

## Nutrición en la rotación: Tres años de la red de ensayos de AAPRESID-INPOFOS

**Agustín Bianchini<sup>1</sup>, Martín Ambrogio<sup>1</sup>, Santiago Lorenzatti<sup>1</sup> y Fernando Garcia<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Area Técnica de AAPRESID, <sup>2</sup> Director Regional de INPOFOS Cono Sur  
*abianchini@arnet.com.ar*

Los menores precios relativos de los granos resultan en la disminución de los beneficios económicos para el productor. La alternativa es lograr rendimientos máximos económicos que permitan diluir costos fijos y maximizar ganancias. La adecuada nutrición de los cultivos permite optimizar la eficiencia de uso de los recursos e insumos utilizados en la producción. Conocer y solucionar las deficiencias nutricionales de los cultivos permite ajustar las prácticas de manejo, específicamente de fertilización, para alcanzar los rendimientos máximos económicos.

La adopción de la siembra directa como sistema de producción ha permitido alcanzar rendimientos mayores y más estables que los obtenidos bajo labranza convencional a partir de una mejor estructuración del suelo, la mejora en los niveles de materia orgánica y la mayor capacidad de infiltración y retención del agua de lluvia. En un sistema de mayor producción, las necesidades nutricionales de los cultivos son mayores, y pueden presentarse como limitantes nutrientes anteriormente no considerados.

Durante 1999, AAPRESID e INPOFOS establecieron una red de ensayos de fertilización en la región pampeana en un proyecto que cuenta con el patrocinio de las empresas **Agroservicios Pampeanos, Hydro Agri Argentina y PASA.**

Los objetivos principales de estas experiencias son:

- 1) Determinar rendimientos máximos sin limitación de nutrientes
- 2) Evaluar deficiencias y respuestas potenciales de distintos nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, magnesio, boro, cobre y zinc) en distintas zonas de la región pampeana en la rotación trigo-soja/maiz/soja.

Debe destacarse el carácter exploratorio de este proyecto, en el que se trabaja con dosis de nutrientes elevadas, no limitantes para alcanzar máximos rendimientos potenciales. Los tratamientos establecidos pretenden cubrir deficiencias de nutrientes no usados generalmente sobre una base de aplicación de nitrógeno (N) y fósforo (P) no limitante. La evaluación se realizó durante un período de tres años para obtener conclusiones válidas en distintos cultivos y poder evaluar el impacto de los tratamientos, no solo en el rendimiento de los cultivos, sino también en la fertilidad y otras propiedades de los suelos.

En la continuación de esta experiencia, y a partir del conocimiento de los nutrientes deficientes en cada área, deberán estudiarse 1) niveles críticos de respuesta, 2) dosis económicas de respuesta y 3) momento, forma y método de aplicación.

Este reporte presenta los resultados de rendimiento, y análisis de suelo y foliar

obtenidos en trigo/soja (1999/01) y maíz (2000/01). Seis de los ensayos reportados fueron establecidos en la campaña 1999/00 con trigo/soja y cuatro durante la campaña 2000/01 con maíz. A la fecha de preparación de este reporte, se están cosechando los ensayos de soja de primera de la campaña 2001/02.

### **Materiales y Métodos**

Los ensayos se instalaron en lotes de producción de establecimientos ubicados en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, en general, bajo sistemas de siembra directa estabilizados. El manejo general de los cultivos (control de malezas, fecha de siembra, variedad o híbrido, etc.) fue similar al manejo del lote, utilizándose maquinaria del productor en todos los casos.

Los tratamientos utilizados con la cantidad de fertilizantes o nutrientes aplicados se indican en la Tabla 1. Los tratamientos incluyen un Testigo absoluto sin aplicación alguna de fertilizantes (Tratamiento 1). Los otros tratamientos cubren los niveles de extracción promedio de cultivos de alta producción de soja, maíz y/o trigo. Las dosis de boro (B), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y zinc (Zn) se indican en kg de nutriente ya que se han utilizado fertilizantes con distintas concentraciones. En dos sitios, San Carlos y San Justo, no se aplicó el tratamiento completo con micronutrientes.

Los tratamientos se aplicaron anualmente previo a la siembra de trigo (Mayo-Junio 1999), previo a la siembra de maíz (Septiembre-Octubre 2000), y previo a la siembra de soja de primera (Octubre-Noviembre 2001) con la maquinaria del productor.

