

La Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

Investigación de largo plazo en lotes de producción

En 1999, la Región CREA Sur de Santa Fe estableció la Red de Ensayos de Nutrición de Cultivos respondiendo a la necesidad de generar información local en cuanto a nutrición de cultivos y fertilidad de suelos.

A lo largo de 24 años, la Red de Nutrición, a través del trabajo en equipo de productores, asesores, e investigadores de CREA Sur de Santa Fe, el IPNI Cono Sur y Nutrien Ag Solutions, así como también de instituciones como la Facultad de Ciencias Agrarias (Universidad Nacional de Rosario), la Facultad de Agronomía (Universidad de Buenos Aires) y el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de INTA y el laboratorio Fertilab, ha contribuido a evaluar y comprender los efectos de la fertilización en la sustentabilidad agronómica, económica y ambiental de los sistemas de producción de cultivos de grano de la región pampeana central de Argentina. Asimismo, la adopción de miembros CREA de las mejores estrategias de fertilización, generadas en esta Red, ha resultado en impactos positivos en la productividad.

Los objetivos

Al momento de la creación de la Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos, se propuso evaluar el manejo adecuado de nitrógeno y fósforo y la posible deficiencia y respuesta a la aplicación de azufre. Así, se estableció una red de ensayos en lotes de producción en zonas representativas de los ecosistemas de la región, a partir de la campaña 200/01, cuyos objetivos iniciales fueron los siguientes:

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).

A partir de la información que se fue generando y el planteo de nuevos interrogantes, se fueron sumando otros objetivos:

4. Evaluar los rendimientos alcanzables sin limitaciones nutricionales.

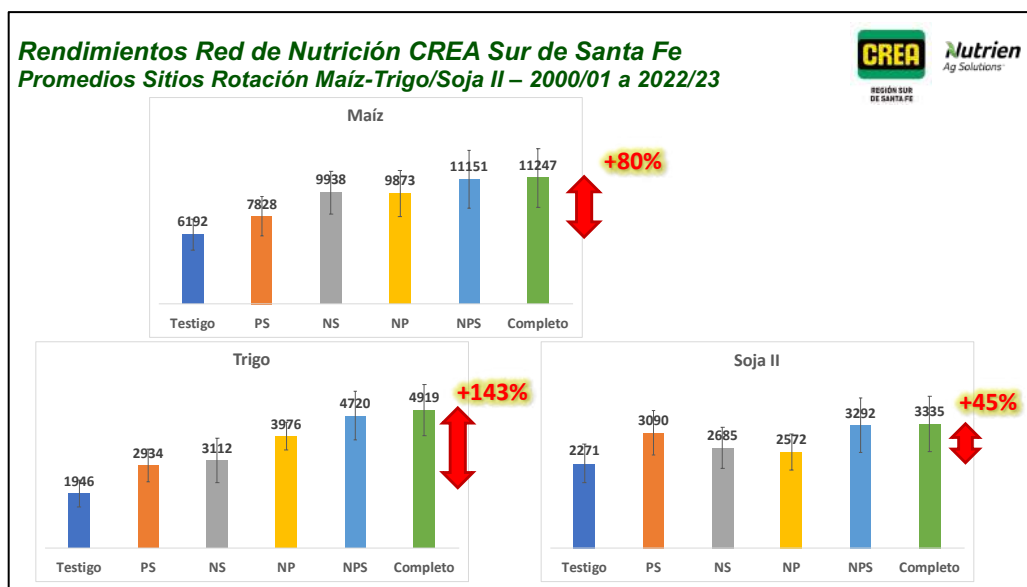
5. Conocer la evolución de los suelos bajo distintos esquemas de fertilización determinando índices relacionados con su salud química, biológica y física.
6. Evaluar el impacto económico de la fertilización NPS.

Los ensayos se establecieron inicialmente en 11 lotes de producción en rotación maíz-trigo/soja (M-T/S) o en rotación maíz-soja de primera-trigo/soja (M-s-T/S).

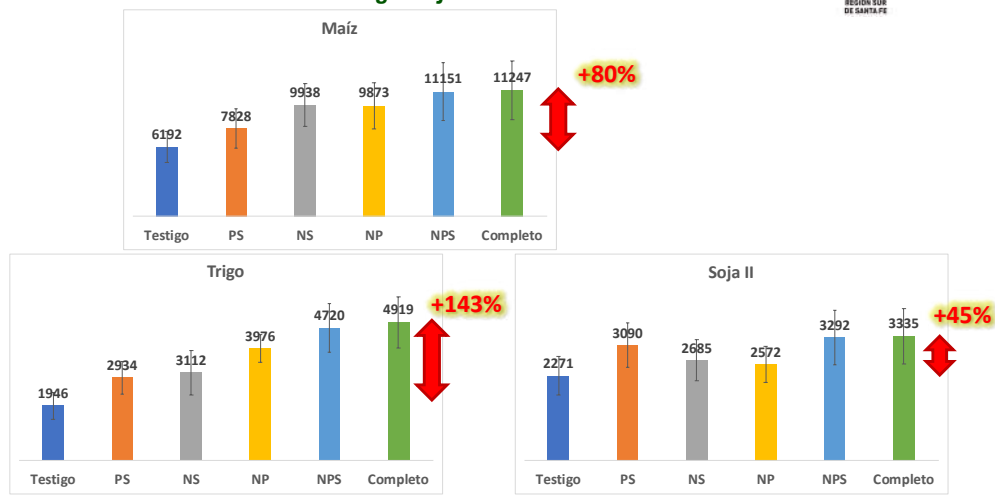
Actualmente, febrero 2024, se continúan evaluando cuatro sitios: dos en rotación M-T/S (Balducchi en CREA Teodelina y San Alfredo en CREA Santa Isabel) y dos en rotación M-S-T/S (La Blanca en CREA Baldissera y Lambaré en El Trébol).

¿Qué aprendimos en estos 24 años?

1. La fertilización NPS incrementó los rendimientos en 45-143% en la rotación M-T/S y 17-65% en la rotación M-S-T/S.

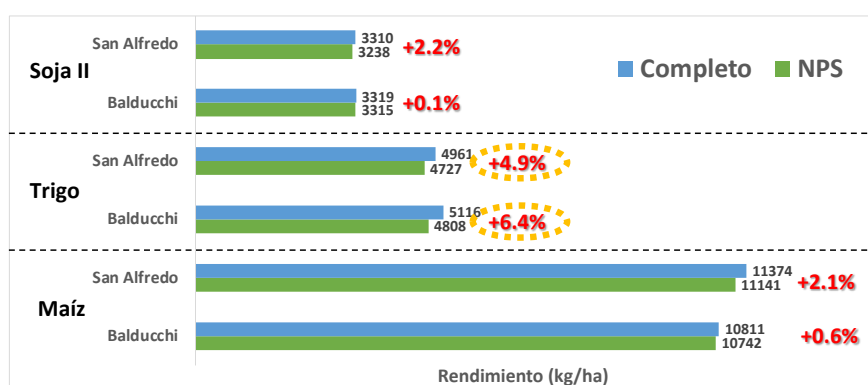


Rendimientos Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe
Promedios Sitios Rotación Maíz-Trigo/Soja II – 2000/01 a 2022/23

