

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

Resultados de la Campaña 2015/16: 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 2015/16, 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 tres ensayos de maíz de la campaña 2015/16 bajo rotación maíz - soja de primera - 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 e índice de verdor en V5-V6 y R1.
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 tres 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 los tres sitios es maíz – soja de primera - trigo/soja de segunda (M-Sj-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 2015/16 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 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. Al momento de madurez fisiológica no se realizaron las determinaciones debido a que los suelos se encontraron saturados en los tres ensayos.

A los estados de 5-6 hojas (V5-6) y en floración (R1) se determinó el índice de verdor mediante un Minolta SPAD 502. En madurez fisiológica se determinó el número de espigas por m^2 . A cosecha se determinó el rendimiento, el peso de mil granos. Con la información de peso de mil granos, se estimó el número de granos por m^2 . Los rendimientos reportados se han corregido al 14.5% de humedad. 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 durante el ciclo del cultivo (Septiembre-Febrero) 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 diferentes paquetes estadísticos del software R (R Core Team, 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**. 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 los sitios La Blanca y La Hansa debajo de los 40 cm de profundidad en ambos casos. No se observaron efectos residuales de fertilización nitrogenada sobre los niveles de N-nitrato en ninguno de los ensayos.

En esta campaña (2015/16), los niveles de disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) fueron altos en La Blanca (115 kg N ha⁻¹) y La Hansa (94 a 98 kg N ha⁻¹), y medios en Lambaré (68 a 70 kg N ha⁻¹) (**Tabla 3**). En ninguno de los casos se registró efecto residual positivo de la fertilización nitrogenada sobre la concentración de N-nitrato. Por otra parte, los niveles de Nan (como indicador del N mineralizable) fueron bajos en La Blanca, medios en Lambaré y altos en La Hansa. Se observó efecto residual de la fertilización nitrogenada sobre este indicador, solamente en el sitio la Hansa, en el estrato 0-20 cm con 65 mg kg⁻¹ en el tratamiento PS y 85 mg kg⁻¹ en el tratamiento NPS.

En el caso de P_{Bray-1}, en esta campaña (2015/16), los niveles de P_{Bray-1} de los tratamientos NS fueron: bajo en La Blanca (9 mg kg⁻¹), medio La Hansa (14 mg kg⁻¹) y alto en Lambaré (23 mg kg⁻¹). En los tres casos, se registró residualidad -principalmente en superficie (0-20 cm)-, con diferencias (NPS vs NS) de +602%, +343% y +282% en La Blanca, La Hansa y Lambaré, respectivamente (**Fig. 1**). En cuanto a la evolución de P en el suelo, el P_{Bray-1} (0-20 cm) en el tratamiento NPS incrementó su nivel a lo largo de las 15 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_{Bray-1} en estos suelos. Es interesante destacar que 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. Debido a los altos niveles de P_{Bray-1} alcanzados en el tratamiento NPS, a partir de la campaña 2016/17 se suspenderá la aplicación de P en este tratamiento, el cual volvería a recibir P cuando alcance valores inferiores a 30 mg kg⁻¹.

Para S-sulfato, se registró residualidad con diferencias a favor del tratamiento con aplicación de S (NPS vs NP) de +17%, +11%, +37% y +8%, de +7%, +9%, +55% y +1%, y de +6%, +18%, -9% y +12%, para los estratos 0-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm, en La Blanca, La Hansa y Lambaré, respectivamente. 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, 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, en general, distribuidas hacia el final del ciclo del cultivo (Febrero a Marzo). Esto permitió alcanzar altos rendimientos de maíz. Los contenidos de agua útil en el suelo hasta 100 cm en floración y madurez fisiológica reflejan la oferta hídrica no limitante, en algunos casos con suelo por arriba de capacidad de campo (**Fig. 3**).

En los tres 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 La Blanca

fue de 11478 kg ha⁻¹, en La Hansa de 5471 kg ha⁻¹, y en Lambaré de 8710 kg ha⁻¹. En todos los casos, este tratamiento resultó con rendimientos significativamente menores respecto de todos los tratamientos fertilizados.

En cuanto a la respuesta a nutrientes, en La Blanca se observaron respuestas significativas ($\alpha=0.05$) a N (1255 kg ha⁻¹), P (1294 kg ha⁻¹), y a S (756 kg ha⁻¹). En La Hansa, se observaron respuestas significativas a N (1836 kg ha⁻¹), P (875 kg ha⁻¹) y S (782 kg ha⁻¹). En Lambaré, se observaron respuestas significativas a N (1545 kg ha⁻¹) y P (1084 kg ha⁻¹). En todos los sitios, la respuesta a los tres nutrientes (NPS vs Testigo) superó ampliamente a las respuestas individuales y dobles combinaciones de N, P y S (entre 2958 y 3081 kg ha⁻¹).

El rendimiento se relacionó estrechamente con número de granos por m² ($R^2 = 0.86$) y, en menor grado, con el peso de los granos ($R^2 = 0.70$) y el número de espigas ($R^2 = 0.38$) (**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. Dentro de los componentes que hacen al número de granos, el número de granos por espiga fue probablemente más afectado que el número de espigas por m² (**Tabla 5**).

