

## Balance de nutrientes y necesidades de fertilización del cultivo de trigo 1

**Fernando O. García**

INPOFOS Cono Sur

Av. Santa Fe 910 – (B1641ABO) Acassuso, Buenos Aires

fgarcia@inpfos.org

### ¿Qué es un balance de nutrientes?

El balance de nutrientes es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema definido en el espacio y en el tiempo. En general, estos balances se consideran para la capa de suelo explorada por las raíces en períodos anuales. Esta definición permite estimar balances nutricionales de un lote en una campaña agrícola a partir de los nutrientes que egresan del suelo en los granos y forrajes cosechados, en los productos animales y en los residuos de cultivos que son transferidos a otros lotes. Los ingresos de nutrientes al suelo están constituidos por los aportados por fertilizantes, abonos orgánicos (incluyendo residuos de cultivos no generados en el mismo lote) y, en el caso de nitrógeno (N), por la fijación de  $N_2$  del aire. El aporte de nutrientes de los residuos de cultivos realizados en el mismo lote, se considera un reciclaje de nutrientes dentro del mismo sistema suelo y, por lo tanto, no se incluye entre los ingresos.

El concepto de balances de nutrientes se amplía en el tiempo cuando se considera una rotación determinada que incluye más de un cultivo o un ciclo agrícola. Dados los beneficios que resultan de la rotación de cultivos, es de importancia considerar un ciclo de rotación, y no simplemente un cultivo, al definir los balances de nutrientes. Por otra parte, la dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta implica transformaciones que en muchas ocasiones exceden el período de crecimiento de un cultivo, por ejemplo la residualidad de fósforo (P).

Los egresos de nutrientes pueden ser estimados a partir de las concentraciones promedio en granos y forrajes cosechados (ver planilla de cálculo CalcReq.xls en [www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf)). Las concentraciones indicadas en tablas son referencias promedio, ya que existen variaciones importantes en la concentración de nutrientes en los granos y forrajes según las condiciones ambientales y de manejo.

Los ingresos de nutrientes se estiman a partir de las cantidades de fertilizantes o abonos orgánicos aplicados y su concentración en nutrientes. Las cantidades de  $N_2$  fijado vía simbiótica y asimbiótica varían según especie, condiciones ambientales y de manejo. Por ejemplo, para soja en la región pampeana argentina, el aporte de N vía fijación simbiótica se ha estimado entre un 30% a 70% de las necesidades totales del cultivo.

El manejo adecuado de la nutrición y fertilización de cultivos permite mejorar el balance de nutrientes. Existe abundante información a nivel regional e internacional en cuanto a las ventajas agronómicas, económicas y ambientales de la nutrición y fertilización balanceada. Los programas de fertilización balanceada resultan en mejores rendimientos de los cultivos, acercan los rendimientos actuales a los potenciales en las distintas áreas ecológicas, y mantienen y/o mejoran la sustentabilidad de los sistemas de producción.

### ¿Por qué es importante estimar el balance de nutrientes?

La importancia de estimar el balance de nutrientes, ya sea a nivel país o región o a nivel de lote, radica en que los balances negativos (aplicar menos nutrientes de los que se extraen con los granos y/o forrajes), disminuyen la fertilidad de los suelos afectando la productividad y rentabilidad del sistema y degradando el recurso suelo (García, 2001 y 2003; Cordone y Martínez, 2004). Por otra parte, balances exageradamente positivos (aplicar más nutrientes de los que se extraen con los granos y/o forrajes), resultan en bajas eficiencias de uso de los nutrientes y pobres resultados económicos y pueden generar problemas ambientales.

En Argentina, estimaciones para la campaña 2003/04 indican balances de nutrientes negativos para los sistemas de producción de granos. Los niveles de reposición de los nutrientes extraídos en los cuatro cultivos principales de grano (trigo, maíz, soja y girasol) fueron del orden del 30% para N, 40% para P, menos del 2% para potasio (K) y del 15% para azufre (S). Obviamente, a

<sup>1</sup> Presentado en la 1ª Jornada de Trigo de la Región Centro. Bolsa de Cereales de Córdoba, Bolsa de Comercio de Rosario, Bolsa de Cereales de Entre Ríos y Bolsa de Comercio de Santa Fe. Córdoba, Argentina. 30-31 Marzo 2005.

nivel de lote, los balances de nutrientes varían de acuerdo a los rendimientos de los cultivos y las estrategias de fertilización.

### Los balances de nutrientes y el cultivo de trigo

El trigo cumple varias funciones de importancia en las rotaciones agrícolas de la región pampeana: 1) diversificación de cultivos, con las consiguientes ventajas desde el punto agronómico, económico y ambiental, 2) aporte de residuos y carbono para mantener y/o mejorar los niveles de materia orgánica, y 3) contribución para generar balances de nutrientes menos negativos. Con respecto a este último punto, la inclusión de trigo para reponer N es una alternativa para reducir los balances de N fuertemente negativos en los sistemas con alta frecuencia de soja en la rotación (Cordone y Martínez, 2004). Por otra parte, la presencia del trigo en la rotación, permite el manejo del concepto de “fertilización de la rotación” especialmente en lo que hace al manejo de nutrientes como P y S, un claro ejemplo es el manejo de la fertilización para el doble cultivo trigo/soja. En las siguientes secciones se presentarán sintéticamente los aspectos de mayor relevancia en cuanto al manejo de la fertilización del cultivo de trigo.