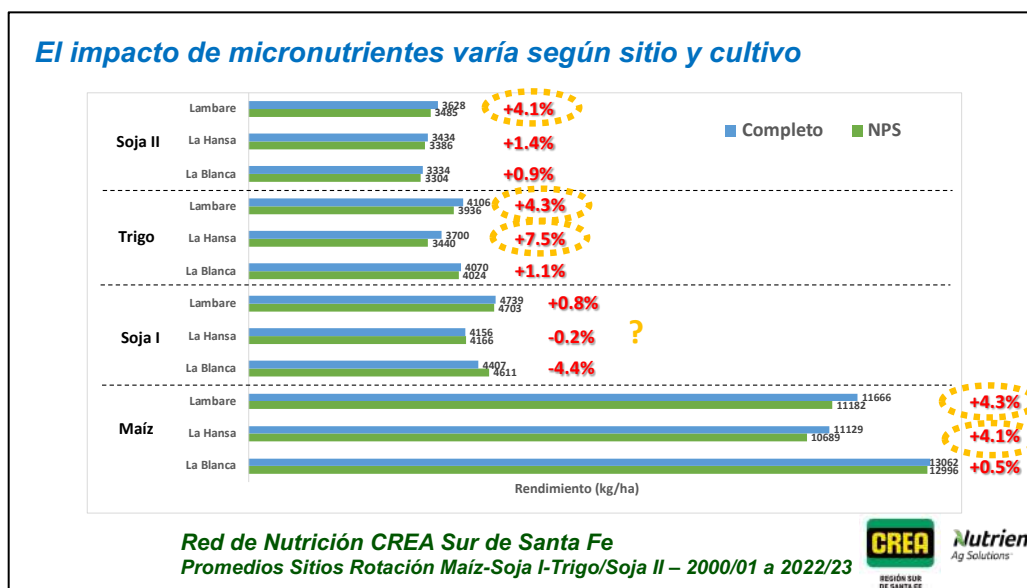


- Las respuestas a la fertilización variaron con la condición de fertilidad inicial del sitio.
- Las diferencias entre tratamientos se fueron ampliando a través de los años, pero dependiendo del sitio y del cultivo
- El impacto de los micronutrientes fue menor que el de NPS y varió según sitio y cultivo

El impacto de micronutrientes varía según sitio y cultivo



Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe
Promedios Sitios Rotación Maíz-Trigo/Soja II – 2000/01 a 2022/23



- La fertilización con N, P y S incrementó la producción acumulada en términos de granos (**Tabla 1a**) y en términos energéticos como producción de glucosa (**Tabla 1b**). Asimismo, la fertilización NPS redujo la variabilidad espacial y temporal de los rendimientos.

Tabla 1a. Producción acumulada de grano de los seis tratamientos en los cinco sitios de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Periodo 2000 a 2018 incluido.

Sitio	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
----- toneladas de GRANO acumuladas -----						
Balducchi	74	107	125	128	161	163
San Alfredo	124	155	166	181	195	200
La Blanca	111	142	144	154	162	164
La Hansa	76	101	115	110	126	131
Lambaré	120	143	158	155	161	166
Promedio	101	130	142	146	161	165

Tabla 1b. Producción acumulada en términos de glucosa de los seis tratamientos en los cinco sitios de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Periodo 2000 a 2018 incluido.

Sitio	Testigo	PS	NS	NP	NPS	Completo
----- toneladas de GLUCOSA acumuladas -----						
Balducchi	88	128	146	149	189	190
San Alfredo	145	183	192	210	227	233
La Blanca	140	176	176	193	199	201
La Hansa	98	130	145	138	158	163
Lambaré	152	180	197	193	199	206
Promedio	125	160	171	177	194	199

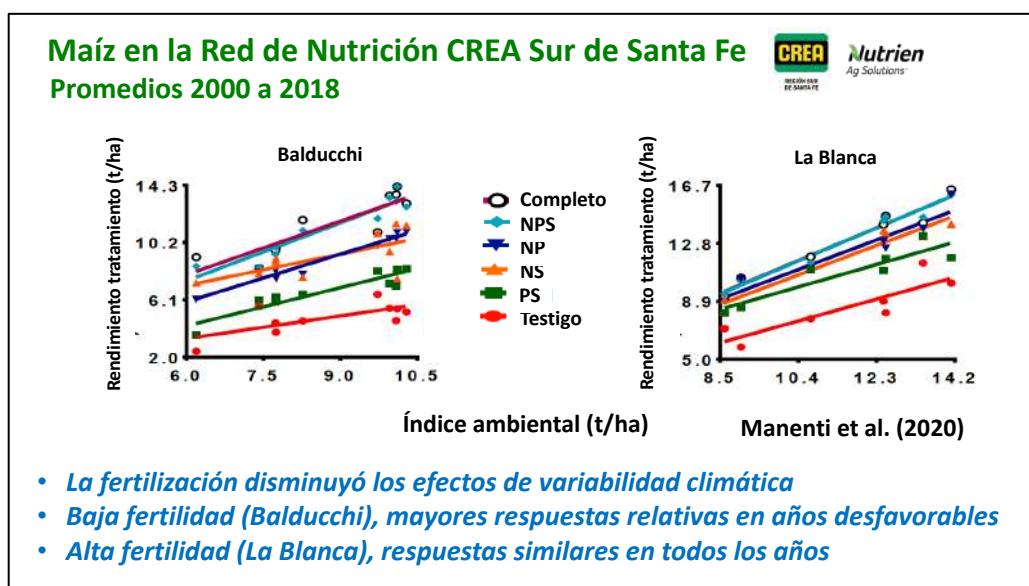
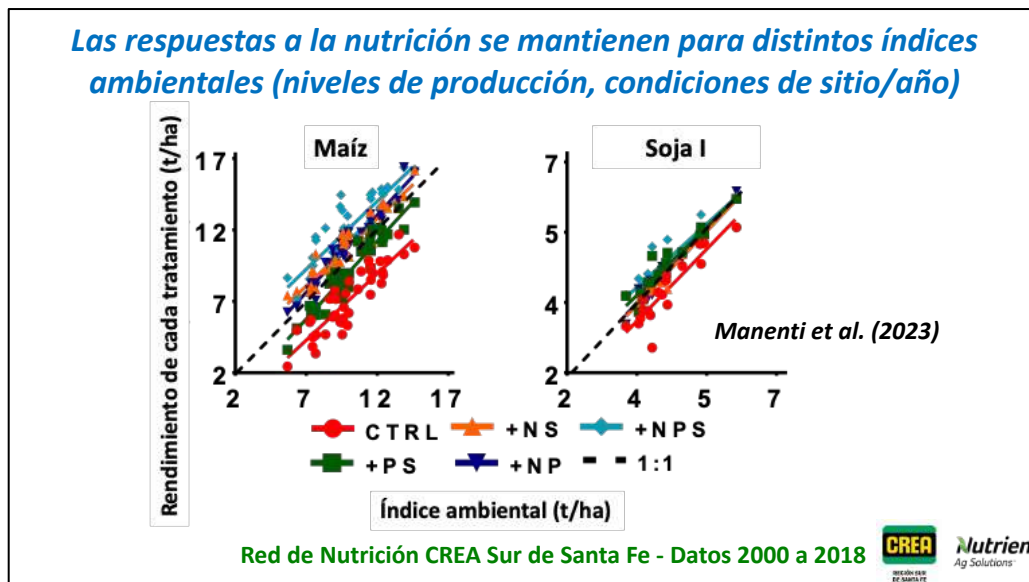
2. La eficiencia de uso de los nutrientes varía entre rotaciones y sitios.