Se realizaron 3 muestreos de suelo (previo a las aplicaciones de fertilizante), el primero (inicial) se efectuó en cada repetición, el segundo en todos los tratamientos y el tercero en los tratamientos testigo y NP. Los muestreos foliares se realizaron en hoja bandera al estado de antesis-comienzo de llenado de grano para trigo; en hoja de la espiga durante floración para maíz; y en hoja superior completamente desarrollada al estado de plena floración (R2) para soja de primera.

Tabla 1. Tratamientos establecidos en los sitios experimentales.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6
Nombre	Testigo	NP	NPS	NPSKCl	NPSKMg	NPSKMgMicros
	Fertilizantes (kg/ha)					
FDA		150	150	150	150	150
Urea		267	226	226	267	267
Sulfato de amonio			92	92	0	0
SulPoMag				0	100	200
KCl				100	64	0
<i>B</i>						2#
<i>Zn</i>						4
<i>Cu</i>						2
<i>Mo</i>						0.02
	Nutrientes (kg/ha)					
N		150*	150*	150*	150*	150*
P		30	30	30	30	30
K				50	50	36
Mg					11	22
S			22	22	22	44
<i>B</i>						2
<i>Zn</i>						4
<i>Cu</i>						2
<i>Mo</i>						0.02
Cl				46	29	

# Los micronutrientes *B*, *Cu*, *Zn* y *Mo* se expresan como kg de nutriente ya que pueden usarse distintas fuentes como fertilizante.

\*Cuando el fertilizante se aplicó previo a la siembra de soja, la cantidad de nitrógeno utilizada fue de 13 kg/ha.

## Resultados

### Análisis de suelos

Los análisis de suelos para evaluar la situación inicial se realizaron previo a la siembra de trigo en los sitios que comenzaron en 1999, previo a la siembra de maíz en los sitios que comenzaron en 2000, y previo a la siembra de soja en los sitios que comenzaron en 2001.

La disponibilidad de N-nitratos a la siembra de trigo y maíz fue baja en general (Tabla 2). En los análisis de suelo del segundo año (2000/01) no se observaron efectos residuales de importancia para N-nitratos en los distintos tratamientos de los seis sitios establecidos en 1999 (datos no mostrados).

Los niveles iniciales de P asimilable (Bray 1) fueron bajos (< 15 ppm P) en Bragado, Cafferata, Paraná y San Justo; medios (15-20 ppm) en Monte Buey,

Leones, Maciel, Santa Teresa, Noetinger y San Carlos, y altos (> 20 ppm P) en Corral de Bustos, Los Surgentes, Pilar y Tandil.

La disponibilidad inicial de S-sulfatos fue baja a muy baja en todos los sitios. En la región pampeana se posee poca información acerca de la asociación entre niveles de S-sulfatos a la siembra y respuesta a S en trigo, soja y maíz para generar curvas de calibración. De todos modos, para evaluar mejor la disponibilidad inicial de S sería conveniente hacer los muestreos hasta 60 cm debido a la movilidad de este anión en el suelo. Al igual que para N-nitratos, no se observaron efectos residuales de las aplicaciones de azufre de 1999.

Los niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) se encuentran por arriba de los considerados críticos para la producción de trigo, soja y maíz según la literatura internacional.

Entre los micronutrientes, la disponibilidad de B fue media en San Carlos, Monte Buey, Los Surgentes, San Justo, Bragado, Cafferata, Leones, Noetinger, y Santa Teresa; y adecuada en Corral de Bustos, Maciel, Pilar, y Tandil. La disponibilidad de Zn se considera baja para Pilar; adecuada para Maciel, Leones, San Carlos, Monte Buey, Noetinger, San Justo, Corral de Bustos, Los Surgentes, Cafferata, y Santa Teresa; y alta para Bragado y Tandil. Los niveles de Cu se consideran adecuados a altos para todos los sitios. La disponibilidad de hierro (Fe) y manganeso (Mn) se ubica por arriba de los niveles críticos mencionados por la literatura. Los niveles de pH fueron levemente a medianamente ácidos en todos los sitios.

En las muestras de suelo del segundo año (2000/01), no se observaron efectos residuales de la fertilización de 1999 en los niveles de K, Mg, B, Cu y Zn.

Tabla 2. Resultados de los análisis de suelo iniciales en cada sitio de ensayo. Profundidad de muestreo de 0-20 cm.