Las eficiencias de uso de agua (EUA, kg mm lluvia⁻¹) variaron entre 12.7 y 16.1 kg kg maíz mm⁻¹ en La Blanca; 7.9 y 12.6 kg kg maíz mm⁻¹ en La Hansa; y 10.4 y 17.5 kg kg maíz mm⁻¹ en Lambaré para los tratamientos Testigo y NPS, respectivamente (**Fig. 6**). Si bien se observaron diferencias entre tratamientos, la tendencia general fue de EUA bajas por la elevada cantidad de precipitaciones durante el ciclo de los cultivos (entre 689 y 902 mm).

Referido a la eficiencia de uso de los nutrientes (**Tabla 6**), en los tres sitios las mejores productividades 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.

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 un 58% y un 78% más altos que la aplicación en La Blanca y Lambaré, mientras se observan valores cercanos a la neutralidad en La Hansa. Para P, los valores de extracción fueron entre un 14% y un 48% más altos que la reposición en La Blanca y Lambaré, mientras que en La Hansa los balances fueron más positivos con valores entre 0.66 (PS) y 0.87 (Completo). En el caso de S, los balances fueron muy similares al caso de P, con valores de BPS entre 0.66 a 0.87 kg extraído por kg aplicado en La Hansa, y entre 1.14 y 1.48 en La Blanca y Lambaré. Las diferencias entre sitios, se relacionan con el mayor rendimiento obtenido en los sitios La Blanca y Lambaré respecto de La Hansa, dado que las dosis de aplicación fueron las mismas en todos los sitios.

El IV al estado V5-6 y floración fue afectado por los tratamientos de fertilización (**Tabla 7**). El IV fue afectado por la disponibilidad de N al estado V5-6 en La Blanca, y en ambas evaluaciones (V5-6 y floración) en La Hansa y Lambaré. En todos los casos, el tratamiento NPS expresó los mayores índices en ambos momentos, mientras que el tratamiento sin N (PS) siempre mostró valores significativamente menores.

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 11 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, y tres en 2015/16 (n=50).

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. 7a**). La función ajustada ($r^2=0.34$, $p<0.0001$), permitiría estimar necesidades aproximadas de 166 kg ha⁻¹ de N (suelo + fertilizante) para alcanzar rendimientos de 10000 kg maíz ha⁻¹, mientras que se necesitarían alrededor de 231 kg maíz ha⁻¹ para lograr un rendimiento máximo medio estimado en 11637 kg ha⁻¹. Por otra parte, se ajustó un modelo de rendimiento relativo ($r = 0.72$, $p<0.0001$) que arrojó un nivel crítico de 227 kg N ha⁻¹ (IC_{95%} = 210 a 246 kg N ha⁻¹) para lograr el 99% del rendimiento máximo (**Fig. 7b**). Para el 95% del rendimiento máximo, el umbral crítico es de 184 kg N ha⁻¹ (IC_{95%} = 171 a 197 kg N ha⁻¹) entre 171 y 197 kg N ha⁻¹.

La determinación del IV, determinado con el Minolta SPAD 502 en V5-6 y antes de la siembra no se relacionó con las respuestas a N, pero si se encontró una relación significativa con el rendimiento de maíz (datos no mostrados), aunque la misma no fue estrecha.

Considerando los 50 casos (sitios-años) de las 11 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 un nivel crítico de 11.5 mg kg⁻¹ para obtener el 90% del rendimiento relativo, con un intervalo de confianza al 95% entre 9.7 y 13.6 mg kg⁻¹. Mientras que para obtener el 95% del rendimiento relativo, el umbral asciende a 15.6 mg kg⁻¹, con un intervalo de confianza al 95% entre 13.2 y 18.6 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. 10**), no así con la disponibilidad a 0-60 cm (datos no mostrados). En función de dicha relación se estimó un nivel crítico de 6.9 mg kg⁻¹ (entre 6.1 y 7.9 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_{Bray-1}, principalmente en el estrato 0-20 cm, mientras que para S-sulfato se observaron efectos residuales positivos de la fertilización con S luego de los 40 cm de profundidad. En el caso de N-nitrato, no se detectaron efectos residuales por fertilización con N.

