

Nutrición y fertilización: Balances, Modelos de Diagnostico e Interacciones ¹

Fernando O. García¹ y Martín Díaz-Zorita²

¹ INPOFOS Cono Sur, fgarcia@inpofos.org

² DZD Consultores-FAUBA-Nitragin SA, mdzorita@speedy.com.ar

La nutrición es uno de los factores frecuentemente limitantes para lograr el rendimiento alcanzable de trigo sin factores reductores como malezas, plagas y enfermedades. En Argentina, casi toda la superficie sembrada de trigo recibe fertilización con dosis variables según la zona y el manejo de cada productor. Si bien en muchas zonas trigueras se dispone de metodologías adecuadas para el diagnóstico de las necesidades nutricionales del cultivo, es frecuente encontrar situaciones de sub-fertilización o fertilización no balanceada. Un aspecto adicional a tener en cuenta es que la mayoría de los cultivos de trigo es seguida por un cultivo de soja de segunda, siendo, en general, la fertilización del trigo la única que provee nutrientes para ambos cultivos, es decir que esta fertilización se realiza para el doble cultivo trigo-soja.

En este escrito se discuten tres aspectos: i) el efecto del balance de nutrientes en los suelos sobre los rendimientos de trigo, ii) los modelos de diagnóstico y la interacción entre nutrientes y iii) las novedades en cuanto a respuestas a nutrientes “no convencionales” (otros que no sean N, P o S) y a promotores biológicos de crecimiento.

1. Balance de nutrientes en la rotación: Efectos sobre el cultivo de trigo

A pesar del incremento en el uso de nutrientes vía fertilizantes en los últimos 15 años, los balances de nutrientes en Argentina siguen siendo negativos para los suelos. La estimación de extracción en grano y la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) en los cuatro principales cultivos indica que, para la campaña 2004/05, se repuso vía fertilización el 28%, 42%, menos del 2% y el 13% del N, P, K y S, respectivamente, extraídos en los granos (García, 2006). Estas cifras son similares a las que se han observado en los últimos 5-6 años e indican que el crecimiento en el uso de fertilizantes no compensa el crecimiento en la producción de granos. Estos desbalances de nutrientes impactan en la fertilidad de los suelos y la producción de trigo y otros cultivos en la rotación.

¹ Presentado en Congreso “A Todo Trigo 2006”, organizado por FCEGAC. Mar del Plata, 18 y 19 de Mayo de 2006.

Normalmente cuando pensamos en la nutrición de cultivos y la fertilidad de los suelos consideramos únicamente el cultivo que se va a implantar en esa campaña. Sin dudas, un aspecto que debe sumarse a la evaluación de la fertilización es pensar en la fertilidad de los suelos y la producción de los cultivos y/o pasturas que se incluyen en la rotación. Podemos involucrar estos dos aspectos bajo lo que se considera la *fertilización del sistema de producción*. Este concepto de fertilización se basa en la residualidad de los nutrientes en formas orgánicas (N, P, S) y/o inorgánicas (P, K) en el suelo y son sus objetivos y/o potenciales ventajas:

- Potenciar el reciclado de nutrientes en formas orgánicas (efectos sobre la MO del suelo)
- Mejorar los balances de nutrientes en el suelo (Reposición)
- Producir mayor cantidad de materia seca en cultivos de renta y/o de cobertura (mejorar el balance de C del suelo)
- Aumentar la eficiencia de las aplicaciones de fertilizantes (mejor distribución, menor fitotoxicidad)
- Ahorro de tiempo en la siembra
- Uso más eficiente de maquinarias y de personal

No estamos refiriéndonos simplemente al efecto puntual de residualidad de la aplicación de un nutriente de un año para el otro, un efecto demostrado ampliamente para el caso de P por ejemplo, sino a generar un suelo de mayor fertilidad y productividad asociando una mejor condición nutricional a prácticas de manejo tales como la rotación de cultivos, la siembra directa, la incorporación de cultivos de cobertura y otras que contribuyen a sostener y mejorar calidad del recurso suelo.

