



Nutrición en la Rotación

Ensayos de la Región CREA Córdoba Norte

Compilación de resultados 2014/15 a 2018/19

Preparado por:

Diego López (Responsable Técnico Zonal Región CREA Córdoba Norte), Sofía Pedraza (Región CREA Córdoba Norte), Lucas Feroli (Nutrien Ag Solutions), Matías Salinas (Nutrien Ag Solutions) y Fernando O. García (Consultor-FCA Balcarce)

La región Córdoba Norte del movimiento CREA, con el auspicio de Nutrien Ag Solutions y la colaboración del ex-IPNI Cono Sur, llevo a cabo una red de ensayos de nutrición de cultivos entre las campañas 2014/15 y 2018/19. Estos ensayos se continuaron en los mismos sitios y parcelas de la red de ensayos iniciada por la región CREA en la campaña 2008/09. Los objetivos generales en esta segunda etapa de cinco campañas agrícolas (2014/15 a 2018/19, inclusive) fueron:

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 micronutrientes: boro (B) 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 compilados de las cinco campañas en los sitios Cañada de Luque, Colonia Almada, Piquillín, Totoral y Sarmiento. Los objetivos específicos de este reporte son:

1. Evaluar la respuesta productiva y económica a la fertilización con diferentes nutrientes y el efecto acumulado a través de las cinco campañas.
2. Evaluar los análisis de suelos como herramienta predictiva de la respuesta a nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y otros nutrientes.
3. Discutir las interacciones de disponibilidad hídrica con el rendimiento de los cultivos y la respuesta a la fertilización.
4. Determinar los balances de nutrientes en los distintos tratamientos y sus efectos sobre propiedades de los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la campaña 2014/15 se inició la segunda etapa de una serie de ensayos de fertilización de maíz, trigo, soja y otros cultivos, en campos de productores de la Región CREA Córdoba Norte cuya primera etapa comenzó en la campaña 2008/09 y finalizó en 2013/14. Entre las campañas 2014/15 y 2018/19 se realizaron 24 evaluaciones de cultivos en los cinco sitios (**Tablas 1 y 2, Fig. 1**).

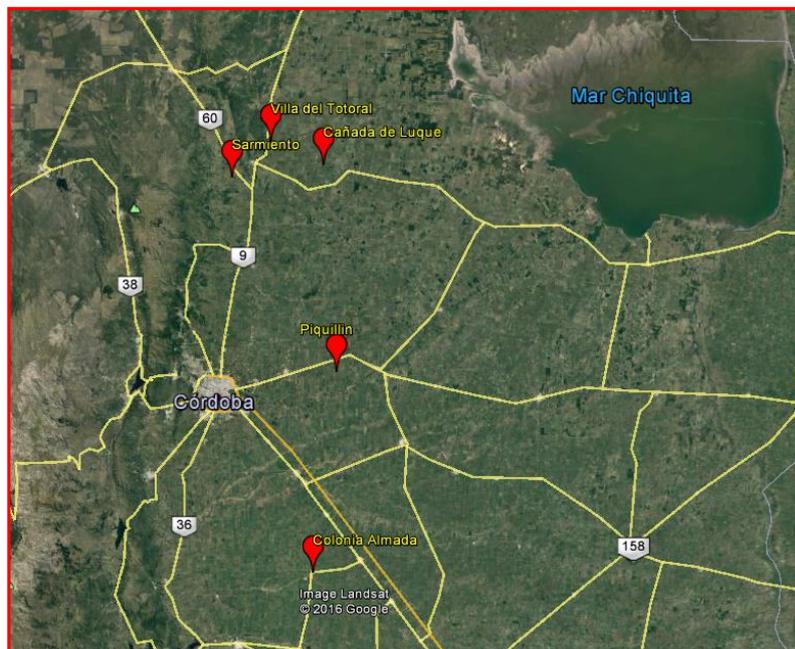


Figura 1. Ubicación geográfica de los cinco ensayos de la Red de nutrición de cultivos de la Región CREA Córdoba Norte.

Los tratamientos evaluados se indican en la **Tabla 3**, y siempre se establecieron sobre las mismas parcelas. Las dosis de N en maíz se definieron según requerimientos para rendimientos objetivo de 9000 kg maíz ha⁻¹, y 3500 kg trigo ha⁻¹. Los cultivos de soja no se fertilizaron con N. Las dosis de P y S se determinaron para reponer el equivalente a la extracción en grano más un 5-10% extra en concepto de construcción de fertilidad. Las dosis de B y Zn en el tratamiento Completo fueron de suficiencia con 0.5-1 kg B ha⁻¹ y 0.5-2 kg Zn ha⁻¹.

Las fuentes utilizadas fueron urea (fuente de N), fosfato monoamónico (fuente de P), yeso granulado (fuente de S), y distintos fertilizantes sólidos como fuente de micronutrientes.

En todos los casos se utilizó un diseño en bloques completos al azar con dos repeticiones. El tamaño de las parcelas es de aproximadamente 20 m de ancho x 250 m

de largo. Todas las prácticas de manejo del cultivo (siembra, fertilización, manejo de adversidades, etc.) se realizan con maquinaria de los productores. La cosecha de granos se realizó con maquinaria del productor y se estandarizó a humedad de recibo.

Anualmente, a la siembra de los cultivos, se tomaron muestras compuestas de suelo en parcelas selectas para el análisis de P Bray y S-SO₄⁻² en los primeros 20 cm, y N-NO₃⁻ en los primeros 60 cm del perfil. En cada establecimiento se registraron las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos (**Tabla 4**).

Tabla 1. Información de los sitios de los ensayos Nutrición en la Rotación de la Región CREA Córdoba Norte. 2014/15 a 2018/19 inclusive.

Sitio	Cañada de Luque	Colonia Almada	Piquillín	Sarmiento	Totoral
CREA	Cañada de Luque Sitón	Laguna Larga	Rio I	Pie de Sierras	Totoral
Zona Agroecológica	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 3	Zona 1
Serie Suelos	MNtc-21	Oncativo	MNtc-7	MNen-57	MNen-57
Tipo suelo	Haplustol típico	Haplustol éntico	Haplustol típico	Haplustol éntico	Haplustol éntico y típico
Textura	Franco limoso a Franco	Franco limoso	Limoso fino	Limoso grueso a fino	Limoso fino
Años de Agricultura a 2014	15	15	20	18	15
Rotación propuesta	Sj-T/S-M	S-T/M-T/S	M-S-T/S	M-S-T/S	M-S
Antecesor 2013/14	Soja	Trigo	Maíz	Maíz	Maíz

Tabla 2. Cultivos evaluados en los cinco sitios de los ensayos Nutrición en la Rotación de la Región CREA Córdoba Norte. 2014/15 a 2018/19 inclusive.