2. Luego de dieciséis campañas en la rotación M-Sj-T/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 21% a 39% en los rendimientos del tratamiento testigo respecto del NPS.
3. En los tres sitios, la buena 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 los sitios La Blanca y Lambaré.
4. Se observaron respuestas significativas a N y P en todos los sitios; y a S en dos de tres sitios. Las respuestas a las aplicaciones combinadas NPS fueron significativas en todos los sitios. En ningún caso se observó respuesta a otros nutrientes complementarios.
5. La eficiencia de uso de agua (EUA) por mm de lluvia se incrementó cuando se eliminaron las deficiencias de N, P y/o S, registrando desde 10.3 kg maíz mm⁻¹ para el Testigo a 15.3 kg maíz mm⁻¹ para el tratamiento NPS, en promedio para los tres sitios.
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 a 231 kg ha⁻¹ permitieron alcanzar rendimientos medios de entre 10000 a 11637 kg ha⁻¹, respectivamente. Por otra parte, según el modelo ajustado para rendimiento relativo, se estimó un umbral de 227 kg N ha⁻¹ (entre 210 a 246 kg N ha⁻¹), para alcanzar el 99% del rendimiento máximo.
7. Suelos con niveles de P_{Bray-1} menores de 11.5 mg kg⁻¹ en 0-20 cm a la siembra presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de 15.6 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-SO₄⁻² menores de 6.1 mg kg⁻¹ en 0-20 cm a la siembra presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de S, mientras que por arriba de 7.9 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. AACs. 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 2015/16. *cc=capacidad de campo.

Establecimiento	La Blanca	La Hansa	Lambaré
CREA	Gral. Baldissera	Armstrong-M. De Oca	San Jorge-Las Rosas
Serie Suelo	La Bélgica	Bustinza	Los Cardos
Labranza	SD	SD	SD
Años agricultura	12	20	6
Antecesor	Trigo/Soja	Trigo/Soja	Trigo/Soja
Híbrido	Monsanto DK 692 VT3 Pro		
Fecha de siembra	10/8/15	18/9/15	16/9/15
Densidad lograda (pl/ha)	70000	60000	64000
Distancia entre surcos (cm)	52.5		
Fecha de Cosecha	16/9/16	10/3/16	5/4/16
Lámina de agua útil (mm, 0-100 cm)			
Siembra	102*	151*	142*
Floración	saturado		
Madurez Fisiológica	saturado		
Precipitaciones			
Septiembre	30	24	39
Octubre	83	77	73
Noviembre	149	95	140
Diciembre	107	139	146
Enero	222	108	198
Febrero	311	270	282
<i>Ciclo</i>	<i>902</i>	<i>689</i>	<i>839</i>

Tabla 2. Tratamientos de fertilización establecidos en los sitios bajo rotación M-T/Sj. Región CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2015/16.

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 2015/16.

Ensayo	Tratamiento	P	N-NO ₃	S-SO ₄	S-SO ₄	Nmin
		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
La Blanca	PS	-	115	-	-	40/16
	NS	9	-	-	-	-
	NP	-	-	5.4	13	-
	NPS	60	115	6.3	14	36/19
La Hansa	PS	-	94	-	-	65/23
	NS	14	-	-	-	-
	NP	-	-	5.0	34	-
	NPS	63	98	5.3	50	85/26
Lambaré	PS	-	70	-	-	60/18
	NS	23	-	-	-	-
	NP	-	-	4.3	34	-
	NPS	87	68	4.5	50	63/21

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 2015/16. #Rendimientos seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%. ##Otros incluye K, Mg y Zn.

	La Blanca	La Hansa	Lambaré	Promedio
Rendimiento (kg maíz ha⁻¹)				
Testigo	11479 d	5472 d	8711 e	7091
PS	13304 c	6594 c	11290 d	8942
NS	13265 c	7554 b	13686 bc	10620
NP	13803 b	7648 b	13096 c	10372
NPS	14559 a	8430 a	14244 ab	11337
Completo	14163 ab	8648 a	14721 a	11685
DMS	445	670	932	-
Respuesta (kg maíz ha⁻¹)				
N	1255	1836	1545	1690
P	1294	875	1084	980
S	756	782	769	775
PS	1825	1122	1474	1298
NS	1787	2083	1935	2009
NP	2324	2176	2250	2213
NPS	3081	2958	3019	2989
Otros	-396	219	-89	65

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 2015/16. # Valores seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%. *Diferencia significativa al 10%.

Ensayo	Tratamiento	Peso mil granos (g)	Granos m ⁻²	Espigas m ⁻²
La Blanca	Testigo	276 d	4251 bc	7.45 a
	PS	291 c	4567 a	7.56 a
	NS	313 b	4250 bc	7.45 a
	NP	332 a	4160 c	7.47 a
	NPS	329 a	4473 ab	7.60 a
	Completo	335 a	4253 bc	7.49 a
	DMS (5%)	8.0	243	ns
La Hansa	Testigo	236 f	2320 a	5.87 a
	PS	247 e	2641 a	6.23 a
	NS	280 c	2759 a	5.85 a
	NP	267 d	2795 a	5.71 a
	NPS	291 b	2938 a	5.91 a
	Completo	301 a	2788 a	6.50 a
	DMS (5%)	7.1	*300 (10%)	ns
Lambaré	Testigo	282 d	3119 a	6.28 a
	PS	301 c	3696 a	6.38 a
	NS	356 b	3803 a	6.21 a
	NP	370 a	3562 a	6.23 a
	NPS	358 b	3912 a	6.39 a
	Completo	367 a	4030 a	6.76 a
	DMS (5%)	9.3	*421(10%)	ns