Los ensayos a mediano y largo plazo realizados a nivel nacional e internacional muestran los efectos de la fertilización del sistema: *la nutrición balanceada de los cultivos resulta en la nutrición balanceada del suelo*. A modo de ejemplo, la Fig. 1 muestra los rendimientos de trigo/soja en 2004/05 y de maíz en 2005/06, sobre parcelas sin fertilización o que fueron fertilizadas con N, P y S en dosis de reposición durante las cuatro campañas anteriores (2000/01 a 2003/04). Tanto el trigo/soja 2004/05 como el maíz 2005/06 recibieron, en las dos situaciones, fertilización NPS (80-86 kg N + 20-27 kg P + 10 kg S). Los resultados muestran que el efecto residual de cuatro años de fertilización de reposición NPS, aún con una fertilización NPS en el cultivo actual, permitió obtener respuestas adicionales de 2204 kg/ha de trigo y 559 kg/ha de soja de segunda en 2004/05 y de 1031 kg/ha en 2005/06. Este es el

resultado de la nutrición del cultivo y del suelo en “fertilidad acumulada” que genera ambientes edáficos de mayor fertilidad y productividad.

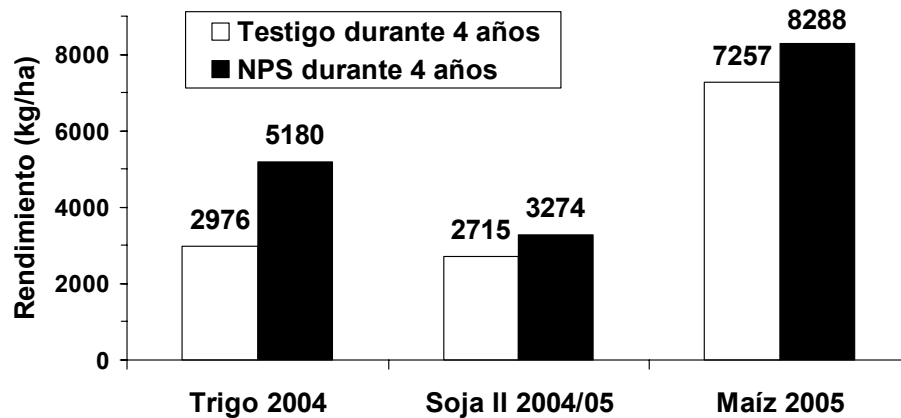


Figura 1. Rendimientos de trigo y soja de segunda en 2004/05 y de maíz en 2005/06 sobre parcelas Testigo o fertilizadas con NPS (dosis de reposición de NPS extraídos en grano), en los 4 años previos (2000 a 2003). Los dos tratamientos fueron fertilizados a la siembra del trigo y a la siembra de maíz con 80-86 kg N + 20-27 kg P + 10 kg S. Información Ensayo El Fortín, Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe, Campañas 2004/05 y 2005/06.

Los resultados de estos ensayos se suman a la información ya disponible en cuanto a efectos de residualidad de P y S en distintas zonas del país (Berardo et al., 1997; Vivas, 2003; Salvagiotti et al., 2005b; Ventimiglia et al., 2005), que aportan a la posibilidad de manejar la fertilización dentro del sistema de producción y no simplemente evaluarla como una práctica aislada para cada cultivo. La fertilización de trigo es una excelente alternativa para mejorar la nutrición en la rotación y no debería definirse solamente por la relación costo/beneficio en este cultivo.

2. Modelos de diagnóstico e interacción entre nutrientes

Existen diferentes alternativas de diagnóstico de la fertilización del cultivo, la mayor parte concentradas en la pre-siembra del cultivo. Muchas de estas metodologías se han desarrollado o validado bajo las condiciones de la región pampeana y otras han sido extrapoladas de otras regiones trigueras del mundo y han sido presentadas y discutidas en otros eventos y publicaciones (García, 2004; García y Berardo, 2005).