- La **Tabla 2** muestra los promedios para cada rotación en términos de eficiencia agronómica (EA), kg grano por kg nutriente aplicado, productividad parcial (PP), rendimiento por kg nutriente aplicado, y balance parcial (BP), kg nutriente removido por kg nutriente aplicado.
- Los valores de los tres indicadores de eficiencia de uso responden a las condiciones de fertilidad inicial de los sitios, resaltando la importancia de diagnosticar la condición de fertilidad de cada lote o ambiente para un uso rentable y responsable de los nutrientes aplicados.

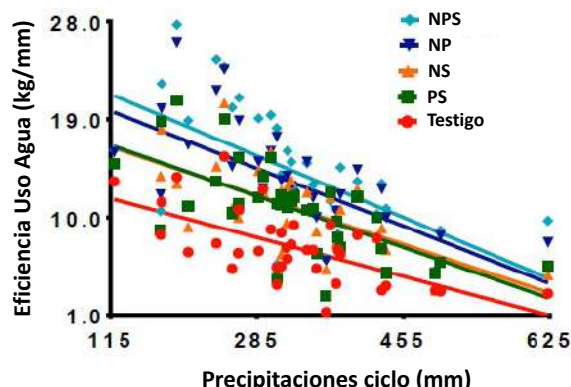
Tabla 2. Eficiencia de uso de N, P y S. Promedios por rotación de 2000 a 2018.

Cultivo	Eficiencia agronómica			Productividad Parcial			Balance de nutriente		
	(kg grano/kg nutriente)			(kg grano/kg nutriente)			(kg removido/kg aplicado)		
	N	P	S	N	P	S	N	P	S
M-T/S									
Maiz	23	44	92	79	345	663	0.87	0.86	0.73
Trigo	15	70	42	42	222	446	0.84	0.89	0.89
Soja 2ª		29	62		164	321		0.74	1.06
M-S-T/S									
Maiz	16	21	50	77	341	671	0.85	0.85	0.74
Soja 1ª		11	23		148	237		0.67	0.78
Trigo	5	26	19	37	179	374	0.74	0.71	0.75
Soja 2ª		7	34		168	299		0.75	0.99

3. Las respuestas a la nutrición se verificaron para distintas condiciones ambientales



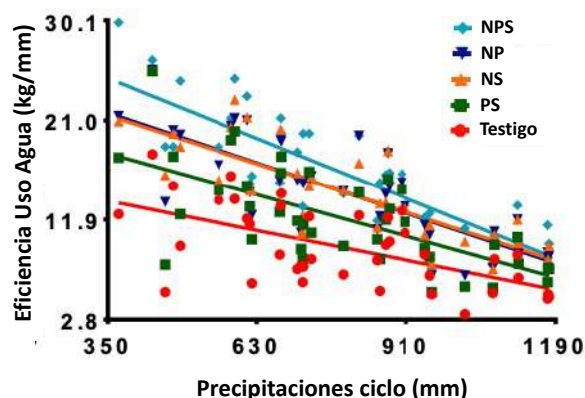
- La fertilización NPS mejoró la eficiencia de uso del agua (EUA, kg grano por mm de agua) del 28% al 96% en trigo (**Fig. 1**) y maíz (**Fig. 2**).
- En trigo (**Fig. 1**), se observan mayores respuestas en EUA en años desfavorables, sea en condiciones de baja (Balducchi) o de alta fertilidad (La Blanca) inicial.
- En maíz (**Fig. 2**), se observan mayores respuestas en EUA en años desfavorables en condiciones de baja fertilidad (Balducchi), y las respuestas son similares en todos los años en condiciones de alta fertilidad (La Blanca) inicial.



Tratamiento	Eficiencia de Uso del Agua	
	kg/mm	Incremento (%)
Testigo	7.3 a	-
PS	10.8 b	48
NS	10.9 b	50
NP	13.2 c	82
NPS	14.3 c	96

Manenti et al. (2020)

Fig. 1. Eficiencia de uso de agua (EUA) en trigo según precipitaciones durante el ciclo para tratamientos NPS. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe (Manenti et al., 2020).



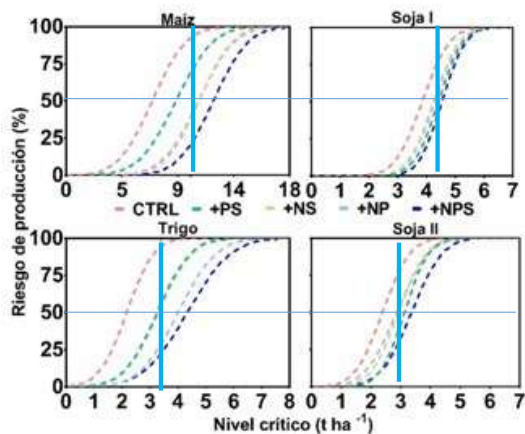
Tratamiento	Eficiencia de Uso del Agua	
	kg/mm	Incremento (%)
Testigo	9.4 a	-
PS	12.0 b	28
NS	14.5 c	54
NP	14.5 c	54
NPS	16.2 c	72

Manenti et al. (2020)

Fig. 2. Eficiencia de uso de agua (EUA) en maíz según precipitaciones durante el ciclo para tratamientos NPS. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe (Manenti et al., 2020).

- El riesgo de producción de cada tratamiento de fertilización se estimó como la probabilidad de que su rendimiento caiga por debajo de un umbral o nivel crítico específico durante un año elegido al azar. En todos los casos, los testigos sin fertilizar (CTRL) presentaron el mayor riesgo de producción con una probabilidad de que el rendimiento cayera por debajo del rendimiento promedio (representados por las líneas verticales en la siguiente figura) de 92, 94, 68 y 80% para maíz, trigo, soja I y soja II, respectivamente.

Lo que podemos esperar de una nutrición balanceada...



Riesgo de producción como medida de resiliencia para maíz, trigo y soja en la región pampeana

Manenti et al. (2022)

Riesgo de que los rendimientos de maíz, trigo, soja I y soja II caigan por debajo de un nivel crítico de rendimiento según la fertilización. Las líneas verticales indican los rendimientos medios de cada cultivo.

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe - Promedios 2000 a 2019

4. Se calibraron y/o validaron metodologías de diagnóstico para N en maíz y trigo.

- Las calibraciones de N-nitrato disponible a la siembra presentaron buenos ajustes para trigo y maíz (**Fig. 3**).