Tabla 6. 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 2015/16. # 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		
La Blanca	PS	-	380	887	-	1.34	1.34
	NS	88	-	884	1.60	-	1.34
	NP	92	394	-	1.67	1.39	-
	NPS	97	416	971	1.76	1.46	1.47
	Completo	94	405	944	1.71	1.42	1.43
La Hansa	PS	-	188	440	-	0.66	0.66
	NS	50	-	504	0.91	-	0.76
	NP	51	219	-	0.92	0.77	-
	NPS	56	241	562	1.02	0.85	0.85
	Completo	58	247	577	1.04	0.87	0.87
Lambaré	PS	-	323	753	-	1.14	1.14
	NS	50	-	912	1.65	-	1.38
	NP	51	374	-	1.58	1.32	-
	NPS	56	407	950	1.72	1.43	1.43
	Completo	58	421	981	1.78	1.48	1.48

Tabla 7. Valores de índice de verdor (SPAD de última hoja expandida en V5-6 y SPAD de hoja de abajo de la espiga en R1). Sitios bajo rotación M-Sj-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2015/16. # Valores seguidos por las mismas letras en cada sitio no difieren significativamente al nivel de probabilidad de 5%.

Ensayo	Tratamiento	Índice de verdor	
		V5-6	Floración
La Blanca	PS	46.9 b	-
	NS	47.1 b	-
	NP	45.6 b	-
	NPS	50.1 a	-
	DMS	2.7	-
La Hansa	PS	46.4 bc	44.5 b
	NS	46.8 b	50.7 ab
	NP	44.7 c	57.5 a
	NPS	51.1 a	57.5 a
	DMS (5%)	2.0	7.5
Lambaré	PS	46.8 ab	46.1 b
	NS	47.5 ab	47.0 b
	NP	43.6 b	54.1 a
	NPS	52.6 a	51.7 b
	DMS (5%)	6.7	2.2

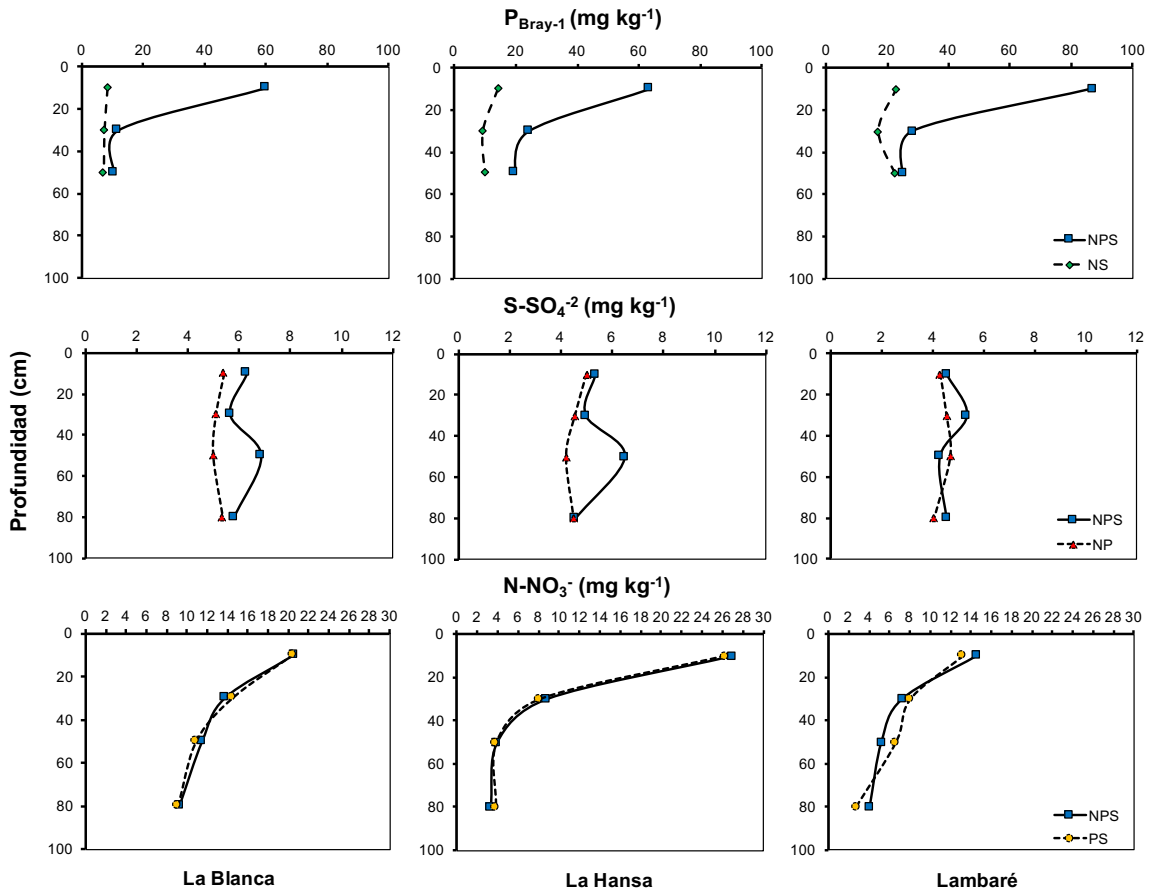


Fig. 1. Distribución de la concentración de P_{Bray-1}, S-SO₄⁻², N-NO₃⁻, hasta 100 cm de profundidad en pre-siembra para tratamientos selectos en los sitios bajo rotación M-Sj-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2015/16.