Brevemente, entre los modelos de diagnóstico de N se destacan la determinación de N-nitratos en pre-siembra a 0-60 cm de profundidad y el uso de modelos de simulación como el software Triguero (Satorre et al., 2005). El Triguero, en las zonas en las cuales ha sido

calibrado, permite generar alternativas de fertilización nitrogenada según las condiciones del ambiente: clima, suelo y manejo.

El diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en la concentración de P extractable, según el método de Bray 1, a 0-20 cm en pre-siembra. La Fig. 2 muestra la calibración observada en los 25 sitios/año de la Red de Nutrición de la región CREA Sur de Santa Fe. Las dosis de aplicación de P dependerán de la estrategia de manejo de P para cada productor: reposición y reconstrucción de los niveles de P Bray, o dosis de suficiencia para alcanzar un determinado rendimiento objetivo según análisis de suelo (Echeverría y García, 1998).

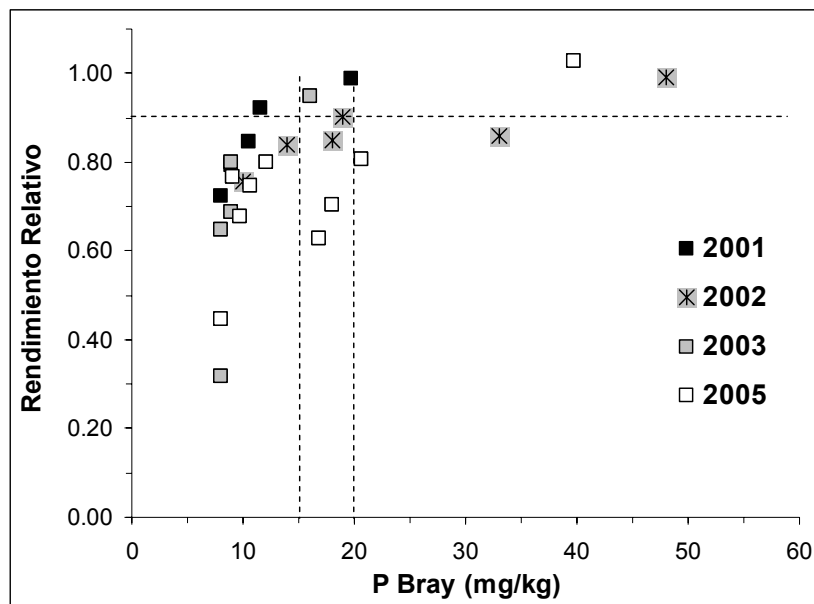


Figura 2. Rendimiento relativo de trigo (rendimiento NS/Rendimiento NPS) en función del nivel de P Bray a 0-20 cm de profundidad a la siembra. La línea horizontal indica rendimiento relativo del 90% y las verticales la concentración de P Bray de 15 mg/kg y 20 mg/kg. Ensayos Región CREA Sur de Santa Fe, 2001/02, 2002/03, 2003/04 y 2005/06.

En cuanto a S, las investigaciones desarrolladas no han generado modelos de diagnóstico confiables. La recomendación de fertilización azufrada de acuerdo a la caracterización del ambiente sigue siendo la más adecuada (Martínez y Cordone, 2005). Algunos trabajos indican un posible umbral crítico de 10 mg/kg de S-sulfatos a 0-20 cm en pre-siembra.

Un aspecto que debe enfatizarse en el manejo de la fertilización de los cultivos, es la interacción de la nutrición con el ambiente y, sobre todo, la interacción entre nutrientes, la que depende de las disponibilidades de los nutrientes en cada lote en particular. En 4 sitios/año de la

Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe, la interacción de N, P y S resultó en incrementos de rendimiento de 2665 kg/ha en promedio, un 145% de aumento sobre el promedio de los Testigo, superando significativamente a las interacciones parciales entre los tres nutrientes (Tabla 1).