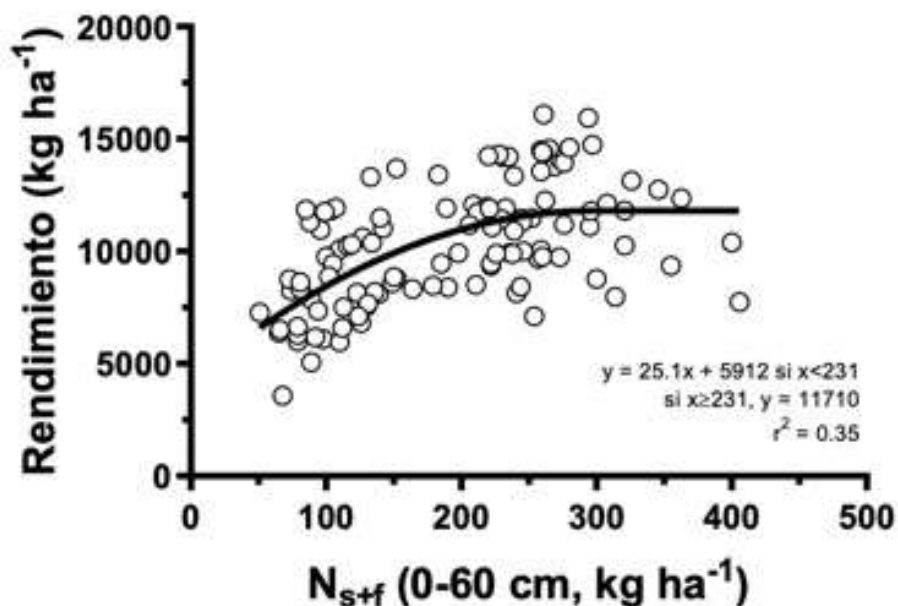
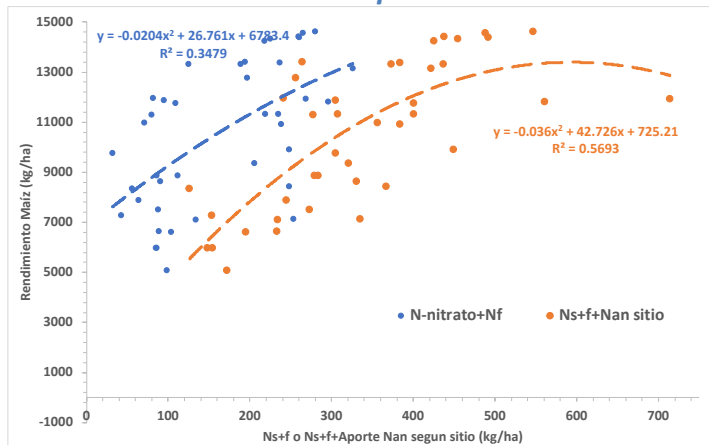


Fig. 3. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N-nitrato en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante (n=118). El umbral de 231 kg N ha⁻¹ permite alcanzar un rendimiento máximo medio de 11710 kg ha⁻¹, según la función de ajuste ($r^2 = 0.35$, $p < 0.001$). Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2000/01 a 2020/21.

- Para los dos cultivos, sumar la estimación de mineralización con el análisis de N anaeróbico (Nan) mejora el ajuste.

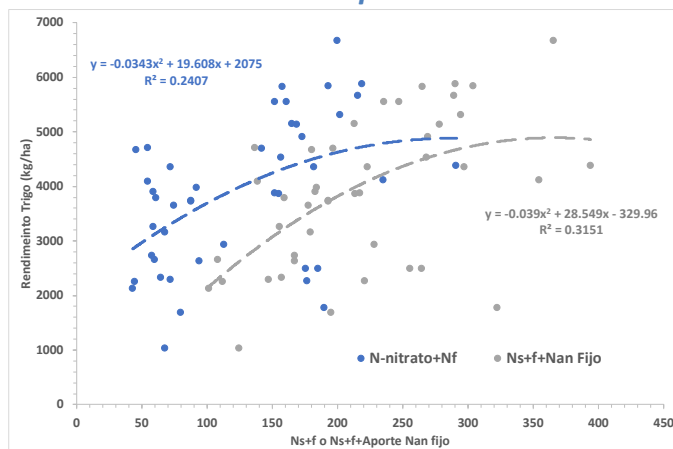
Sumando Nan como estimador de mineralización mejoró el ajuste de la relación N disponible vs. Rendimiento en Maíz



Utilizando factor de
Nan estimado para
cada sitio
n=40

Maíz -Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe
Promedios 2012 a 2021

Sumando Nan como estimador de mineralización mejoró el ajuste de la relación N disponible vs. Rendimiento en Trigo



Utilizando factor de
Nan promedio para la
región (2.1)
n=44

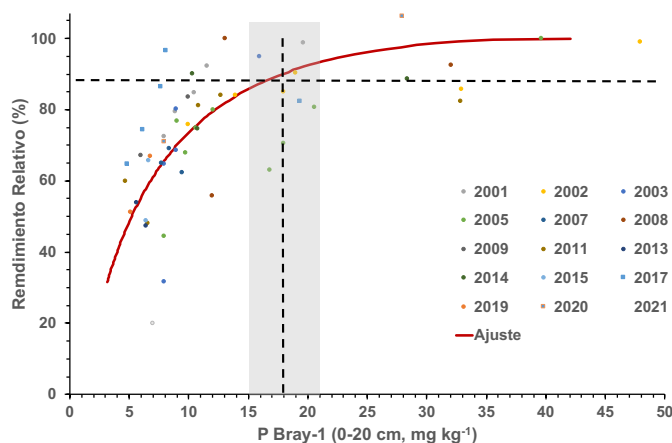
Trigo -Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe
Promedios 2009 a 2021

5. Se calibraron/validaron metodologías de diagnóstico para P en todos los cultivos.

- Para los cuatro cultivos se evaluaron calibraron los rendimientos relativos con el nivel de P Bray a la siembra (0-20 cm). La **Fig. 4** muestra la calibración para trigo.

Trigo: Rendimiento relativo en función del nivel de P Bray

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe - 2000 a 2021 – 55 sitios/año, 15 campañas



PARA 90% RR
18 ppm
(15 – 21)
 $r = 0.66$

PARA 95% RR
23 ppm
(19 – 28)
 $r = 0.66$

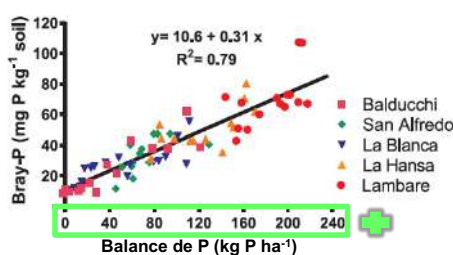
Los sitios-años con niveles de P Bray-1 (0-20 cm) menores de 15 mg kg⁻¹ presentaron respuestas altamente probables a la aplicación de P, mientras que por arriba de 21 mg kg⁻¹ de P Bray, la probabilidad de respuesta disminuye marcadamente

Fig. 4. Rendimiento relativo (RR) de trigo (NS:NPS) en función del nivel de P Bray (0-20 cm) a la siembra. La curva de ajuste ($r=0.66$, $p<0.0001$) y las estimaciones se obtuvieron mediante el método arcoseno-logaritmo modificado (Correndo et al., 2016). La línea punteada vertical indica el nivel crítico de 18 mg kg⁻¹ de P Bray para obtener el 90% del rendimiento relativo (línea punteada horizontal). La zona grisada indica los límites del intervalo de confianza al 95% de 15 y 21 mg kg⁻¹ de P Bray. Red de Nutrición Región CREA Sur de Santa Fe. Campañas 2001/02 a 2021/22.