Sitio	2014	2015	2016	2017	2018
Cañada de Luque	Maiz 2da	Soja 1ra	Trigo/Soja 2da	-	Garbanzo*
C. Almada	Maiz 2da	Soja 1ra	Trigo/Maíz 2da	Soja 1ra	Maiz 1ra
Piquillín	Soja 1ra	Trigo/Soja 2da	Maiz 1ra	Soja 1ra	Garbanzo/ Maiz 2da
Sarmiento	Soja 1ra	Maiz 1ra	Soja 1ra*	-	-
Totoral	Soja 1ra	Maiz 1ra	Soja 1ra	Maiz 1ra	Soja 1ra

*No se cosechó.

Tabla 3. Tratamientos de fertilización de los ensayos Nutrición en la Rotación de la Región CREA Córdoba Norte. 2014/15 a 2018/19 inclusive. Las fuentes de fertilizante utilizadas fueron urea (46-0-0), fosfato monoamónico (11-22-0), yeso azufertil (0-0-0-19S), B10 y Zn 40.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	PS	NS	NP	NPS	+Micros
Dosis de Nutrientes (kg/ha)						
N	0	0-10	50-92	50-92	50-92	50-92
P	0	20-29	0	20-29	20-29	20-29
S	0	7-15	7-15	0	7-15	7-15
B	0	0	0	0	0	0.5-1
Zn	0	0	0	0	0	0.5-2

Tabla 4. Precipitaciones mensuales (mm) registradas en los cinco sitios de los ensayos Nutrición en la Rotación de la Región CREA Córdoba Norte. 2014/15 a 2018/19 inclusive.

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Cañada de Luque												
2014	60	116	71	100	38	0	0	0	20	25	129	88
2015	175	225	230	45	7	0	8	20	0	20	137	76
2016	94	237	96	15	4	36	3	1	0	128	104	103
2017	193	146	41	64	14	20	0	0	25	0	5	2
2018	79	45	15	25	79	0	0	0	37	74	34	81
2019	238	43	187	119	20	0	32	0	0	25	149	87
Colonia Almada												
2014	80	227	137	86	<i>sd</i>							
2015	113	149	195	19	5	2	6	29	12	28	62	22
2016	89	276	52	174	SD	60	5	1	3	50	21	124
2017	168	55	155	47	23	23	20	4	75	76	66	134
2018	75	72	0	63	95	1	3	3	34	76	218	81
2019	81	57	101	122								
Piquillín												
2014	58	186	131	76	12	0	5	0	18	48	66	72
2015	158	416	146	55	8	0	5	28	9	16	55	59
2016	61	196	60	158	12	47	4	1	3	60	94	115
2017	75	167	69	28	39	14	2	5	71	58	13	105
2018	92	69	1	43	114	4	0	0	10	34	104	45
2019	310	51	110	170	0	0	0	0	0	46	0	0
Sarmiento												
2014	60	116	71	100	30	5	2	0	48	39	86	114
2015	52	254	209	77	37	0	10	24	4	0	138	143
2016	125	0	119	0	17	45	2	1	5	49	97	107
2017	115	106	35	33	22	12	0	0	25	0	5	2
2018	163	110	1	24	49	0	0	0	69	84	34	34
2019	203	54	99	44	S/R	S/R	S/R	S/R	5	49	88	77
Totoral												
2014	60	116	71	100	30	0	5	19	0	24	80	37
2015	129	87	81	71	29	0	5	22	0	24	108	66
2016	125	87	83	89	18	29	1	0	0	88	58	136
2017	138	117	89	38	18	9	2	1	44	37	37	97
2018	94	44	1	49	100	25	0	0	39	73	30	42
2019	188	37	125	149	20	2						
<i>Histórico Jesús María</i>	127	106	110	56	26	11	9	11	31	69	103	121

sd, sin datos.

RESULTADOS

Rendimientos y respuesta a la fertilización

Análisis general

Los rendimientos por cultivo y sitio se muestran en la **Tabla 5**, y los rendimientos promedio por tratamiento para los cultivos evaluados en los cinco ensayos en la **Fig. 2**.

Los rendimientos variaron entre sitios y campañas (**Tabla 5**). En general, los rendimientos se ubicaron en la media zonal o por arriba de la misma, excepto en los casos de bajo rendimiento de trigo 2016/17 y soja 1ra. 2017/18 en Colonia Almada; soja 1ra. 2014/15 y 2017/18 y garbanzo 2018/19 en Piquillín; y el maíz 1ra. 2017/18 de Totoral (siembra temprana).

En promedio, y considerando los años como repeticiones, el maíz 1ra. y el maíz 2da. mostraron diferencias significativas entre tratamientos al 5% (**Fig. 2**). En maíz 1ra., los fertilizados superaron al Testigo. En maíz 2da., los tratamientos con N superaron al tratamiento PS y el Testigo que no difirieron entre si. Para trigo, las diferencias entre tratamientos fueron significativas al 10%, los tratamientos con N y P superaron a los tratamientos NS, PS y el Testigo. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para soja 1ra. y soja 2da.

Las respuestas a la fertilización en maíz permitieron incrementar la eficiencia de uso del agua. La **Fig. 3** muestra la relación entre los rendimientos de maíz (1ra. y 2da.) de los tratamientos Testigo y NPS y el abastecimiento de agua (precipitaciones durante el ciclo mas 150/200 mm de agua almacenada en el suelo a la siembra, 150 mm para maíz 2da. y 200 mm para maíz 1ra.). La línea negra de la figura muestra la función de frontera propuesta por van Ittersum et al. (2013) para cereales, que indica una eficiencia de referencia de 22 kg/ha de maíz o trigo por mm de agua disponible. Los maíces 1ra. con NPS de Totoral y Sarmiento 2015/16, Piquillín 2016/17 y C. Almada 2018/19, mostraron eficiencias de uso cercanas al óptimo (15.7 a 19.3 kg/mm), con diferencias de 2-4.5 kg/mm con los tratamientos Testigo. Los maíces 2da. presentaron menores eficiencias de uso del agua: 7.3 a 12.0 y 9.7 a 13.9 kg/mm para Testigo y NPS, respectivamente. En promedio para todos los maíces (1ra. y 2da.), el Testigo alcanzó 11.7 kg/mm y el NPS 14.4 kg/mm, una diferencia del 24% en eficiencia de uso del agua. En el caso de soja, las eficiencias de uso de agua no se diferenciaron entre tratamientos y variaron entre 5.0 y 5.2 kg/mm. En sistemas de alta eficiencia en el uso de agua se han observado valores de 10-12 kg/mm en soja.

