1}$) y 15.2 mg kg^{-1} ($IC_{95\%}=12.8 \text{ a } 18.2 \text{ mg kg}^{-1}$) de $P_{\text{Bray-1}}$ para obtener el 90% y el 95% del rendimiento relativo, respectivamente. La curva de ajuste ($r=0.48$, $p=0.0001$) y las estimaciones se obtuvieron mediante el método arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2016). 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, 2014/15, 2015/16 y 2016/17.

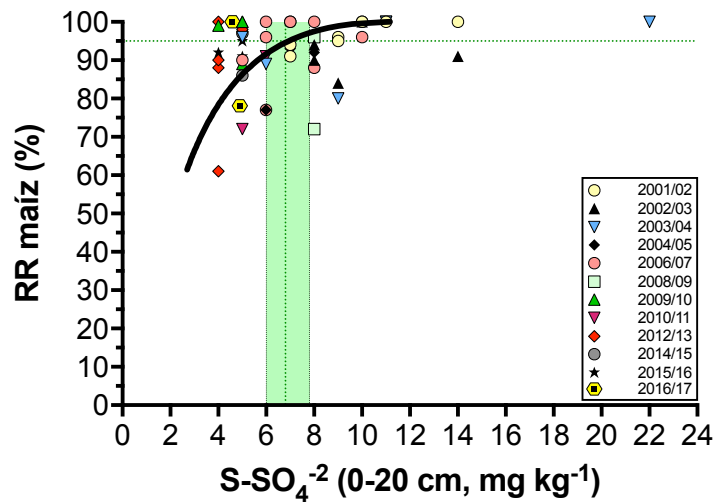


Fig. 8. Rendimiento relativo (RR) de maíz (NP/NPS) en función del nivel de $S-SO_4^{2-}$ (0-20 cm) a la siembra. $n=52$. Las líneas punteadas indican un nivel crítico de 6.8 mg kg^{-1} de $S-SO_4^{2-}$ para obtener 95% del rendimiento relativo ($IC_{95\%}=6.0$ a 7.8 mg kg^{-1}). La curva de ajuste ($r=0.29$, $p=0.019$) y las estimaciones se obtuvieron mediante el método arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2016). 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, 2014/15 y 2015/16.