6. Se cuantificaron los cambios en P extractable (Bray) del suelo según los balances de P de los cultivos (diferencias entre aplicación vía fertilización y remoción vía granos).

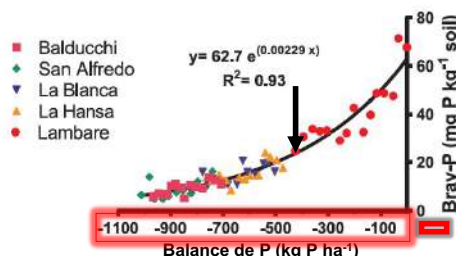
- Se evaluaron los cambios en P extractable (Bray) del suelo según los balances de P de los cultivos (diferencias entre aplicación vía fertilización y remoción vía granos).
- El balance debe ser positivo en 3.2 kg P para subir 1 mg kg⁻¹ de P Bray en suelos de bajo nivel de P-Bray 1. Balances negativos de 10 kg P, en suelos de P Bray mayor de 20 mg kg⁻¹, disminuyen 1 mg kg⁻¹ de P Bray (Sucunza et al., 2018) (**Fig. 5**).

Con aplicación
de P



3.2 kg P para subir
1 ppm de P Bray

El P Bray disminuye 1
ppm por cada 10 kg
P ó 36 kg P de
balance negativo
según nivel de P Bray



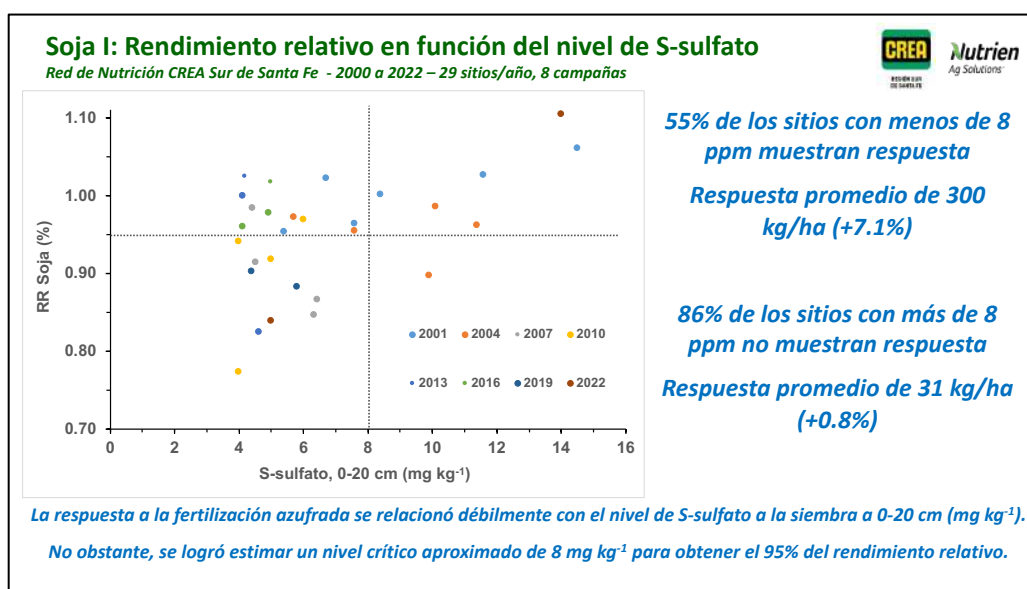
Sin aplicación
de P

Fuente: Sucunza et al. (2018) - Red CREA Sur de Santa Fe

Fig. 5. Nivel de P Bray (0-20 cm) en función del balance de P (P aplicado como fertilizante – P removido en granos). La figura superior muestra las situaciones de balance positivo (aplicación>remoción) y la inferior los balances negativos (aplicación<remoción) (Sucunza et al., 2018).

7. Se evaluaron calibraciones de S-sulfato y respuesta a S de los cultivos

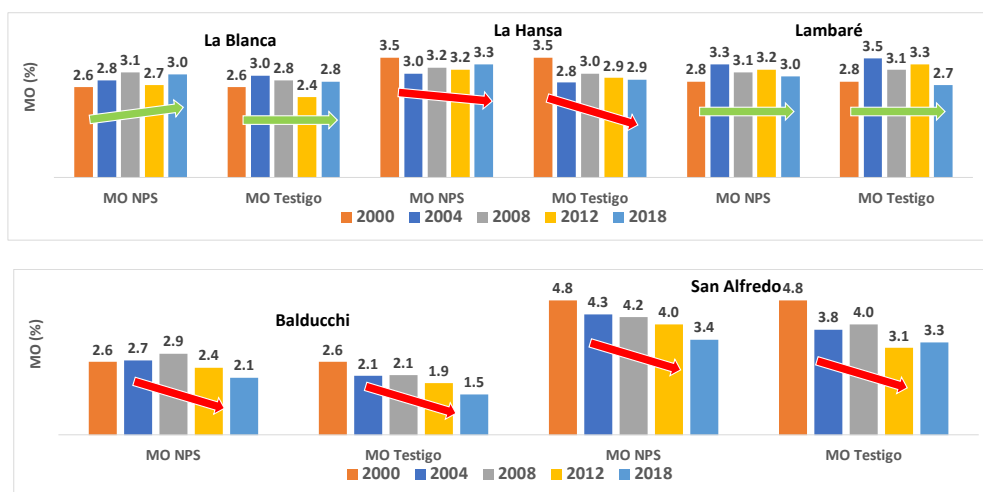
- Para los cuatro cultivos se evaluaron calibraron los rendimientos relativos con el nivel de S-sulfato a la siembra (0-20 cm). Los ajustes fueron en general bajos y se sugiere sumar otras pautas para decidir la fertilización azufrada: historia del lote, nivel de respuesta a N en maíz y trigo, presencia de napas superficiales, etc.



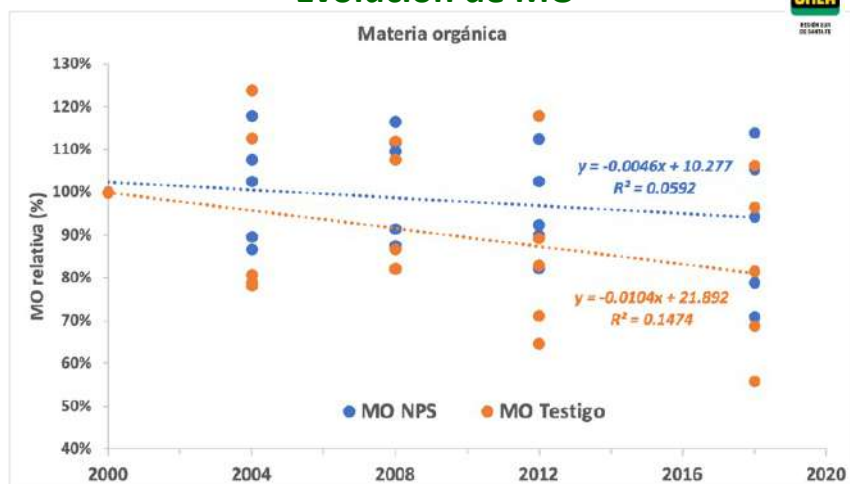
8. La fertilización NPS contribuye a mantener niveles de materia orgánica, pero tendió a aumentar la acidez de los suelos.