Sitio	MO	P	N-NO <sub>3</sub>	S-SO <sub>4</sub>	pH	Ca	Mg	K	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	%	ppm	ppm	ppm		meq/100 g			----- ppm -----				
Caferatta*	3.3	12	26	5	5.7	9.8	2.4	1.6	0.7	2.0	93	118	1.6
Maciel*	2.4	20	12	7	6.1	7.1	1.8	1.2	1.1	1.9	85	154	1.0
San Carlos*	2.6	19	14	5	5.7	8.2	2.0	1.0	0.6	2.2	97	155	1.1
San Justo*	2.6	14	32	5	5.5	7.4	1.6	1.0	0.7	1.7	102	160	1.5
Leones*	2.6	19	18	6	5.8	11.5	3.1	1.9	0.8	2.4	69	122	1.1
Corral de Bustos*	3.4	22	21	5	5.8	10.8	2.5	1.9	1.0	2.2	82	122	1.5
Los Surgentes*	3	28	16	5	5.6	11.3	2.7	1.8	0.6	2.6	86	117	1.5
Monte Buey*	2.8	19	17	6	5.7	10.9	2.8	1.9	0.6	2.0	75	77	1.2
Bragado*	4.2	7	17	6	5.6	9	2.1	1.4	0.7	1.9	111	90	2.6
Noetinger#	3.0	20	14	7	6.1	10	2.7	2.0	0.9	1.7	56	87	1
Paraná#	4.0	11	13		6.6								
Pilar#	2.3	26	16	7	6.7	11	2.5	2.7	1.2	1.5	36	78	0.7
Tandil#	5.7	33	8	7	5.9	14	1.9	1.9	1.0	1.4	85	28	2.9
Santa Teresa**	3.3	20		8	5.4	8.5	2.1	1.4	0.8	1.8	91	85	1.3
Niveles críticos orientativos		15-20		10-12	5.5		0.5	0.5	1	1		10	1

\* Sitios iniciados en 1999 (trigo/soja). # Sitios iniciados en 2000 (maíz). \*\* Sitios iniciados en 2001 (soja).

### Evolución del fósforo en el suelo

Para evaluar la evolución del P en el suelo se analizaron los resultados del muestreo realizado en tres momentos diferentes en cuatro sitios. Se tomó solo una muestra de suelo por repetición en otoño de 1999 y se utilizó ese valor como inicial para todos los tratamientos. En la Fig.1 se puede observar que en el muestreo realizado durante la primavera 2000 hubo grandes variaciones entre tratamientos en los cuatro sitios, y esas variaciones fueron mayores en Caferatta. Es probable que esas variaciones hayan existido previamente, pero el muestreo anterior no las detectó porque se obtuvo una muestra compuesta por repetición. El muestreo realizado durante la primavera 2001 arrojó resultados relacionados con los tratamientos solo en dos sitios, ya que el testigo tuvo un descenso (Corral de Bustos) o mantenimiento (Monte Buey) de los niveles de P, mientras que el NPS tuvo un ascenso con respecto al muestreo previo. En Los Surgentes, el testigo produjo un incremento en los valores de P, pero el NPS tuvo un descenso. En Caferatta, el NPS produjo un incremento lógico de P en el suelo, pero el testigo tuvo un incremento de 20 ppm, que puede ser explicado por el error de muestreo debido a la alta variabilidad de suelo.