Tabla 1. Rendimiento de trigo con diferentes tratamientos de fertilización con N, P y S en sitios de la Red de Nutrición de CREA Sur de Santa Fe en las campañas 2003/04 y 2005/06.

Tratamiento	Balducci 2003	El Fortín 2003	Balducci 2005	La Marta 2005
Testigo	1984 d [#]	1546 d	1980 d	1833 c
PS	3502 c	2540 c	3379 c	3047 b
NP	4130 b	2378 c	4091 bc	1636 c
NS	4437 b	3214 b	4348 b	2745 b
NPS	5160 a	3682 a	5476 a	3683 a

[#] Rendimientos seguidos por una misma letra, dentro de cada columna, no difieren entre sí al nivel de probabilidad del 5%.

3. Nutrientes “no convencionales” y promotores de crecimiento

Si bien N, P y S son los nutrientes generalmente deficientes para la producción de trigo, anualmente se realizan numerosas investigaciones para determinar deficiencias y respuestas a otros nutrientes esenciales. En la región pampeana, la aplicación de cloruro de potasio (KCl) en cultivos de trigo bajo condiciones NPS no limitantes, ha mostrado con frecuencia aumentos significativos en sus componentes del rendimiento y en la producción de granos. Dado que los suelos en esta región tienen altos contenidos de K, las respuestas se atribuyen mayormente a aportes de cloruros (Cl⁻) (Díaz-Zorita et al., 2004). El cloro, en forma de Cl⁻, es un elemento esencial requerido por las plantas que participa, entre otros, de procesos de regulación de ósmosis, en su desarrollo y en la supresión de enfermedades. Es frecuente describir que al fertilizar con KCl la incidencia de enfermedades decrece (Tabla 2). No obstante, estudios desarrollados tanto en el norte de la región de las Grandes Planicies en los EE.UU., como en la región pampeana argentina (Díaz-Zorita et al., 2004; Salviagiotti et al., 2005a), muestran que las mejoras en rendimientos no serían solo justificadas por reducciones en la incidencia de enfermedades.

Tabla 2. Promedio de incidencia y severidad de roya y mancha amarilla en trigo según dosis de fertilización con KCl en 8 cultivos de la región de la pampa arenosa. Campaña 2005. (Convenio DZD Agro-INPOFOS, inédito).

Enfermedad	Dosis de KCl (kg/ha)							
	0	50	100	150	0	50	100	150
	----- Incidencia (%) -----				----- Severidad (%) -----			
Roya	24	18	15	13	6	2	3	3
Mancha amarilla	8	6	6	6	10	5	0	5

Las mejoras en rendimientos al fertilizar con Cl^- serían de mayor magnitud en suelos con baja provisión de Cl^- y con texturas franco-arenosas a arenosas, aunque la variabilidad en las respuestas también se atribuye a variaciones en la “presión” de enfermedades durante estadios de desarrollo temprano de los cultivos y a diferencias en los genotipos cultivados. En la campaña 2005, a partir de 16 ambientes de producción definidos por combinaciones entre variedades, tratamientos de aplicación de funguicidas foliares y localidades de la región de la pampa arenosa, se observaron respuestas medias a la fertilización con KCl (dosis de entre 50 y 150 kg/ha) de unos 550 kg/ha (14%) en casi un 64% de los casos. Estos resultados son similares a los descritos en campañas anteriores con aumentos medios de 343 kg/ha al aplicarse 100 kg/ha de KCl (Fig. 3).