- La fertilización NPS permitió mantener mejores niveles de MO con respecto al Testigo (93% del nivel original en NPS y 82% del nivel original en Testigo). Las diferencias entre tratamientos son mayores en los sitios de menor fertilidad inicial (Balducchi y La Hansa).

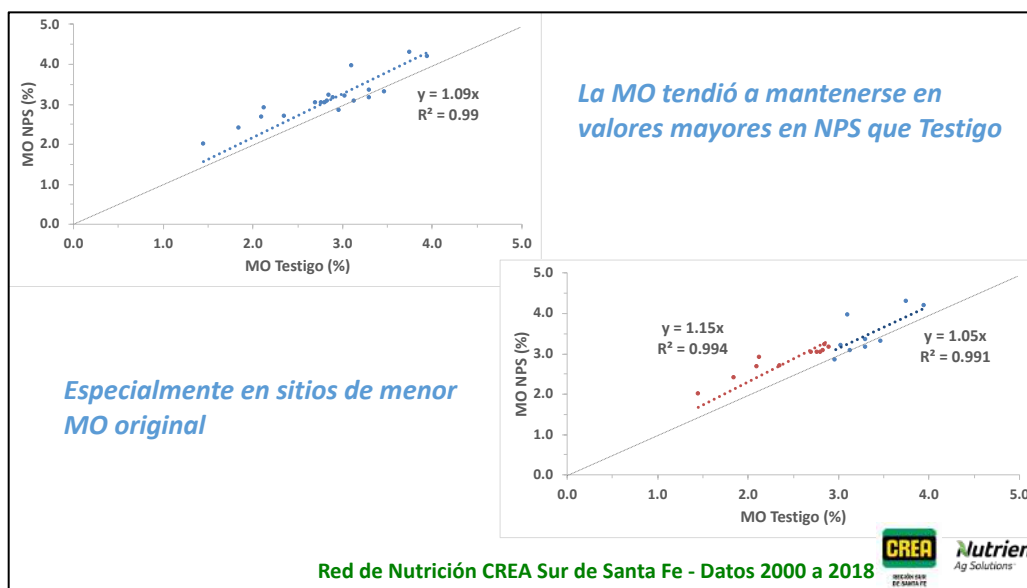
Materia orgánica en los cinco sitios 2000 a 2018



Evolución de MO



- Caídas de MO más moderadas en NPS



- La fertilización NPS aumentó la acidez del suelo con disminuciones del 9% del pH en promedio para cinco sitios (**Fig. 6**). La acidificación se relaciona con la pérdida de bases (Ca, Mg, K), reflejada en una disminución promedio del 16% en la saturación de bases del tratamiento NPS respecto de los niveles originales (**Fig. 7**).

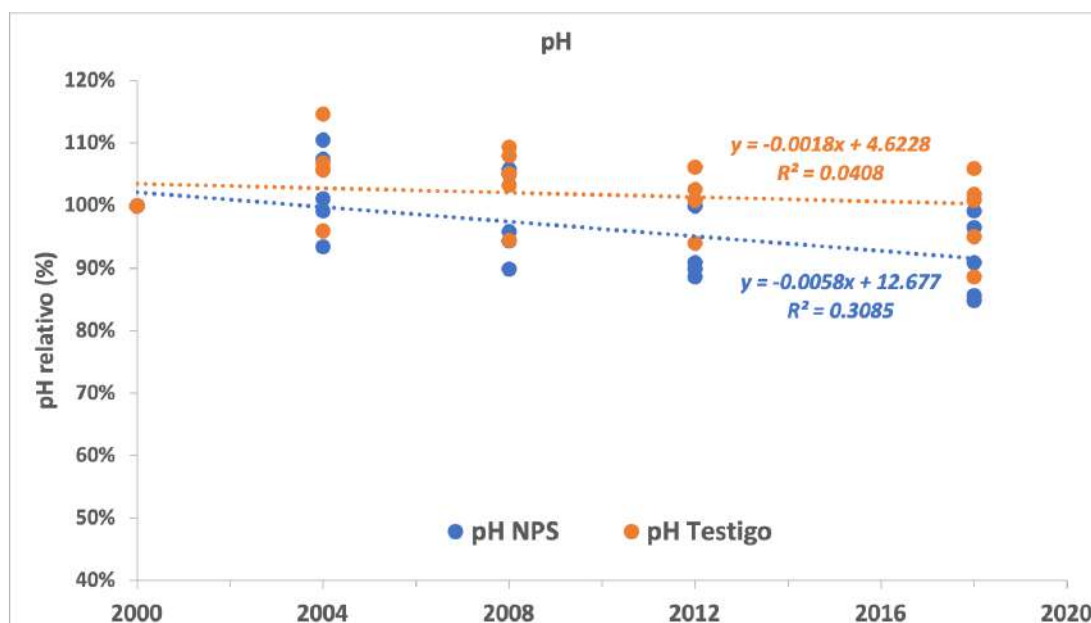


Fig. 6. Cambios relativos a la situación inicial en pH para los tratamientos Testigo y NPS. Las líneas punteadas indican las tendencias para los tratamientos Testigo sin fertilizar (naranja) y NPS (azul). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, cinco sitios.