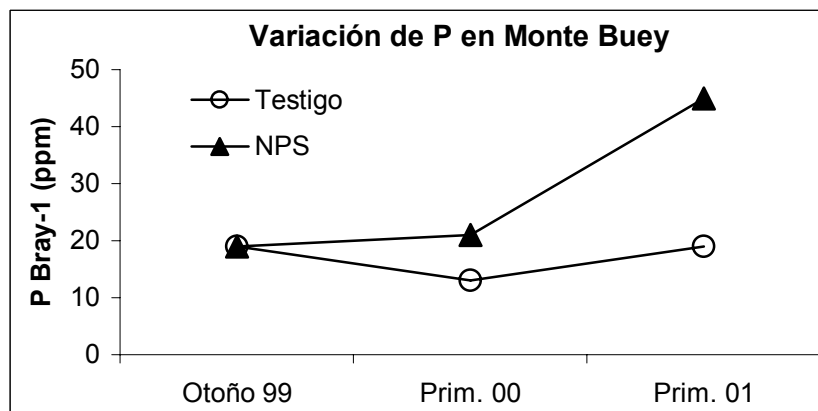
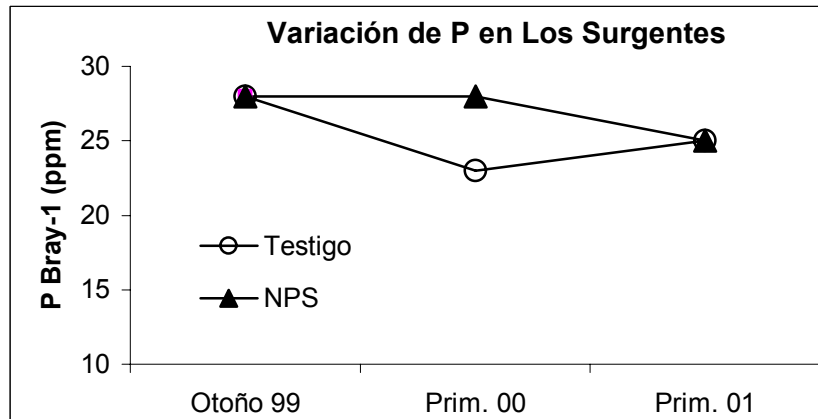
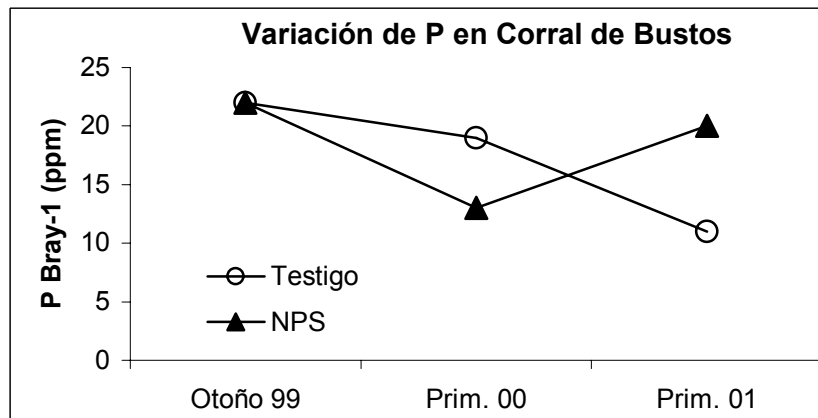
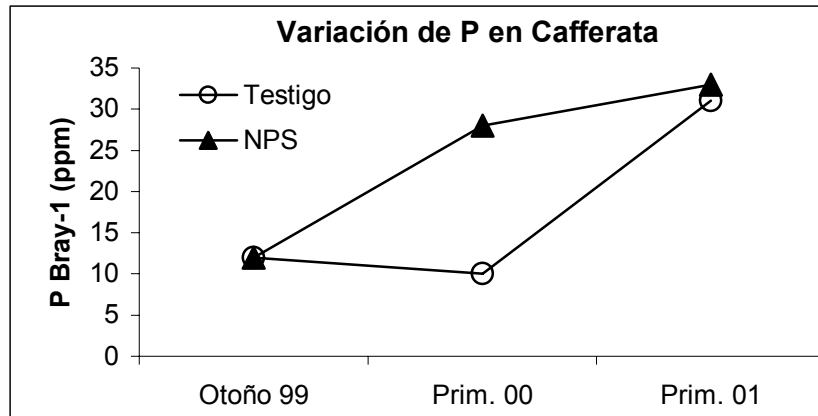


Figura 1. Variación de fósforo en Cafferata, Corral de Bustos, Los Surgentes y Monte Buey.



## Rendimiento

Los rendimientos de los cultivos que intervienen en la rotación se presentan en la Fig.2. En trigo, los rendimientos de los tratamientos testigo variaron entre 2004 kg/ha y 4120 kg/ha y los máximos rendimientos de los tratamientos fertilizados entre 2726 y 5416 kg/ha. Los menores rendimientos de los tratamientos testigo y fertilizados se registraron en San Carlos y San Justo, donde la disponibilidad de agua, precipitaciones y/o agua acumulada a la siembra, fue menor que en los otros sitios (datos no publicados). El análisis estadístico conjunto considerando los siete sitios donde se establecieron los seis tratamientos, es decir exceptuando a San Carlos y San Justo donde no se hizo el tratamiento completo con micronutrientes, indica diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos fertilizados. No se encontraron diferencias significativas entre los rendimientos de los tratamientos fertilizados. La respuesta promedio a la aplicación conjunta de N y P fue de 1256 kg/ha. Esta respuesta se atribuye a los bajos niveles iniciales de N-nitratos y, en el caso de Bragado, Cafferata y San Justo, al bajo nivel de P asimilable. El análisis estadístico por sitio mostró respuestas significativas a S en Cafferata y a KCl y KMg en Bragado.