La productividad parcial de N, estimada como el cociente entre el rendimiento y la dosis de N aplicada, varió entre 102 y 259 kg maíz por kg de N aplicado, con un promedio de

184 kg maíz por kg N aplicado (DS 56 kg maíz/kg N). Este es un valor muy alto ya que los valores de sistema eficientes a nivel global se ubican en unos 60-80 kg maíz por kg N aplicado, y estaría indicando que mucho del N utilizado por los cultivos proviene de la mineralización del N orgánico y que, probablemente, la eficiencia fisiológica de uso del N sea elevada. Por otra parte, la respuesta a N en maíces fue muy errática con eficiencias agronómicas de uso del N aplicado (EAN) que promediaron 19 kg maíz por kg N aplicado, pero variaron entre 3 y 76 kg maíz por kg N aplicado. Los sitios con EAN mayor de 20 kg maíz por kg N aplicado (Totoral 2017/18 y C. Almada 2014/15 y 2016/17), fueron los de rendimientos de menos de 6000 kg/ha sin aplicación de N (tratamiento PS).

Análisis por ensayo y por sitio

Analizando estadísticamente cada ensayo (**Tabla 5**):

- Los *maíces de primera* (5 ensayos) presentaron respuestas significativas a N en tres ensayos evaluados: Totoral 2015/16, Piquillín 2016/17 y aun en la campaña seca de 2017/18 en Totoral. La respuesta a N interactuó con P en Sarmiento 2015/16, Totoral 2015/17, Piquillín 2016/17 y C. Almada 2018/19, con S en Sarmiento 2015/16, Totoral 2015/16 y C. Almada 2018/19. Asimismo, se registraron respuestas, de menor magnitud, a PS en tres ensayos: Sarmiento 2015/16, Totoral 2015/16 y C. Almada 2018/19. La respuesta promedio a N fue de 533 kg/ha; a NS, NP o NPS de 1504-1587 kg/ha; y a PS de 996 kg/ha.
- En *maíces de segunda* (4 ensayos), se observó respuesta significativa a N en dos ensayos: C. Almada 2014/15 y 2016/17, y a P en tres ensayos: C. Almada 2014/15 y 2016/17 y Piquillín 2018/19. La respuesta a N interactuó con P y con S en Cañada de Luque 2014/15 y Piquillín 2018/19. Asimismo, se registró respuesta a PS en Piquillín 2018/19. La respuesta promedio a N fue de 1537 kg/ha; a NS o NP o NPS de 1317-2276 kg/ha; y a PS de 739 kg/ha.
- Las *sojas de primera* (9 ensayos) presentaron respuesta a S, NS y PS en Sarmiento 2014/15, y a PS en Piquillín 2017/18. En promedio, la diferencia entre el tratamiento PS y el Testigo fue de 154 kg/ha.
- Las *sojas de segunda* (2 ensayos), no mostraron respuestas consistentes a ningún nutriente.
- En *trigo* (3 ensayos), se registró respuesta a N y NP solamente en Cañada de Luque 2016/17. La respuesta a NP, promedio para los tres ensayos, fue de 468 kg/ha.
- En un único ensayo de *garbanzo* no se observó respuesta a la fertilización.

A nivel de sitio:

- *Cañada de Luque* (3 campañas, 4 cultivos): Sitio de alto P Bray y bajo S-sulfato, con niveles bajos de N-nitrato en 2014/15 y medios en 2015/16 y 2016/17 (**Tabla 6**). Las precipitaciones fueron adecuadas en las tres campañas. La respuesta a N fue clara en maíz y en el caso de trigo cuando se acompañó con P.
- *Colonia Almada* (5 campañas, 6 cultivos): Es el sitio de menor P Bray, el cual aun es considerado adecuado para cultivos de grano. El S-sulfato es bajo, al igual que el N-nitrato en 2014/15 y 2016/17 (**Tabla 6**). Las precipitaciones fueron adecuadas en las campañas 2014/15, 2015/16 y 2016/17, pero escasas en 2017/18. El trigo 2016/17 fue afectado por problemas en la implantación y se logró un muy bajo stand de plantas. La respuesta a N fue clara en maíz, en especial cuando se sumó P. No se observaron respuestas en soja.
- *Piquillín* (5 campañas, 7 cultivos): Sitio de alto P Bray y bajo S-sulfato, con niveles bajos de N-nitrato en 2015/16, pero medios a altos en 2016/17 y 2018/19 (**Tabla 6**). En general, las precipitaciones fueron adecuadas, excepto en 2017/18 con una sequía importante. En 2014/15 se registró granizo al final del ciclo de la soja. La respuesta a N fue clara en maíz cuando se acompañó con P. Las sojas y el trigo no mostraron respuestas significativas.
- *Sarmiento* (2 campañas, 2 cultivos): Sitio de alto P Bray y bajo S-sulfato, con niveles altos de N-nitrato en 2015/16 (**Tabla 6**). Las precipitaciones fueron adecuadas en 2014/15 pero medias en 2015/16. En maíz se observaron respuestas a NPS y en soja a PS.
- *Totoral* (5 campañas, 5 cultivos): Sitio de alto P Bray y bajo S-sulfato, con niveles altos y medios de N-nitrato en 2015/16 y 2017/18, respectivamente (**Tabla 6**). En general, las precipitaciones fueron adecuadas, excepto en 2017/18 y, en mucha menor medida, en 2018/19. La respuesta a N fue clara en maíz aun en 2017/18 con bajas precipitaciones y bajos rendimientos. En soja, no se observaron respuestas significativas en 2014/15, mientras que en 2018/19 las respuestas fueron erráticas.

Tabla 5. Rendimientos por cultivo y sitio de los seis tratamientos evaluados en los cinco ensayos en las campañas 2014/15 a 2018/19 inclusive. El año indica el año de siembra.