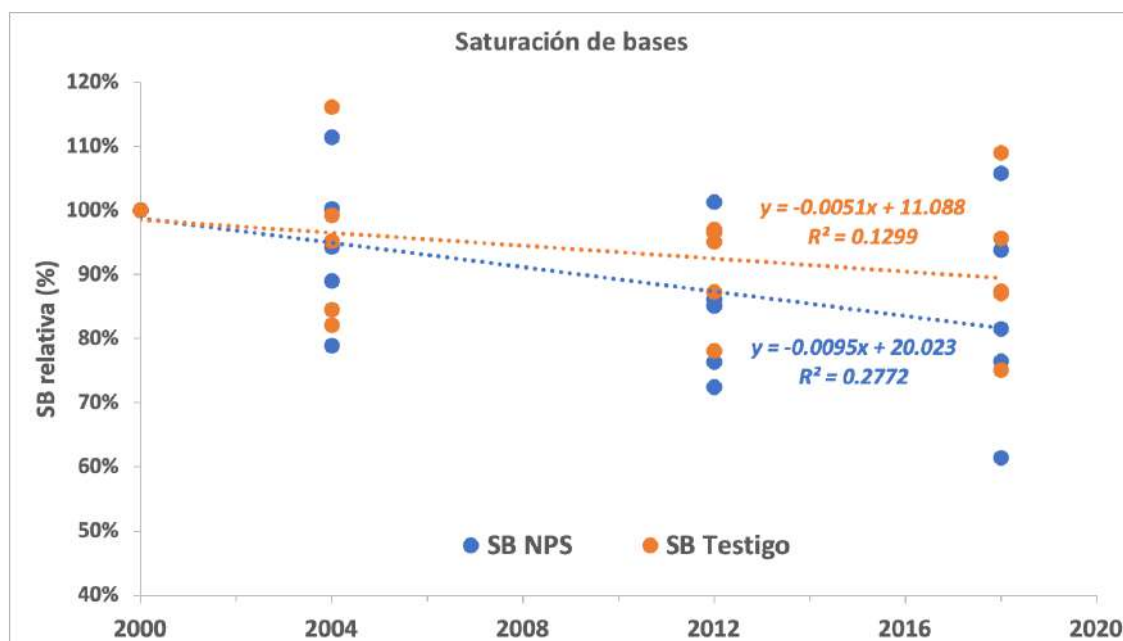
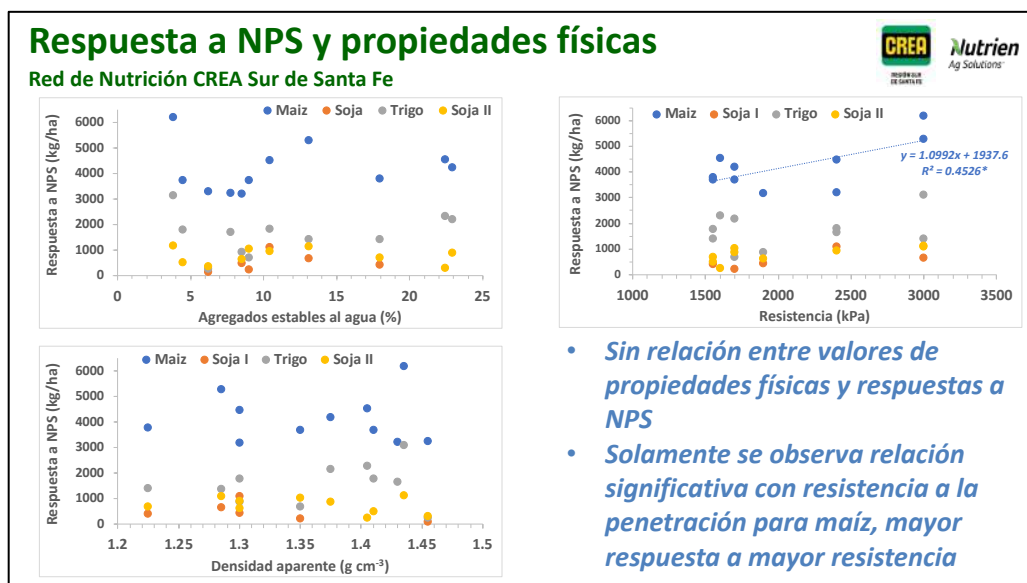
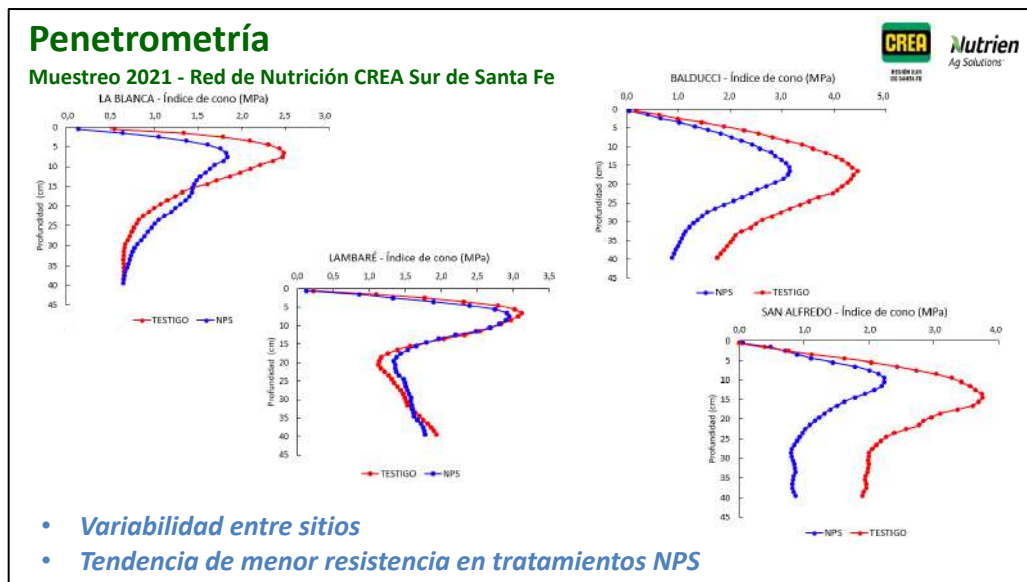


Fig. 7. Cambios relativos a la situación inicial en saturación de bases para los tratamientos Testigo y NPS. Las líneas punteadas indican las tendencias para los tratamientos Testigo sin fertilizar (naranja) y NPS (azul). Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, cinco sitios.

9. Efectos sobre la salud del suelo: Propiedades físicas y biológicas



- Evaluaciones realizadas en el sitio Balducchi muestran incrementos en la concentración de glomalina y de la actividad microbiana con fertilización NPS, pero una menor diversidad microbiana.

Efecto de los tratamientos de fertilización sobre indicadores de actividad microbiana

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe

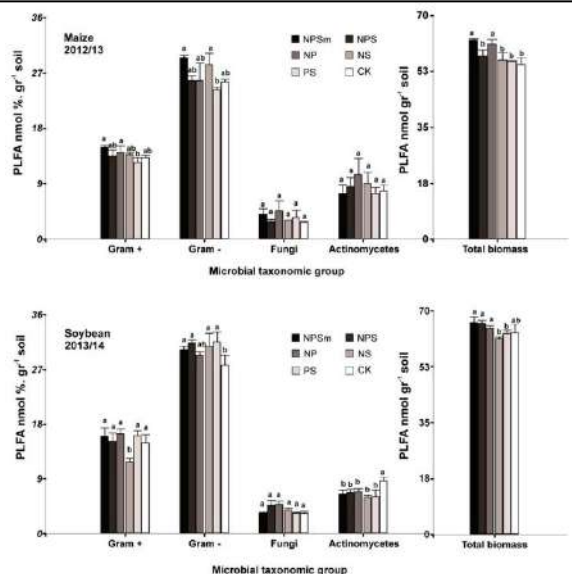
Campaña 2012/13 y 2013/14 - Sitio Balducchi (Teodelina, Santa Fe)

Grupos taxonómicos microbianos (nmol% de PLFA g^{-1} suelo) y biomasa microbiana total (nmol de PLFA g^{-1} suelo) del suelo

Las barras con la misma letra no son significativamente diferentes según prueba LSD ($p \leq 0,05$)

Fuente: Verdenelli et al. (2018)

"La fertilización aumentó la respiración basal y las actividades microbianas (FDA y PHA), probablemente debido a un aumento en la biomasa radicular y un mejor crecimiento de los cultivos. La fertilización NPSm y NPS puede aumentar las poblaciones de bacterias del suelo y el total de biomasa microbiana, pero las poblaciones de hongos no fueron afectadas."