En soja de segunda, los rendimientos promedio tendieron a ser menores (aproximadamente 250-300 kg/ha) en el tratamiento NP con respecto a los otros 5 tratamientos (incluido el testigo). Esta tendencia fue mas marcada en los ensayos de Noetinger y Los Surgentes, y no se observó en los ensayos de Maciel y San Carlos. El menor rendimiento de los tratamientos NP podría explicarse a partir de la menor disponibilidad de agua en el suelo a la siembra de soja, se observó que los tratamientos fertilizados presentaban entre 20 y 30 mm menos de agua almacenada que el testigo debido al mayor consumo de agua del trigo. La baja disponibilidad hídrica pudo haber limitado la respuesta a la fertilización residual. Las diferencias entre los tratamientos NP y NPS indicarían un elevado consumo de S en el trigo antecesor que afectó el rendimiento de la soja de segunda en el tratamiento NP.

En maíz, los rendimientos de los tratamientos testigo variaron entre 1232 kg/ha (San Justo) y 9547 kg/ha (Tandil), y los máximos rendimientos de los tratamientos fertilizados entre 5890 kg/ha (Bragado) y 12157 kg/ha (Los Surgentes). Los menores rendimientos se registraron en San Justo (Santa Fe), sobre un suelo muy degradado, y en Bragado, donde se registró un intenso estrés hídrico en diciembre y severos daños por granizo.

El análisis estadístico conjunto considerando los seis sitios donde se establecieron los seis tratamientos en 1999, indica diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos fertilizados. La respuesta promedio a NP fue de 3462 kg/ha. Esta respuesta se atribuye a los bajos niveles iniciales de N-nitratos, y al bajo nivel de P asimilable en el caso de Bragado, Cafferata, Monte Buey, Paraná y San Justo. Si bien no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos fertilizados, el tratamiento NPS superó en 1651 kg/ha al tratamiento NP. La baja a media disponibilidad de S-sulfatos en todos los ensayos explicaría esta respuesta a S. En el análisis de los promedios, no se observaron respuestas a los otros nutrientes evaluados. El análisis estadístico por sitio indicó respuestas significativas a S en Corral de Bustos y San Justo.

El análisis conjunto de los cuatro sitios establecidos en el 2000, mostró diferencias estadísticamente significativas entre el testigo y el tratamiento NP de 3237 kg/ha. Estas respuestas a NP se relacionan con los bajos niveles de disponibilidad inicial de N-nitratos, y con el bajo P en Paraná. La respuesta a S (NPS vs. NP) promedió 338 kg/ha, pero no fue estadísticamente significativa. El análisis estadístico por sitio indicó respuestas significativas a S en Paraná.

El rendimiento promedio del tratamiento NP de los sitios establecidos en 1999 tuvo una respuesta del 75%, mientras que en los sitios establecidos en 2000, el aumento de rendimiento fue de 45%. Esto demostraría la importancia de la residualidad de nutrientes por las aplicaciones previas de fertilizante.