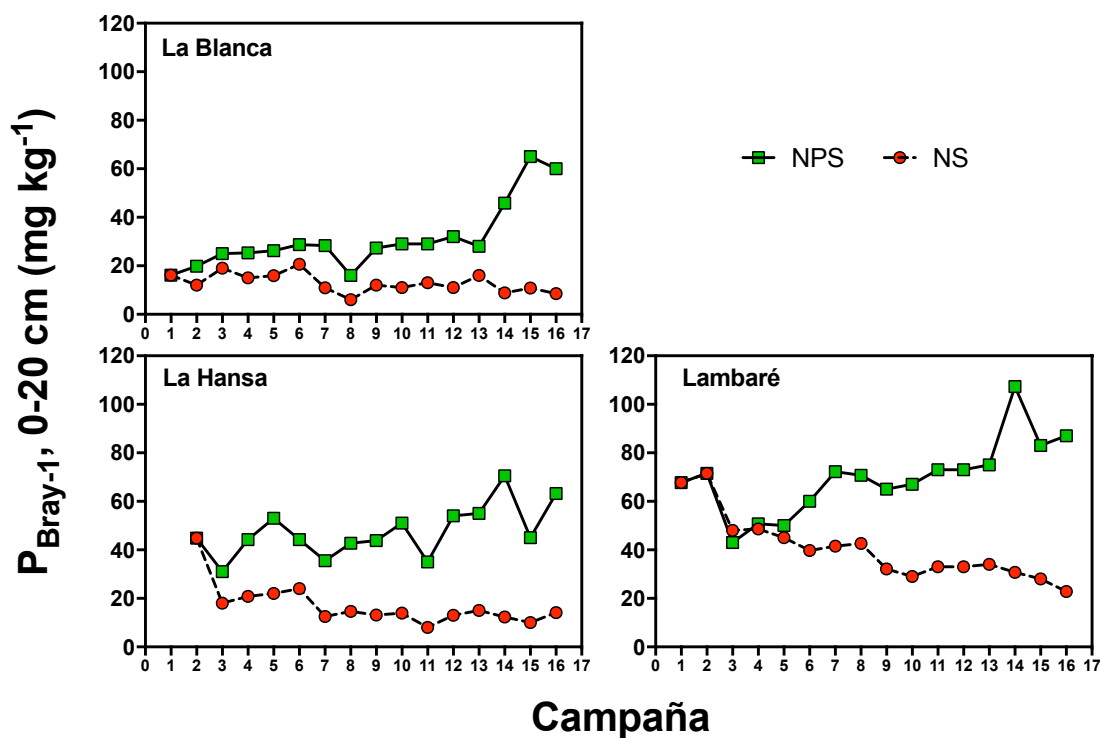


Fig. 2. Evolución de P Bray (0-20 cm), desde el establecimiento de los ensayos bajo rotación M-Sj-T/Sj, en los tratamientos con (NPS) y sin la aplicación de fósforo (NS). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Campañas 1 (200/01) a 15 (2015/16).

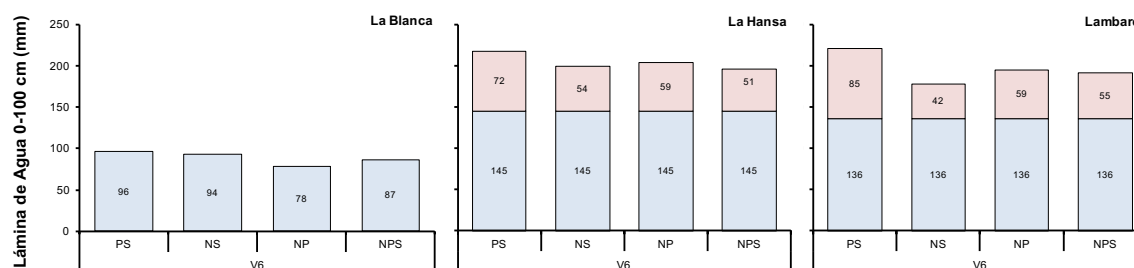


Fig. 3. Lámina de agua (mm) hasta el metro de profundidad (celeste) en V6 para los tratamientos PS, NS, NP y NPS, en los ensayos bajo rotación M-Sj-T/Sj. Las barras rojas indican lámina por encima de capacidad de campo. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2015/16.