10. La fertilización NPS, en general, incrementó el margen bruto en los distintos cultivos, pero con marcadas diferencias entre sitios.

- La fertilización NPS, en promedio, incrementó el margen bruto en 301, 242 y 46 U\$/ha para maíz, trigo/soja 2ª y soja 1ª, respectivamente. Los márgenes variaron marcadamente entre sitios (**Figs. 8 y 9**), respondiendo a la condición de fertilidad inicial y rendimientos alcanzados en cada uno de ellos.
- Balducchi muestra márgenes elevados en todos los cultivos a partir de las altas respuestas por la baja fertilidad inicial y los buenos rendimientos (**Fig. 8**). San Alfredo, con la misma rotación, pero mejor condición de fertilidad inicial presenta márgenes algo menores.
- En la rotación M-S-T/S (**Fig. 9**), se distinguen claramente las situaciones entre sitios según nivel de fertilidad inicial. Lambaré, con altos niveles iniciales de P Bray y buen nivel de MO, solo muestra márgenes positivos para N en maíz y S en soja 2ª. La Blanca, con valores iniciales medios de P Bray y MO, alcanza márgenes positivos en todos los cultivos y nutrientes menos en N en trigo debido a los bajos rendimientos alcanzados por efectos de enfermedades en un par de campañas. En La Hansa, los niveles de P Bray inicial eran altos pero el nivel de MO bajo por la prolongada historia agrícola, observándose márgenes positivos para N y S en general y solo para maíz en el caso de P.

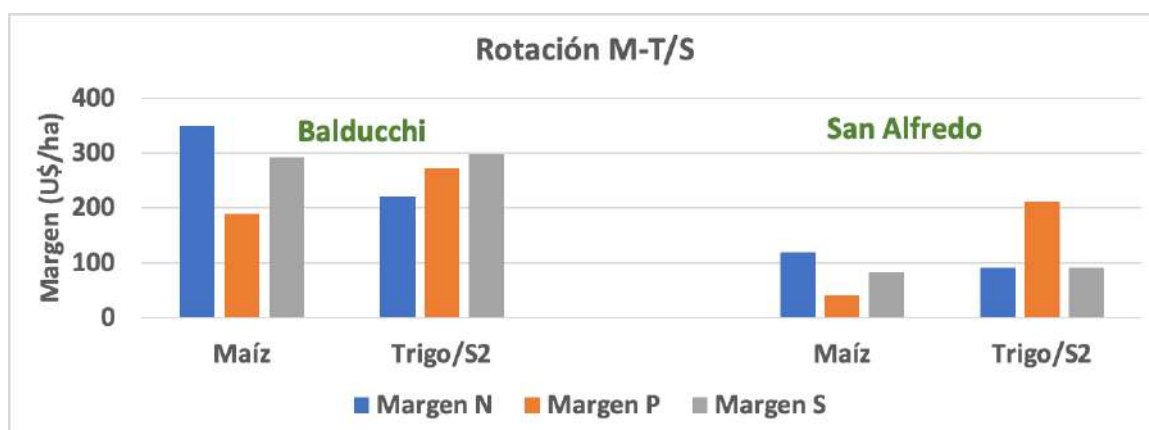


Fig. 8. Margen por nutriente, promedio por cultivo para sitios de rotación M-T/S. Se consideraron precios de referencia de maíz de 140 U\$/t, trigo 180 U\$/t, soja 250 U\$/t, urea 700 U\$/t, FMA 900 U\$/t, sulfato de calcio 300 U\$/t y 15 U\$/ha por aplicación. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, 2000 a 2018.

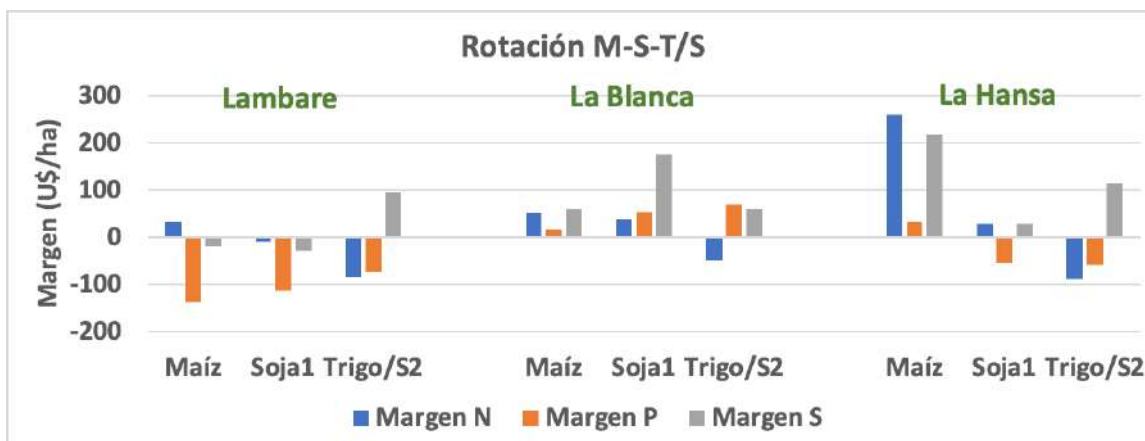


Fig. 9. Margen por nutriente, promedio por cultivo para sitios de rotación M-S-T/S. Se consideraron precios de referencia de maíz de 140 U\$/t, trigo 180 U\$/t, soja 250 U\$/t, urea 700 U\$/t, FMA 900 U\$/t, sulfato de calcio 300 U\$/t y 15 U\$/ha por aplicación. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, 2000 a 2018.

En síntesis, estos primeros 24 años de la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe muestran impactos significativos de la fertilización NPS en productividad, en eficiencia de uso de recursos e insumos, en propiedades edáficas y en rentabilidad.

Un mensaje contundente que nos ha dejado la Red es la necesidad de evaluar la fertilidad y la nutrición de cultivos en cada lote y cada ambiente. Los sitios evaluados en los primeros 24 años muestran resultados significativamente diferentes en producción y rentabilidad que responden a la condición de fertilidad de suelos y potencial de rendimiento de cada uno de esos sitios. Por lo tanto, el diagnóstico de fertilidad del suelo y de nutrición del cultivo es la clave para el uso eficiente y rentable de nutrientes.

Los resultados y análisis de largo plazo que surgen de esta red en campo de productores indica que la nutrición balanceada puede mejorar niveles de nutrientes como P y contribuir a mantener niveles de MO y biomasa de microorganismos. Sin embargo, la nutrición balanceada por si sola no ha logrado aumentar niveles de MO y no ha resultado en una mayor diversidad biológica en los suelos. Las rotaciones y los cultivos de cobertura, fundamentalmente la diversidad de cultivos en los sistemas, se plantean como alternativas que, sumadas a la nutrición balanceada, podrán mejorar la captación de carbono, la diversidad biológica y las propiedades físicas, en resumen, el funcionamiento y la resiliencia de los suelos.

Mas información actualizada de los resultados obtenidos por la Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe se puede encontrar en: www.creasurdesantafe.com.ar.