Año siembra y cultivo	Testigo	PS	NS	NP	NPS	NPSZnB
Cañada de Luque						
2014 - Maiz 2da.	7027 c*	7944 abc	8691 a	7988 ab	7582 bc	8173 ab
2015 - Soja 1ra.	3933	3936	3795	3507	3663	4025
2016 - Trigo	3887 c	3998 bc	4220 abc	4497 ab	4608 a	4220 abc
2016 - Soja 2da.	3534	3368	3483	3381	3334	3170
Colonia Almada						
2014 - Maiz 2da.	5109 b	5752 b	5323 b	7040 ab	8285 a	6439 ab
2015 - Soja 1ra.	3776	4048	4048	4116	3980	4150
2016 - Trigo	635	556	635	1191	1191	794
2016 - Maiz 2da.	5046 c	5679 c	7731 b	8818 ab	9473 a	8036 ab
2017 - Soja 1ra.	2321	2351	2471	2410	2232	2291
2018 - Maiz 1ra.	9500 b	12273 a	12091 a	11636 a	12364 a	12864 a
Piquillín						
2014 - Soja 1ra.	3116	2987	3181	3042	3079	3024
2015 - Trigo	3568	3683	3374	3804	3898	3724
2015 - Soja 2da.	3095	3253	3199	3428	3280	3360
2016 - Maiz 1ra.	9287 c	10261 b	10231 b	11173 a	10902 a	11228 a
2017 - Soja 1ra.	1728 b	1844 a	1616 c	1742 b	1614 c	1672 bc
2018 - Garbanzo	463	565	426	630	490	574
2018 - Maiz 2da.	8470 d	9232 bc	9176 c	9454 a	9417 a	9380 ab
Sarmiento						
2014 - Soja 1ra.	4243 e	5101 a	4915 b	4579 d	4909 b	4761 c
2015 - Maiz 1ra.	8852 c	9888 b	9927 b	9801 b	10035 ab	10386 a
Totoral						
2014 - Soja 1ra.	5091	5091	4977	5317	5232	5317
2015 - Maiz 1ra.	11517 c	12323 b	12944 a	12894 a	12944 a	12273 b
2016 - Soja 1ra.	4930	5205	5048	4970	5295	5016
2017 - Maiz 1ra.	5582 bc	4975 c	7064 a	7170 a	6139 b	6509 a
2018 - Soja 1ra.	3954 a	3921 a	3626 bc	3779 a	3535 c	3757 b

Letras distintas para un mismo año/cultivo (fila) indican diferencias significativas entre tratamientos al 5% de probabilidad.

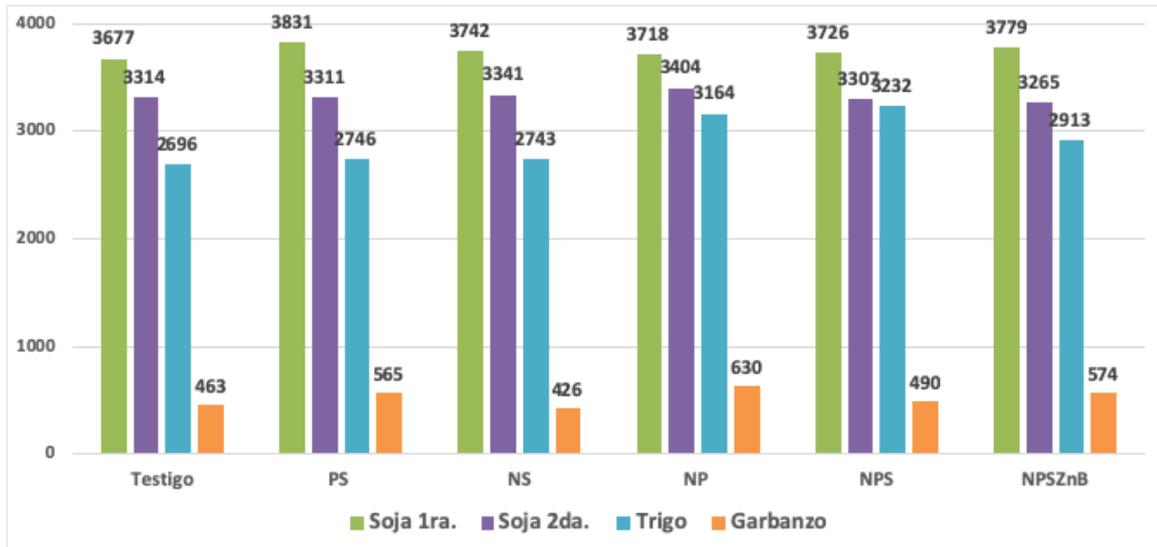
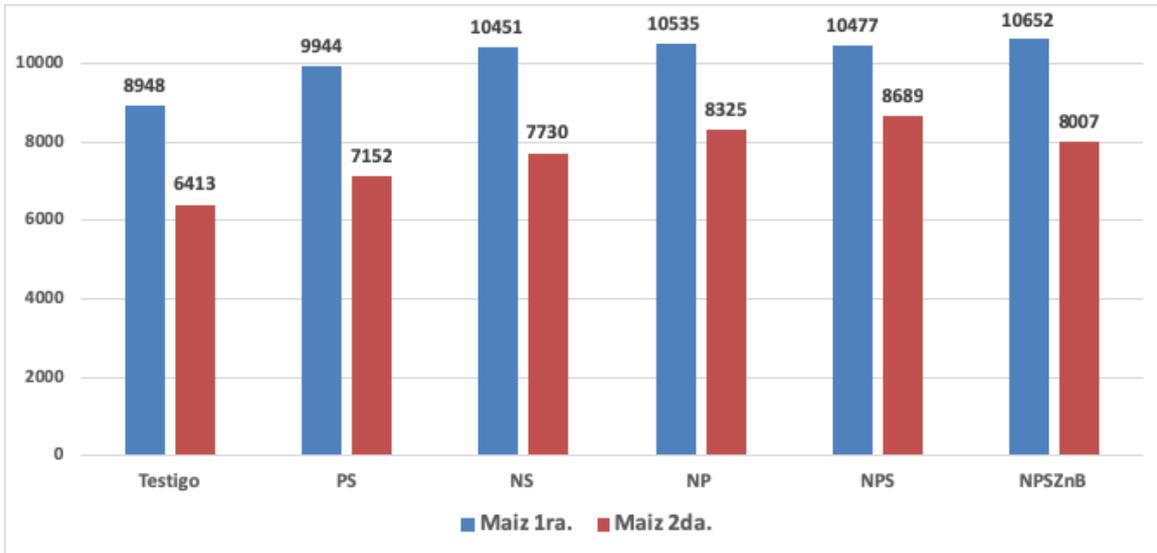


Figura 2. Rendimientos promedio por tratamiento para los cultivos evaluados en los cinco ensayos. Numero de cultivos: 4 Maíz 1ra.; 3 Maiz 2da.; 9 Soja 1ra.; 5 Soja 2da.; 3 Trigo y 1 Garbanzo.