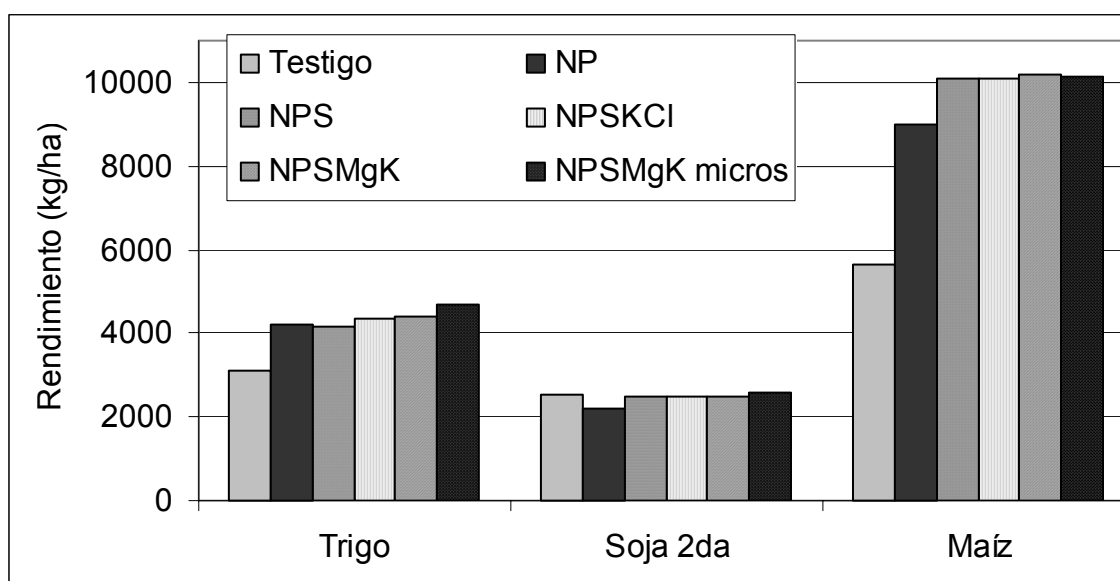


Figura 2. Rendimientos promedio de trigo, soja y maíz para los seis tratamientos evaluados.

### Respuestas y análisis de suelos

Las respuestas a la fertilización NP se explican principalmente por las bajas disponibilidades de N-nitratos a la siembra tanto en trigo como en maíz. Investigaciones realizadas en el sudeste de Buenos Aires y Sur de Santa Fe indican que para alcanzar 4000 kg/ha de rendimiento la disponibilidad inicial de N-nitratos (0-60 cm) debe ser superior a 100 kg/ha (González Montaner et al, 1991; E. Satorre, com. pers.). En los sitios evaluados, el promedio de N-nitratos (0-20 cm) fue de 46.2 kg/ha, considerándose que a 20-60 cm habría un 47% de los N-nitratos a 0-20 cm (Alvarez y Alvarez, 2000), la disponibilidad promedio sería de solamente 68 kg/ha a 0-60 cm.

En maíz, investigaciones realizadas en el norte de Buenos Aires y Sur de Santa Fe indican que para alcanzar 8000-9000 kg/ha de rendimiento, la

disponibilidad inicial de N-nitratos debe ser superior a 150 kg/ha (Ruiz et al., 2001). El promedio de los sitios de esta red de ensayos fue de 35.2 kg/ha de N-nitratos a 0-20 cm o 52 kg/ha a 0-60 cm, muy por debajo de los umbrales críticos indicados.

Para trigo en los sitios de Bragado, Cafferatta y San Justo (7, 12.2 y 14.1 ppm P Bray, respectivamente) y para maíz en San Justo, Paraná, Bragado y Corral de Bustos (8.8, 11.2, 13.1 y 14.5 ppm P Bray, respectivamente), las respuestas a NP también se deberían al bajo nivel de P disponible.

La disponibilidad de S-sulfatos a la siembra (0-20 cm) fue baja (< 10 ppm) en todos los ensayos tanto en trigo como en maíz. Si bien esta baja disponibilidad de S en suelo permite explicar las respuestas observadas en trigo en Cafferatta y en maíz en cinco sitios, no se relaciona con la falta de respuesta observada en otros sitios en ambos cultivos. En otras investigaciones en desarrollo en la región pampeana, la correlación entre disponibilidad de S-sulfatos a la siembra y respuesta a la fertilización azufrada también ha mostrado un comportamiento errático.

## **Análisis foliares y rendimiento**

### **Trigo**

Las principales diferencias en concentración de N y P se observaron entre el testigo y los fertilizados (todos habían recibido N y P). Las diferencias en concentración de S, en general, respondieron a los tratamientos de fertilización azufrada.

Comparando las concentraciones observadas con rangos de niveles críticos citados en la bibliografía, los valores de Ca, S, Fe, Mn y Zn serían adecuadas para la producción de trigo. Las concentraciones de B y Cu se encontraron por debajo de los niveles críticos mencionados por otros trabajos. La concentración de Mg se ubicó en niveles muy cercanos a los críticos. Estas comparaciones con datos de otras fuentes tienen solamente un carácter descriptivo, ya que la evaluación de los análisis foliares debe ser realizada de acuerdo a las condiciones ambientales y de manejo locales. La generación de una base de datos en el ámbito local permitirá establecer los niveles críticos de nutrientes en hoja.

La correlación entre rendimiento de trigo y análisis foliar (N, P y S) (muestras extraídas en 1999) se presenta en la Fig.3. Los valores mostraron bajas (con N y P) a nulas (con S) correlaciones con rendimiento.