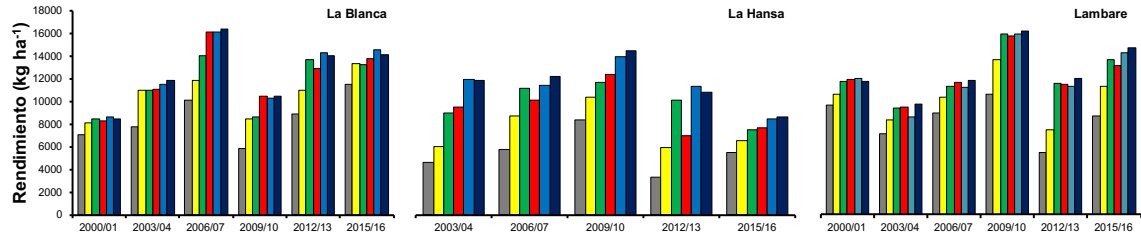


Fig. 4. Evolución de los rendimientos promedio de maíz para los seis tratamientos en los sitios bajo rotación M-Sj-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campañas 2000/01 a 2015/16.

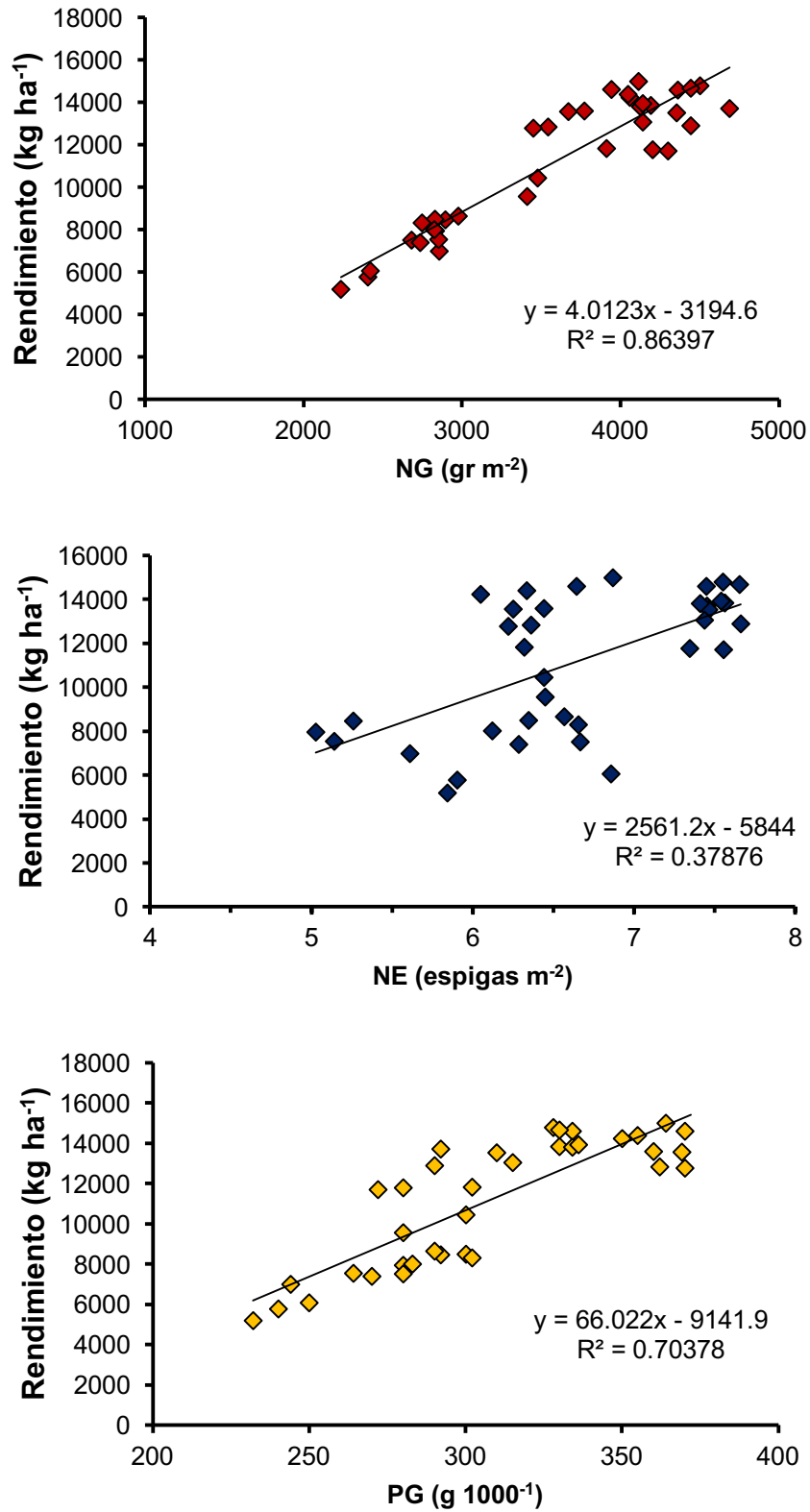


Fig. 5. Relaciones entre el rendimiento de maíz y: el número de granos por m² (arriba), el número de espigas por m² (medio) y el peso de mil granos (abajo). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2015/16.