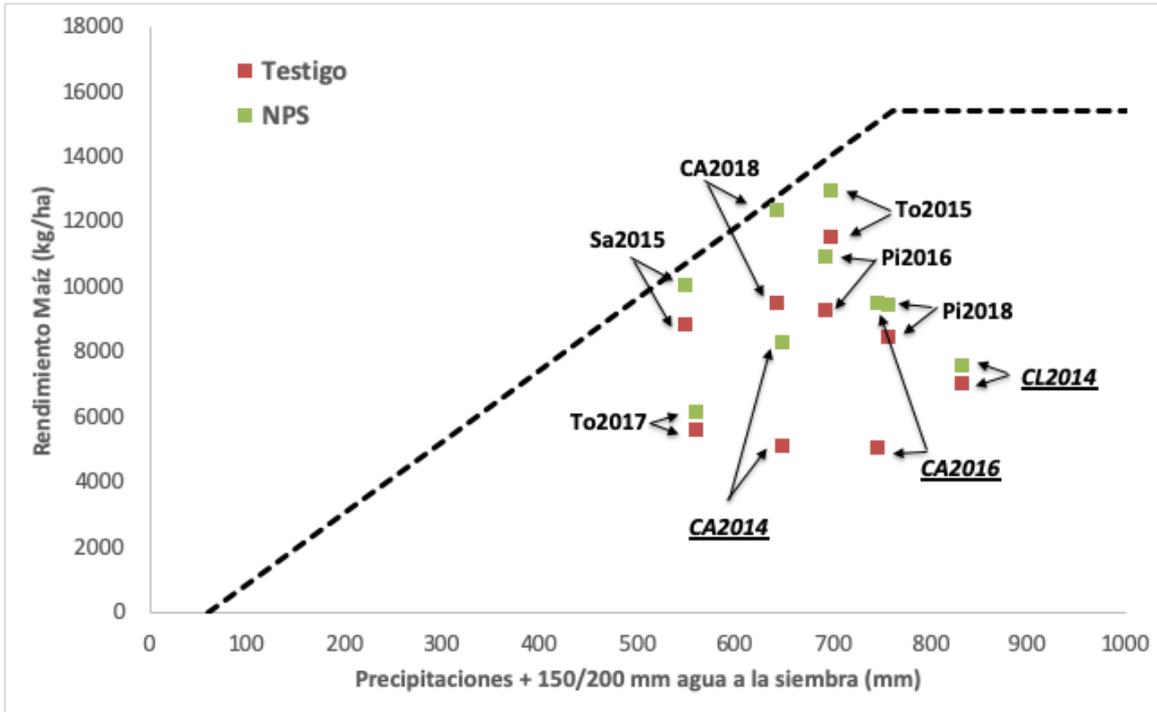


Figura 3. Relación entre rendimientos de maíz 1ra. (fuente normal) y 2da. (fuente itálica y subrayado) de tratamientos Testigo y NPS con el abastecimiento de agua (precipitaciones durante el ciclo mas 200 y 150 mm de agua almacenada en el suelo a la siembra de maíz 1ra y maíz 2da., respectivamente). La línea negra punteada muestra la función de frontera propuesta por van Ittersum et al. (2013) para cereales. CL es Cañada de Luque, CA es C. Almada, Pi es Piquillín, Sa es Sarmiento y To es Totoral.

Evolución de análisis de suelo y relaciones con la respuesta a la fertilización

Los análisis de suelos, realizados a la siembra, se muestran en la **Tabla 6**. En el muestreo inicial de 2014/15, los niveles de P Bray eran altos en todos los sitios. Esos niveles de P Bray fueron disminuyendo en los tratamientos NS de los cinco sitios, en especial en Colonia Almada, Piquillín y Sarmiento, aunque en ningún caso llegaron a valores menores a 20 ppm, que sería un nivel crítico a observar (**Fig. 4**). La fertilización con P (tratamiento NPS) permitió mantener niveles más altos (comparación con tratamiento NS), en promedio para los tres sitios en los que se evaluaron cinco años (C. Almada, Piquillín y Totoral), el P Bray promedio de 45 ppm en 2014 pasó a 29 ppm en el tratamiento NS y a 34 ppm en el tratamiento NPS.

La caída de P Bray en el tratamiento NS se justifica por los balances negativos (remoción de P en grano sin aplicación) (**Fig. 5**). En el tratamiento NPS, las dosis de P aplicado fueron similares o levemente superiores a la remoción de P en grano, manteniendo balances de P levemente positivos. Los balances de N fueron negativos para todos los tratamientos ya que las dosis aplicadas buscaban optimizar rendimientos sin reponer el N removido en granos. En el caso de S, las dosis aplicadas, en los tratamientos correspondientes, permitieron mantener balances cercanos a la neutralidad.

Los niveles de N-nitrato (0-60 cm) a la siembra de maíces o trigo fueron en general medios, promedio de 81 y 83 kg N/ha para los tratamientos PS y NPS, respectivamente. Los valores más bajos se observaron en Cañada de Luque 2014/15, en Colonia Almada 2014/15, 2016/17 y 2018/19, y en Piquillín 2015/16, y los más altos en Sarmiento, en Totoral y en Piquillín 2018/19.

Los valores de S-sulfato (0-20 cm) siempre fueron bajos, por debajo de 10 ppm, aun con aplicación anual de S (tratamiento NPS).

Tabla 6. Resultados de los análisis de suelos realizados a la siembra para tratamientos selectos en cada sitio y campaña. Campañas 2014/15 a 2018/19 inclusive.