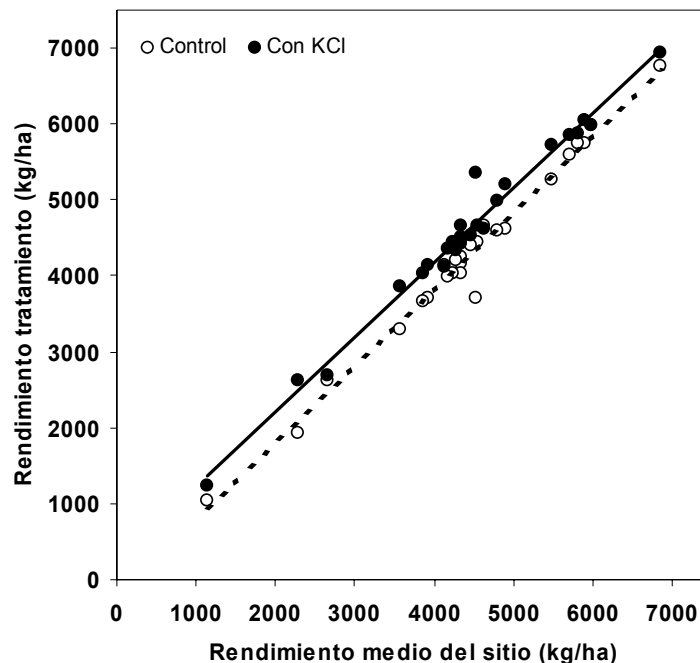


Figura 3. Producción de cultivos de trigo según tratamientos de fertilización con KCl en 25 sitios experimentales de la región de la pampa arenosa durante las campañas 2003 y 2004 (Díaz-Zorita y Duarte, 2005).

El mejoramiento en la calidad de la microflora de suelos agrícolas al incorporar organismos seleccionados por sus funciones en diversos procesos que contribuyen con la implantación, desarrollo y producción de cultivos es una alternativa que permite lograr mejores cultivos. Los efectos del uso de los tratamientos biológicos pueden ser directos favoreciendo la nutrición de las plantas y su disponibilidad de agua como indirectos promoviendo a un mejor desarrollo de las plantas. Algunos de estos microorganismos han sido eficientemente aislados y multiplicados para la formulación de inoculantes para su aplicación en escala de producción.

En Argentina hay varios productos con formulaciones biológicas para el tratamiento de semillas de trigo que han mostrado efectos favorables sobre la producción de trigo en condiciones extensivas. Entre estos, se encuentran microorganismos caracterizados como solubilizadores de P (ej. *Pseudomonas sp.*) con capacidad de producir ácidos orgánicos (ácidos oxálico, fumárico y cítrico) y fosfatasa facilitando la solubilidad del P y otros nutrientes. Además, la promoción del crecimiento de las plantas inducida por *Pseudomonas sp.* podría también asociarse a la producción de algunas fitohormonas y a la protección contra hongos patógenos. Estudios en el centro-norte de Buenos Aires muestran que la respuesta a este tratamiento es complementaria a la práctica de fertilización fosfatada (Ferraris y Couretot, 2004) con resultados similares entre dosis de aplicación del P (Fig.4).

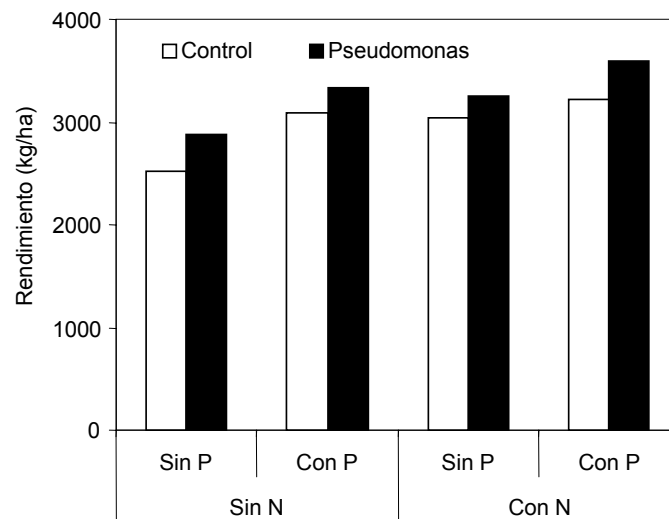


Figura 4. Rendimiento de trigo según tratamientos de fertilización e inoculación con *Pseudomonas sp.*. Promedio de 5 ambientes del centro-norte de Buenos Aires (García y Bach, 2003).