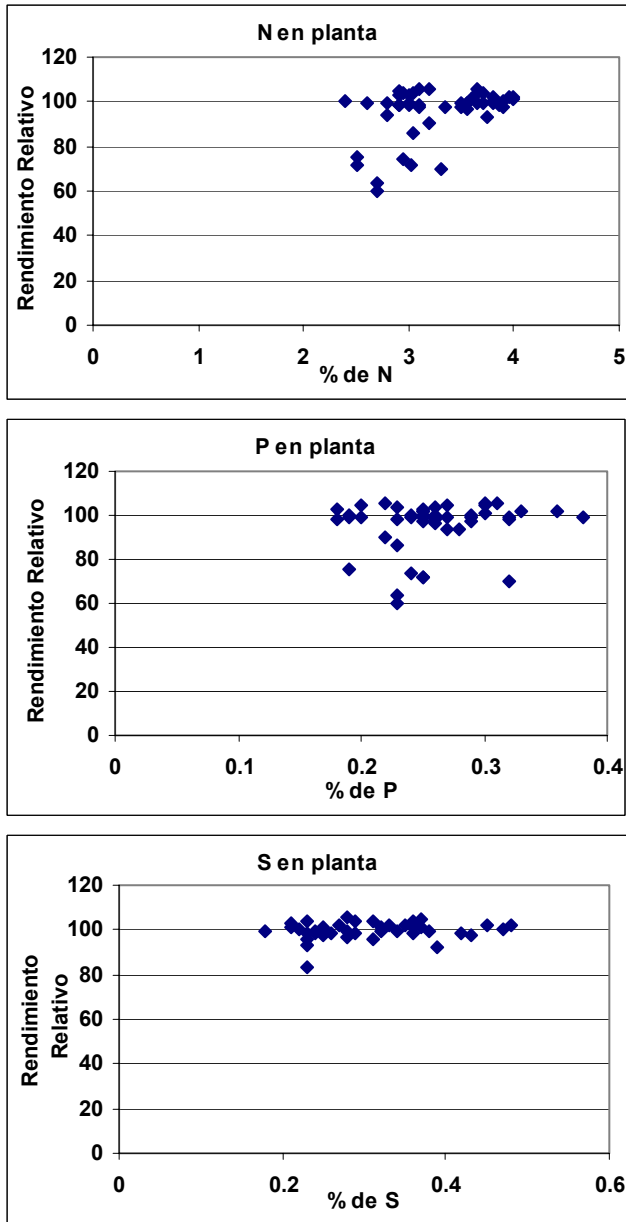


Figura 3. Relación entre rendimiento relativo de trigo y concentración foliar de N, P y S.

## Maíz

Las concentraciones de N y P fueron bajas en los tratamientos testigo y aumentaron por encima de los niveles críticos en los tratamientos fertilizados con N y P. Comparando las concentraciones observadas con rangos de niveles críticos citados en la bibliografía, Ca, Cu, Fe, Mn y Zn estarían en valores adecuados para la producción de maíz. Las concentraciones de Mg fueron, en general, bajas ubicándose por debajo de los valores críticos. Las diferencias en concentración de S entre tratamientos, en general, respondieron a las aplicaciones de S. Las diferencias en concentraciones foliares de N y P se reflejaron en respuestas en rendimiento, lo

que no ocurrió con las diferencias observadas en concentraciones foliares de S, K, Mg y B.

La correlación entre el análisis foliar (N, P y S) (muestras extraídas en 2000) y el rendimiento relativo de maíz se presenta en la Fig.4. La correlación entre rendimiento relativo y N foliar fue positiva y significativa, y el N foliar explicó el 83% de las variaciones de rendimiento. Rendimientos relativos menores o iguales a 60% tuvieron concentraciones foliares de N menores a 2.1%.

La correlación entre P foliar y rendimiento relativo fue también positiva, y el P foliar explicó el 80% de las variaciones de rendimiento. Rendimientos relativos menores o iguales a 60% tuvieron concentraciones foliares de P menores a 0.25%.

No hubo correlación entre rendimiento relativo y S foliar. La mayoría de los sitios presentaron concentraciones de S en hoja que estuvieron dentro del rango crítico reportado por otros autores, pero en Cafferata y San Justo el rendimiento relativo fue cercano a 60%, lo cual no fue reflejado en la concentración foliar de S.