Sitio/campaña	N-nitrato (kg/ha)		P Bray (ppm)		S-sulfato (ppm)	
	PS	NPS	NS	NPS	NP	NPS
Cañada de Luque						
2014/15	23	22	67	71	6	4
2015/16	81	81	57	71	4	5
2016/17	81	80	48	55	2	3
Colonia Almada						
2014/15	22	19	34	25	2	4
2015/16		83	20	36	3	2
2016/17	42	72	20	24	4	4
2017/18			21	39	3	4
2018/19	88	54	21	26	4	8
Piquillín						
2014/15			45	43	5	6
2015/16	26	27	37	38	3	3
2016/17	99	94	37	36	2	3
2017/18			44	47	4	4
2018/19	191	155	27	23	6	8
Sarmiento						
2014/15			62	65	3	4
2015/16	99	140	33	23	2	4
2016/17			27	36	1	1
Totoral						
2014/15			56	65	5	5
2015/16	137	181	57	55	3	5
2016/17			39	38	2	2
2017/18	101	102	47	52	2	2
2018/19			39	52	6	6

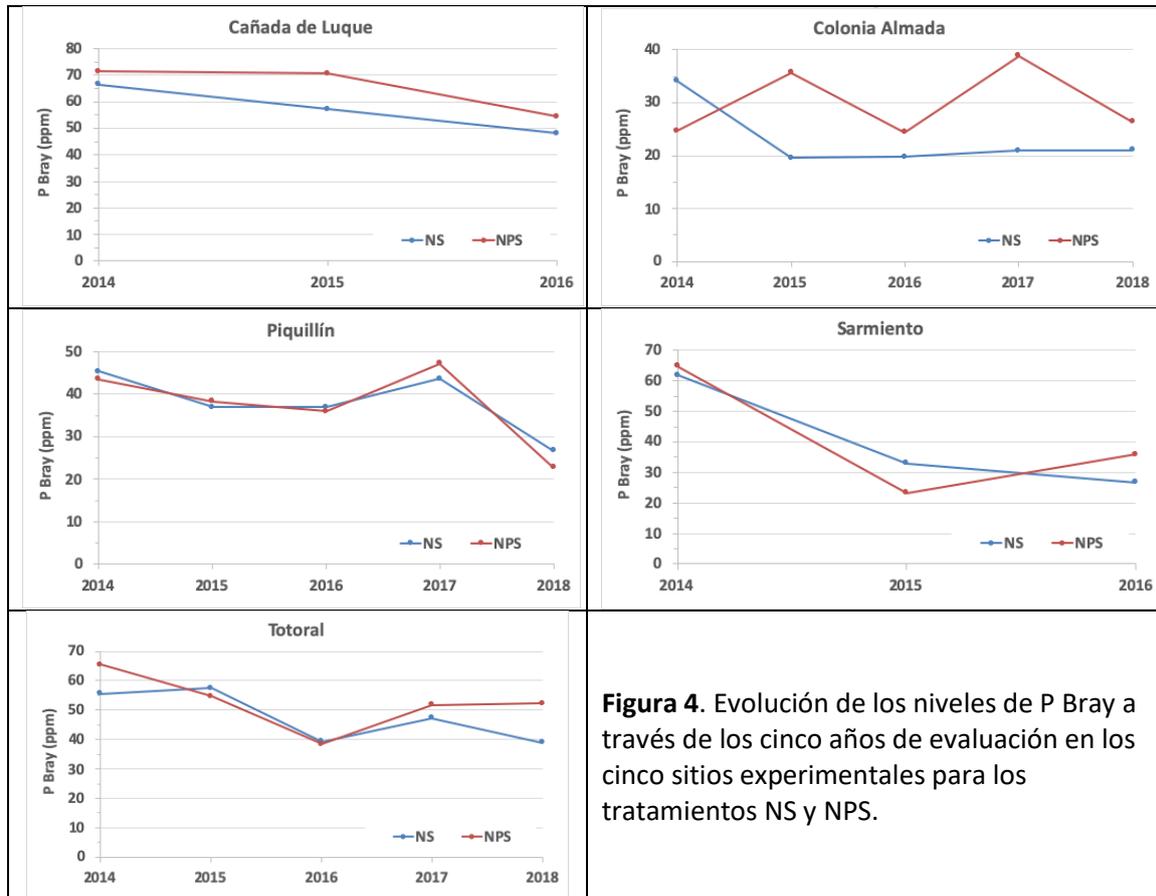


Figura 4. Evolución de los niveles de P Bray a través de los cinco años de evaluación en los cinco sitios experimentales para los tratamientos NS y NPS.

La cantidad de N-nitrato a la siembra (N suelo 0-60 cm + N aplicado como fertilizante) se ha relacionado con el rendimiento de maíz en distintas zonas de la región pampeana. Recientemente, Correndo et al. (2018a) indicaron que esta relación depende del nivel de rendimiento del cultivo. La **Fig. 6** muestra la relación observada por Correndo et al. (2018) y en la misma figura se han incluido las observaciones de estos ensayos, cinco maíces 1ra. y cuatro maíces 2da. Los datos surgidos de esta red se ajustan a las distintas curvas ajustadas a nivel de región pampeana, por lo cual podrían usarse los umbrales críticos propuestos por Correndo et al. (2018a) para los distintos niveles de rendimiento objetivo.

Como se mencionó anteriormente, los sitios con EAN mayor de 20 kg maíz por kg N aplicado, fueron los de rendimientos de menos de 6000 kg/ha sin aplicación de N (tratamiento PS). Considerando precios de urea de U\$450 por t y de maíz de U\$120 por t, la relación de indiferencia es de 8 kg de maíz por kg de N como urea, por lo que estos sitios limitados por N a menos de 6000 kg/ha, son de alta respuesta productiva y económica.



Figura 5. Balance de nutrientes N, P y S, promedios de C. Almada, Piquillín y Totoral, para los seis tratamientos de fertilización. Periodo 2014/15 a 2018/19 inclusive.

En el caso de P, la relación que se ha ajustado es la de rendimiento relativo (rendimiento sin P/rendimiento con P) con el nivel de P Bray (0-20 cm) (Correndo et al., 2018b). De la misma manera que sucede con N, los datos de estos ensayos se ajustan a las curvas regionales para maíz (**Fig. 7**) y para soja (**Fig. 8**). Las respuestas a P o interacciones de P con N o S, se registraron mayormente en los sitios con menor nivel de P Bray de la red como C. Almada, o que cayeron a través de los años como Piquillín y Sarmiento (**Fig. 4**). Con estas observaciones, debería buscarse mantener los niveles de P Bray por arriba de las 20 ppm o, en los suelos con niveles menores, aumentar el P Bray a valores de 20 - 25 ppm aplicando cantidades de P superiores a la remoción de P en grano (balances positivos de P, aplicación > remoción).