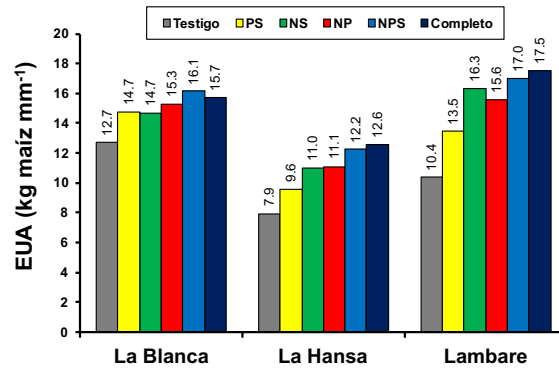


Fig. 6. Eficiencia de uso del agua (EUA) en maíz, calculada como cociente entre el rendimiento y la suma de las precipitaciones durante el ciclo más la diferencia de almacenaje de agua en el suelo entre la siembra y madurez fisiológica, para los sitios bajo rotación M-Sj-T/Sj. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Maíz. Campaña 2015/16.

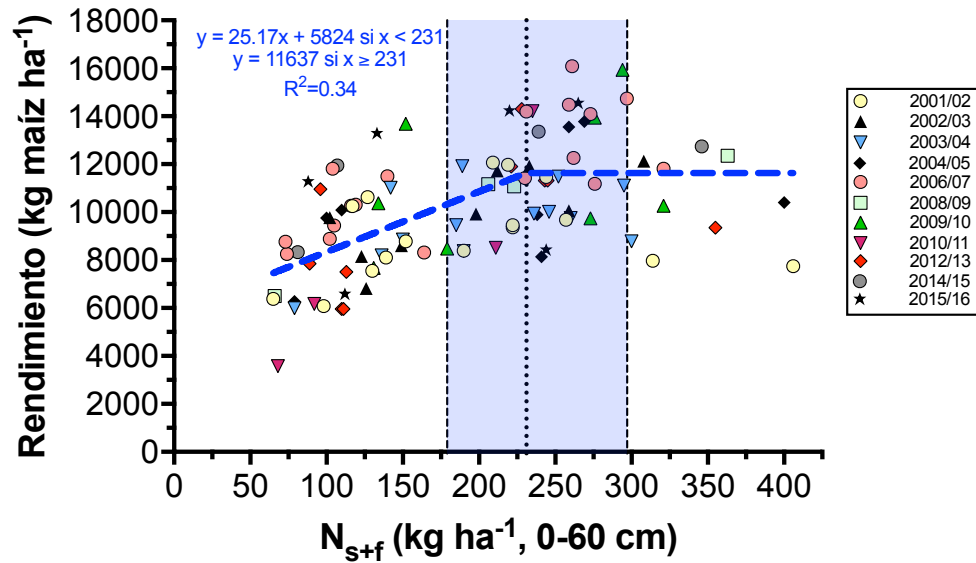


Fig. 7a. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante (n=100). Las líneas punteadas verticales indican un valor umbral de 231 kg N ha⁻¹ para alcanzar un rendimiento máximo medio de 11637 kg ha⁻¹. La franja vertical azul indica el intervalo de confianza para el umbral (IC_{95%} = 179 a 297 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 y 2015/16.

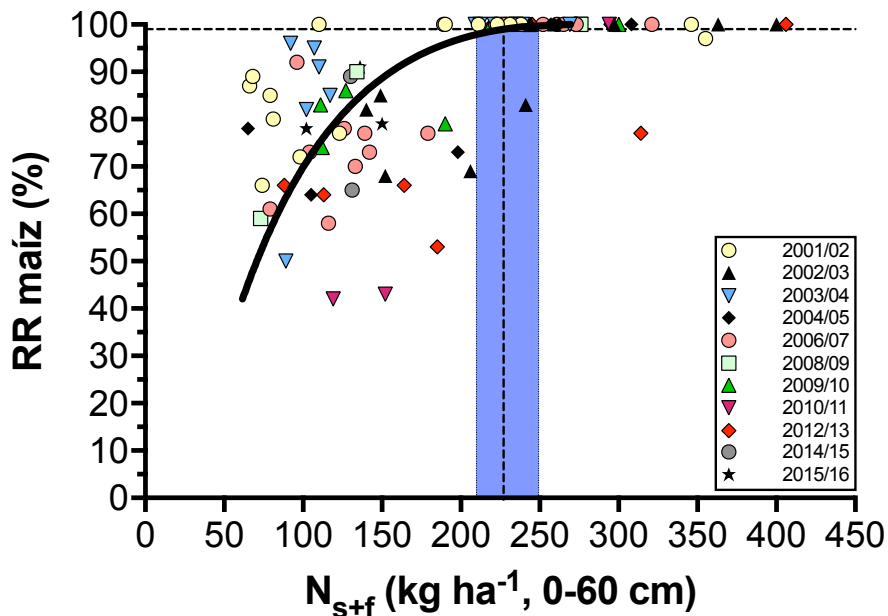


Fig. 7b. Rendimiento relativo (%) de maíz en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante (n=100). Las líneas punteadas verticales indican un valor umbral de 227 kg N ha⁻¹ para alcanzar el 99% del rendimiento relativo al máximo. La franja vertical azul indica el intervalo de confianza para el umbral (IC_{95%} = 210 a 246 kg N ha⁻¹). La curva de ajuste (r=0.72, 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 y 2015/16.