Azospirillum sp. es otro de los microorganismos con características de promoción del crecimiento vegetal disponible en tratamientos de inoculación. En un principio fue conocido por su capacidad de fijar N libremente, pero en la actualidad se reconocen otros mecanismos de promoción vegetal más importantes. Si bien los conocimientos de los efectos de *Azospirillum sp.* sobre el crecimiento de abundantes especies cultivadas no es reciente, sí lo es su utilización extensiva en condiciones de producción. A partir de la campaña 2002 y en un convenio de vinculación tecnológica entre el INTA y Nitragin Argentina se desarrolló un producto de formulación líquida conteniendo *Azospirillum brasilense* para el tratamiento de semillas de trigo. Sobre 249 lotes de producción evaluados, en el 75% se detectaron aumentos de rendimiento

por la aplicación del tratamiento. Estos cambios se asociaron principalmente con el logro de mayor número de granos y acumulación de biomasa aérea y radical alcanzando aumentos en los rendimientos fundamentalmente en ambientes con rendimientos alcanzables de trigo superiores a los 2000 kg/ha (Tabla 3). Los resultados fueron independientes de la práctica de fertilización empleada (Fig. 5) permitiendo la inoculación con este formulado mejorar la eficiencia de aprovechamiento de nutrientes aportados por fertilización (Díaz-Zorita et al., 2006).

Tabla 3. Producción de trigo según tratamientos de semillas con una formulación líquida con *Azospirillum brasilense*. Campañas 2002 a 2005 (INTA-Nitragin Argentina, inédito).

Rendimiento Alcanzable (kg/ha)	Casos		Rendimiento (kg/ha)		Respuesta		
	Total	Con Respuesta	Control	Tratado	%	kg/ha	P(x)
< 2000	17	41%	1421	1486	16	201	0.12
2000-3000	40	80%	2302	2572	18	355	0.00
3000-4000	57	75%	3358	3523	8	270	0.00
4000-5000	79	76%	4227	4442	9	351	0.00
> 5000	56	79%	5128	5524	13	611	0.00
Total	249	75%	3730	3973	12	389	0.00

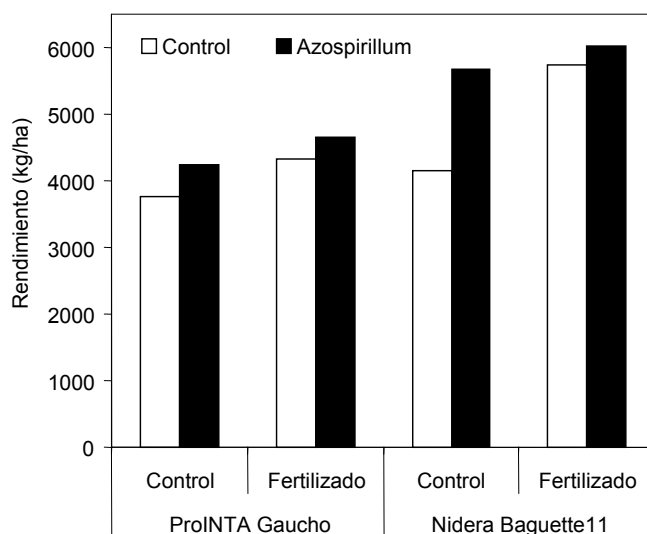


Figura 5. Producción de grano de trigo según tratamientos de fertilización (P18 N150) e inoculación con *Azospirillum brasilense* en el norte de Buenos Aires. Campaña 2005 (Ferraris y Couretot, inédito).

Consideraciones finales

- ❖ La fertilización de trigo es una excelente alternativa para mejorar la nutrición en la rotación y no debe definirse solamente por la relación costo/beneficio en este cultivo.