En el caso de S, los niveles bajos de S-sulfatos en suelo indicarían posibilidad de respuesta. Sin embargo, vale aclarar que los umbrales críticos de 8-10 ppm, mencionados en otras redes de ensayos en región pampeana, no son muy confiables y siempre se sugiere sumar criterios como los de cantidad y calidad de materia orgánica, presencia de napa, etc. En esta red, las respuestas a S fueron moderadas y, en general, en interacción N y/o P, probablemente a partir del buen aporte por mineralización de S orgánico en suelos con corta historia agrícola.

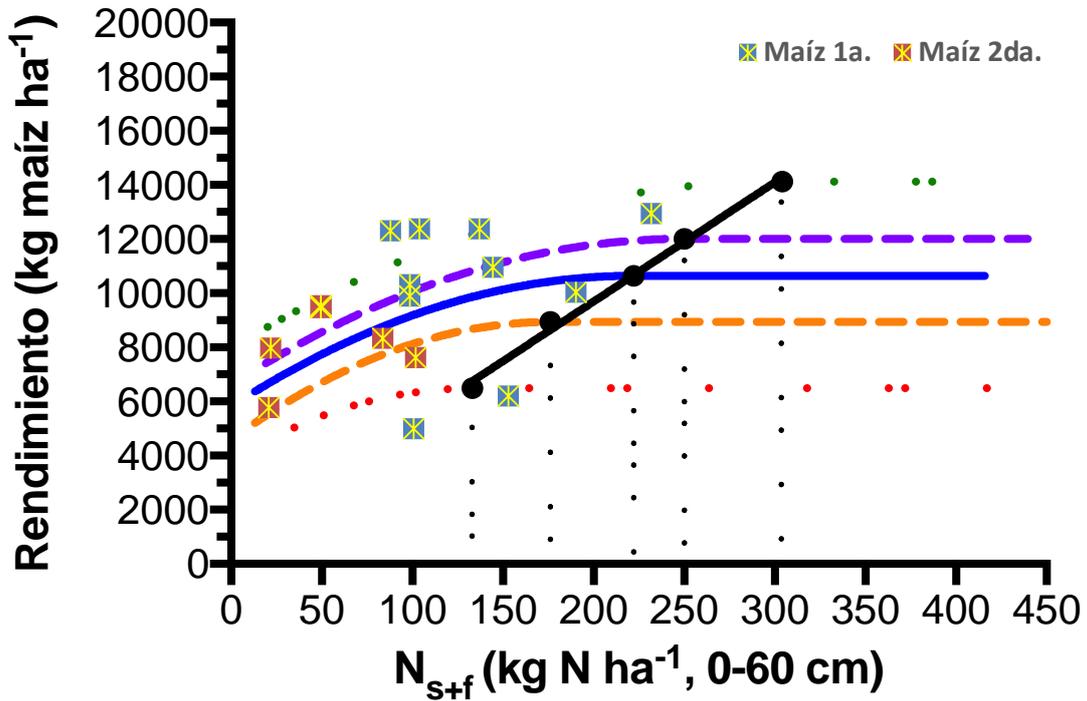


Figura 6. Relación entre rendimientos de maíz y disponibilidad de N a la siembra (N-nitratos a 0-60 cm + N fertilizante) para distintos niveles de rendimiento según Correndo et al. (2018a), y relaciones observadas en los cinco sitios de maíz 1ra. y cuatro de maíz 2da. (puntos según leyenda en la figura) de los ensayos Nutrición en la Rotación de la Región CREA Córdoba Norte. La línea negra continua conecta los umbrales críticos sugeridos para los distintos niveles de rendimiento.

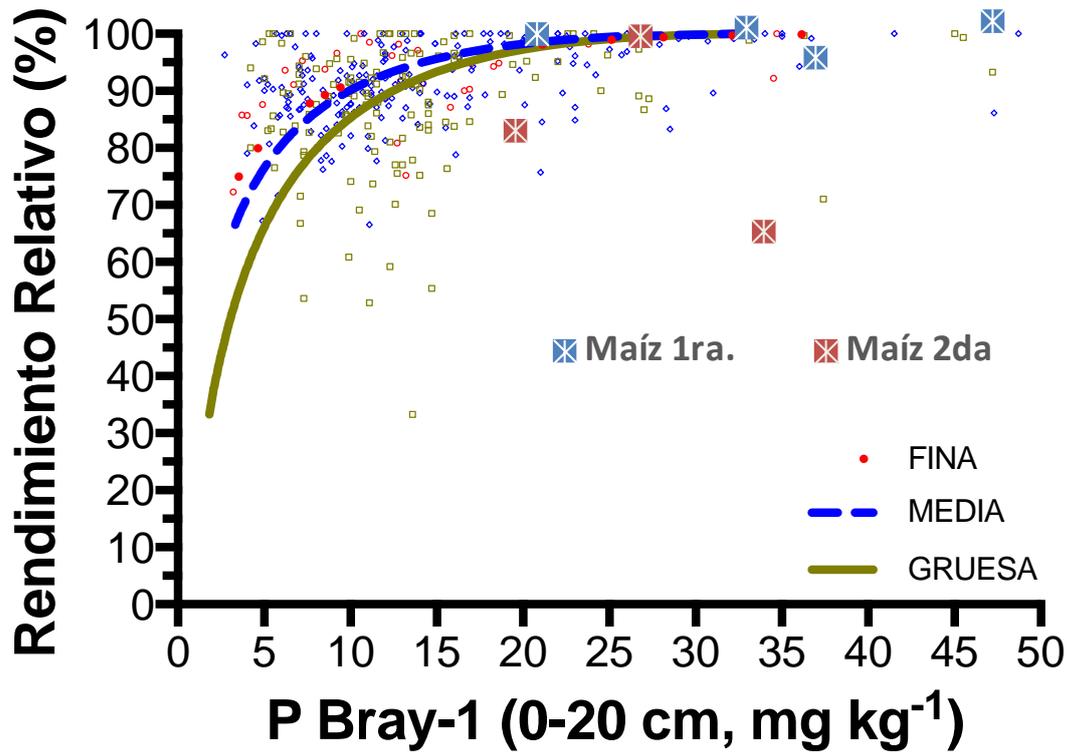


Figura 7. Relación entre rendimientos relativos de maíz (Rendimiento sin P/Rendimiento con P) y nivel de P Bray a 0-20 cm para suelos de distintas texturas según Correndo et al. (2018b), y relaciones observadas en los cinco sitios de maíz 1ra. y cuatro de maíz 2da. (puntos según leyenda en la figura) de los ensayos Nutrición en la Rotación de la Región CREA Córdoba Norte.