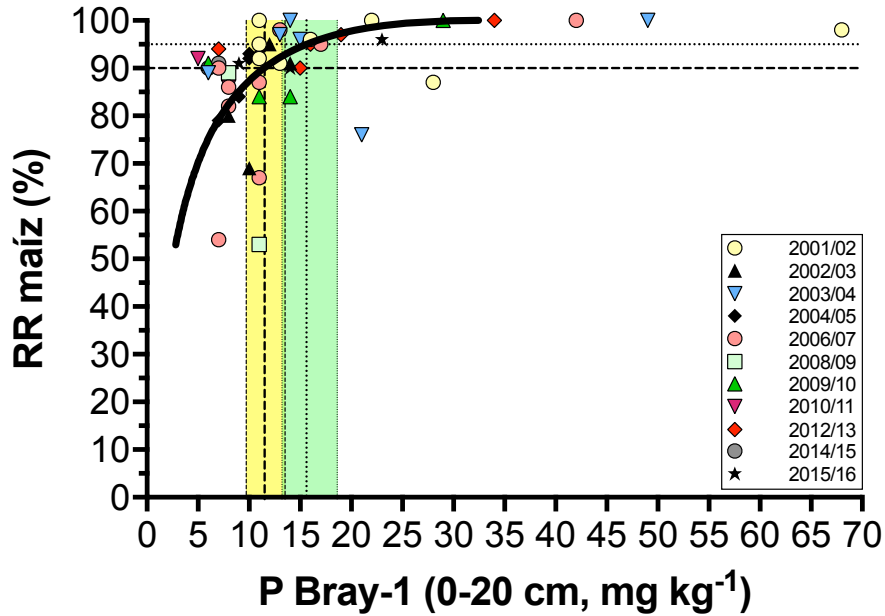


Fig. 8. Rendimiento relativo (RR) de maíz (NS/NPS) en función del nivel de $P_{\text{Bray-1}}$ (0-20 cm) a la siembra. $n=50$. Las líneas punteadas rojas y verdes indican niveles críticos de 11.5 mg kg^{-1} ($IC_{95\%}=9.7$ a 13.5 mg kg^{-1}) y 15.6 mg kg^{-1} ($IC_{95\%}=13.2$ a 18.6 mg kg^{-1}) de $P_{\text{Bray-1}}$ para obtener el 90% y el 95% del rendimiento relativo, respectivamente. La curva de ajuste ($r=0.51$, $p<0.0001$) 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 y 2015/16.

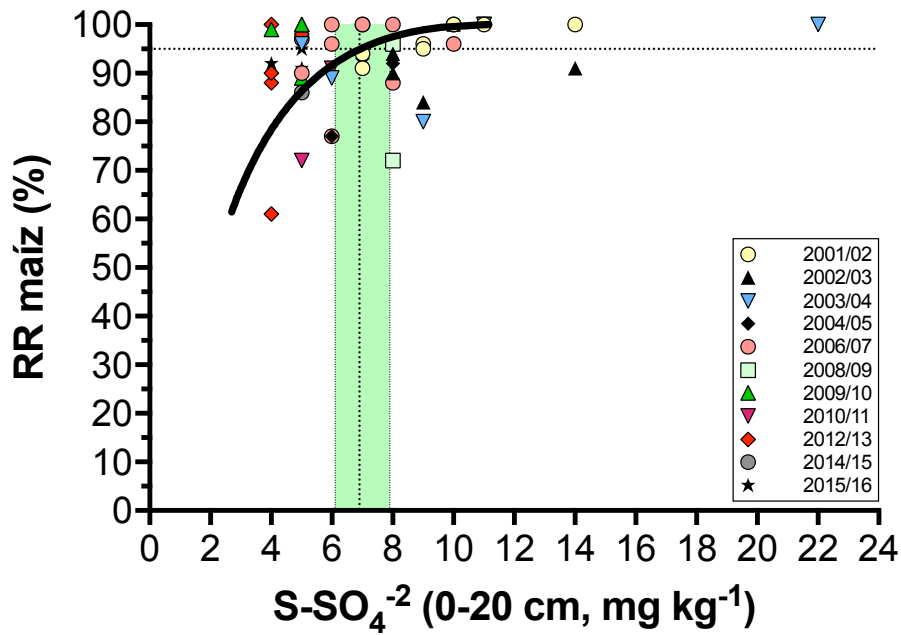


Fig. 9. Rendimiento relativo (RR) de maíz (NP/NPS) en función del nivel de $S-SO_4^{2-}$ (0-20 cm) a la siembra. $n=50$. Las líneas punteadas indican un nivel crítico de 6.9 mg kg^{-1} de $S-SO_4^{2-}$ para obtener 95% del rendimiento relativo ($IC_{95\%}=6.1 \text{ a } 7.9 \text{ mg kg}^{-1}$). La curva de ajuste ($r=0.31$, $p=0.01$) 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.