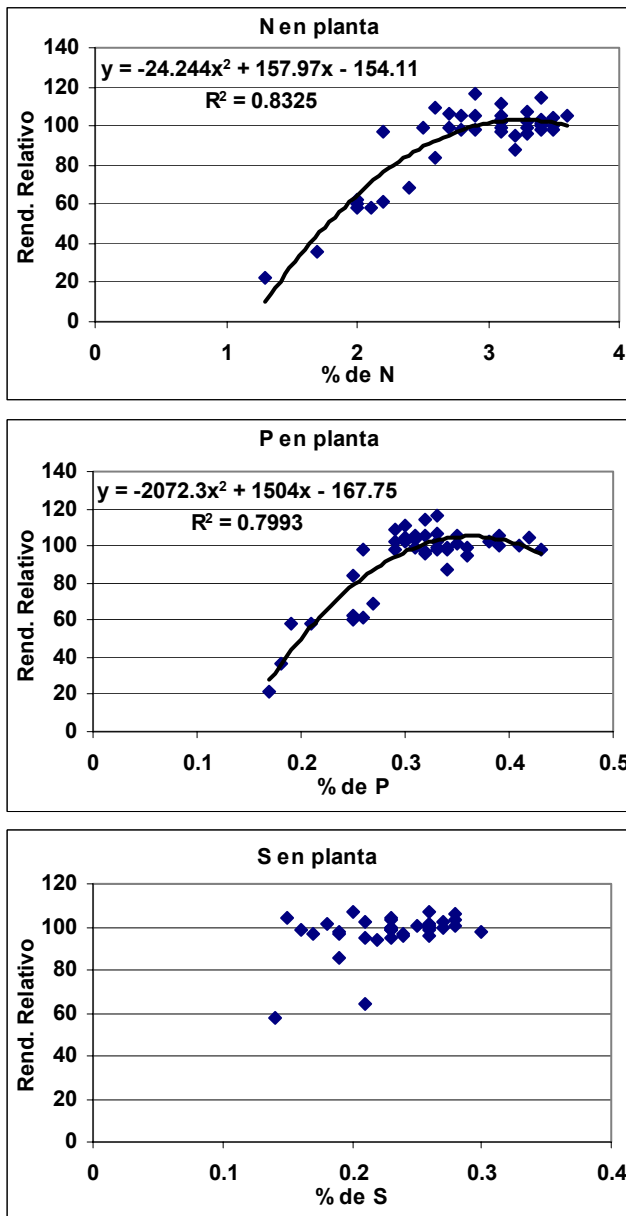


Figura 5. Relación entre rendimiento relativo de maíz y concentración foliar de N, P y S.

## Conclusiones

### Trigo

Se encontraron respuestas en rendimiento a NP en todos los sitios experimentales. Estas respuestas se relacionaron con la baja disponibilidad inicial de N y/o de P en suelos. La aplicación de S incrementó significativamente los rendimientos en uno de los nueve sitios.

## **Soja de Segunda**

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. La baja disponibilidad hídrica afectó los rendimientos y la respuesta a la fertilización. Los rendimientos del tratamiento NP tendieron a ser menores que los del testigo y el tratamiento NPS. Esto podría deberse al elevado consumo de agua y S del trigo antecesor.

## **Maíz**

Se encontraron respuestas en rendimiento a NP en todos los sitios experimentales. Estas respuestas se relacionaron con la baja disponibilidad inicial de N y/o de P en suelos y con las concentraciones foliares de N y P. La aplicación de S incrementó los rendimientos en cinco de los diez sitios. Las aplicaciones de K, Mg y/o micronutrientes no afectaron significativamente los rendimientos de maíz. Los rendimientos se correlacionaron significativamente con las concentraciones de N y P en hoja de la espiga al estado de aparición de estigmas, pero no con la concentración de S foliar.

## **Referencias**

- Alvarez C. y R. Alvarez. 2000. Correlación entre las concentraciones de nitrato del suelo a distintas profundidades: Análisis de datos publicados. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACCS. Mar del Plata.
- Ruiz R., E. Satorre, G. Maddoni, J. Carcova y M. Otegui. 2001. Umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada en maíz. VII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- González Montaner J., G. Maddoni, N. Mailland y M. Posborg. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la Subregión IV (Sudeste de la Provincia de Buenos Aires ). Ciencia del Suelo 9 (1-2):41-51.

## **Agradecimientos**

A todos los productores y personal de los establecimientos que implantaron los ensayos y participan en este proyecto.

A las empresas que con su apoyo hacen posible este trabajo.