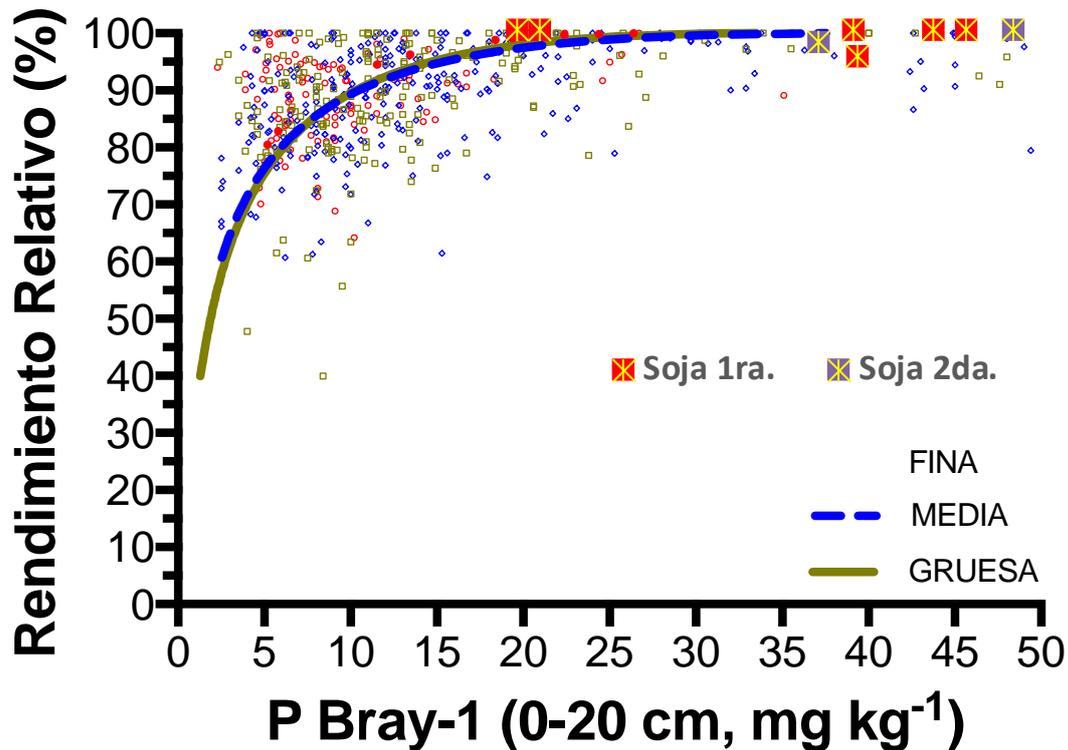


Figura 8. Relación entre rendimientos relativos de soja (Rendimiento sin P/Rendimiento con P) y nivel de P Bray a 0-20 cm para suelos de distintas texturas según Correndo et al. (2018b), y relaciones observadas en los diez sitios de soja 1ra. y dos de soja 2da. (puntos según leyenda en la figura) de los ensayos Nutrición en la Rotación de la Región CREA Córdoba Norte.

CONCLUSIONES

- En las cinco campañas evaluadas, las buenas condiciones climáticas en la mayoría de las campañas permitieron obtener altos rendimientos en los cultivos de maíz y soja.
- En maíz 1ra., los fertilizados superaron al Testigo. En maíz 2da., los tratamientos con N superaron al tratamiento PS y el Testigo que no difirieron entre si. Para trigo, las diferencias entre tratamientos fueron significativas al 10%, los tratamientos con N y P superaron a los tratamientos NS, PS y el Testigo. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para soja 1ra. y soja 2da.
- Las respuestas a la fertilización en maíz permitieron incrementar la eficiencia de uso del agua en un 24%. En el caso de soja, las eficiencias de uso de agua no se diferenciaron entre tratamientos y variaron entre 5.0 y 5.2 kg/mm.
- Las respuestas a N en maíz y los índices de eficiencia de uso del N aplicado sugieren que buena parte del N para el cultivo fue suministrada por el N del suelo. Ambientes

de rendimiento sin N del orden de los 6000 kg/ha o más no presentaron respuestas significativas a la fertilización nitrogenada.

- Las calibraciones existentes de análisis de suelos de N-nitratos en maíz y de P Bray en maíz y soja funcionaron adecuadamente para los sitios evaluados en la región CREA Córdoba Norte.
- No se observaron respuestas a Zn y B, en la comparación NPSZnB vs. NPS, en ninguno de los ensayos.
- Hacia adelante:
 - El N para maíz se podría manejar en función del potencial del ambiente y el análisis de suelo a la siembra. Habría que ir sumando herramientas para predecir mineralización, como el Nan, y fundamentalmente diagnósticos dinámicos comparando el lote con franjas sin restricción de N utilizando imágenes o sensores remotos o locales.
 - Reponer P en planteos de rotación privilegiando trigo o coberturas invernales y luego maíz/sorgo.
 - Seguir chequeando S, la respuesta a N es un buen indicador de posible respuesta a S.
 - Monitorear posibles futuras deficiencias y respuestas de micronutrientes como B y Zn.

Agradecimientos

- A todos los productores, asesores y personal de los establecimientos que implantaron los ensayos y participan en este proyecto.
- A *Nutrien Ag Solutions* por su continuo apoyo para la realización de esta Red.

Referencias

- Correndo A., F. H. Gutiérrez-Boem, F. O. García y F. Salvagiotti. 2018a. Attainable yield and soil texture as drivers of pre-plant nitrogen test performance in corn in the Argentine Pampas. *Agronomy Abstracts*. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Correndo, A., F. Salvagiotti, F. O. García y F. Gutiérrez Boem. 2018b. Recalibración de umbrales críticos de P-Bray para maíz y soja en Argentina. CLAP. Santiago, Chile.
- van Ittersum M.K., K.G. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tiftonell, y Z. Hochman. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field Crops Research* 143: 4–17.