- ❖ Un aspecto a considerar en el manejo de la fertilización de los cultivos, es la interacción de la nutrición con el ambiente y, sobre todo, la interacción entre nutrientes.
- ❖ En la región pampeana, la aplicación de cloruro de potasio (KCl) en cultivos de trigo bajo condiciones NPS no limitantes, ha mostrado con frecuencia aumentos significativos en sus componentes del rendimiento y en la producción de granos.
- ❖ En Argentina se dispone de varios productos con formulaciones biológicas para el tratamiento de semillas de trigo, que han mostrado efectos favorables sobre los rendimientos en condiciones extensivas.

Referencias

- Berardo A., F. Grattone, R. Rizzalli y F. García. 1997. Long-term effects of phosphorus fertilization in wheat yields, efficiency and soil test levels. *Better Crops International*. Vol. 12 No. 2, 18-20.
- Díaz-Zorita, M., R.M. Baliña, M.V.Fernández Canigia, y A. Peticari. 2006. Rendimiento de cultivos de trigo en la región pampeana inoculados con *Azospirillum brasilense*. *INPOFOS Informaciones agronómicas* 29: 17-19.
- Díaz-Zorita, M., y G. Duarte. 2005. La fertilización con cloruros en cultivos de trigo del oeste bonaerense. *AAPRESID Trigo en siembra directa*: 115-117
- Díaz-Zorita, M., G. A. Duarte, y M. Barraco, 2004, Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in the sandy Pampas region, Argentina: *Agronomy Journal*, v. 96, p. 839-844.
- Echeverría H. y F. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* No.149. EEA INTA Balcarce.
- Ferraris, G., y L. Couretot, 2004. Evaluación de la utilización de bacterias solubilizadoras de fósforo (*Pseudomonas spp*) en trigo. *Revista de Tecnología Agropecuaria - INTA Pergamino* 9: 37-39.
- García F. 2004. Avances en el manejo nutricional de los cultivos de trigo. *Actas Congreso "A Todo Trigo"*. FCEGAC. Mar del Plata, 13-14 Mayo. Pp. 55-62.
- García F. 2006. La nutrición de los cultivos y la nutrición de los suelos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 29:13-16. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- García F. y A. Berardo. 2005. Trigo. Pag. 233-253. En H. Echeverría y F. García (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- García, R., y T. Bach, 2003. Efecto de la inoculación con *Pseudomonas* sobre el rendimiento de trigo. EEA INTA Pergamino, *Informe Técnico* 324, 19 pp.
- Martínez F. y G. Cordone. 2005. Avances en el manejo de la fertilización de cultivos y fertilidad de suelos en el sur de Santa Fe. *Simposio "Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente"*. Rosario, 27-28 Abril. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar A.C. pp. 3-11.
- Salvagiotti, F. J. Castellarín, H. Pedrol, M. González, M. Incremona. 2005a. Efecto de la fertilización con potasio y cloro sobre el rendimiento y severidad de las enfermedades foliares en trigo. *INPOFOS Informaciones Agronómicas* 26: 16-19
- Salvagiotti F., G. Gerster, S. Bacigaluppo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol, y P. Vallote. 2005b. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. *Ciencia del Suelo* 22(2):92-101.
- Satorre E., F. Menéndez y G. Tinghitella. 2005. El modelo Triguero: Recomendaciones de fertilización nitrogenada en trigo. *Simposio "Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente"*. Rosario, 27-28 Abril. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar A.C. pp. 3-11.
- Ventimiglia L. 2005. Nutrición de cultivos en el centro de Buenos Aires. *Actas Simposio "Fertilidad 2005"*. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar Asociación Civil. Rosario, 27-28 de Abril 2005. pp. 39-47.
- Vivas, H. S. 2003. Fertilizando el Suelo: Residualidad de los fertilizantes en rotaciones de cultivos y

pasturas. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. XI Congreso de AAPRESID, "Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa". Bolsa de Comercio de Rosario. 26 al 29 de agosto de 2003.