### Necesidades nutricionales y manejo de la fertilización del cultivo de trigo

La búsqueda de altos rendimientos en el cultivo de trigo implica reconocer que las demandas nutricionales serán mayores, afectando el diagnóstico y manejo de la fertilización. La Tabla 1 muestra los requerimientos y la extracción en grano, según información bibliográfica, para un rendimiento de 6000 kg/ha.

En la región triguera argentina, los nutrientes generalmente deficientes son el N y el P. En los últimos años, el S se ha revelado como deficiente, especialmente en la zona norte de la región pampeana. Existen diferentes alternativas de diagnóstico de la fertilización del cultivo, la mayor parte concentradas en la pre-siembra del cultivo (Fig. 1). Muchas de estas metodologías se han desarrollado o validado bajo condiciones de la región pampeana y otras han sido extrapoladas de otras regiones trigueras del mundo.

Tabla 1. Requerimientos y extracción en grano de macronutrientes, nutrientes secundarios y micronutrientes para rendimientos de trigo de 6000 kg/ha.

Nutriente	Requerimiento <i>kg/ton grano</i>	Necesidad para 6000 kg/ha <i>kg/ha</i>	Indice de Cosecha	Extracción de 6000 kg/ha <i>kg</i>
Nitrógeno	30	180	0.66	119
Fósforo	5	30	0.75	22
Potasio	19	114	0.17	19
Calcio	3	18	0.14	2.5
Magnesio	3	18	0.50	9.0
Azufre	4.5	27	0.25	6.8
Boro	0.025	0.150		
Cobre	0.010	0.060	0.75	0.045
Hierro	0.137	0.822		
Manganeso	0.070	0.420	0.36	0.151
Zinc	0.052	0.312	0.44	0.137

### Nitrógeno

Entre los principales métodos de diagnóstico para la fertilización nitrogenada de trigo evaluados en nuestro país se encuentran: 1) balances de N simplificados, 2) evaluación de N disponible en pre-siembra, 3) análisis de planta y 4) modelos de simulación agronómica (MSA) (González Montaner et al., 1991; Berardo, 1994; Satorre et al., 2001). Estas metodologías son permanentemente actualizadas y calibradas para las distintas zonas. Entre ellas, los MSA constituyen una herramienta muy promisoriosa para el manejo eficiente del N en el sistema suelo-

planta. Los MSA permiten hacer un uso más eficiente del N del suelo y el N aplicado, ya que integran los factores de suelo, clima y manejo que afectan la dinámica de N y el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Para métodos de diagnóstico de la fertilización nitrogenada como la disponibilidad de N a la siembra (N-nitratos, 0-60 cm + N fertilizante), es importante tener en cuenta que los umbrales zonales dependen del nivel de rendimiento objetivo. En la región CREA Sur de Santa Fe, se determinó un umbral crítico de 160 kg/ha de N a la siembra (suelo + fertilizante) para un rendimiento de 4500 kg/ha (Blanco et al., 2004) en ensayos realizados en la campaña 2003/04 (Fig. 2).

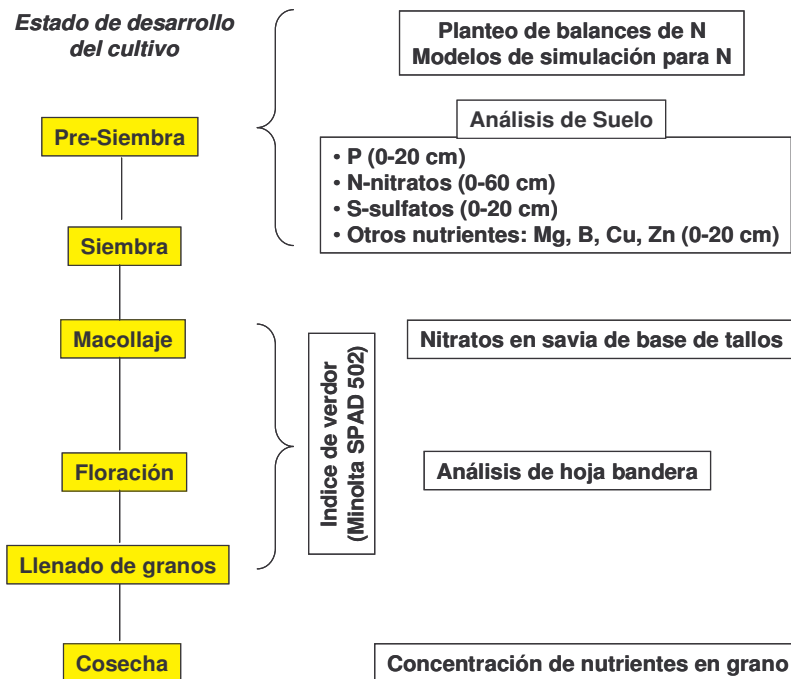


Fig. 1. Alternativas de diagnóstico nutricional del cultivo de trigo desde pre-siembra a cosecha.

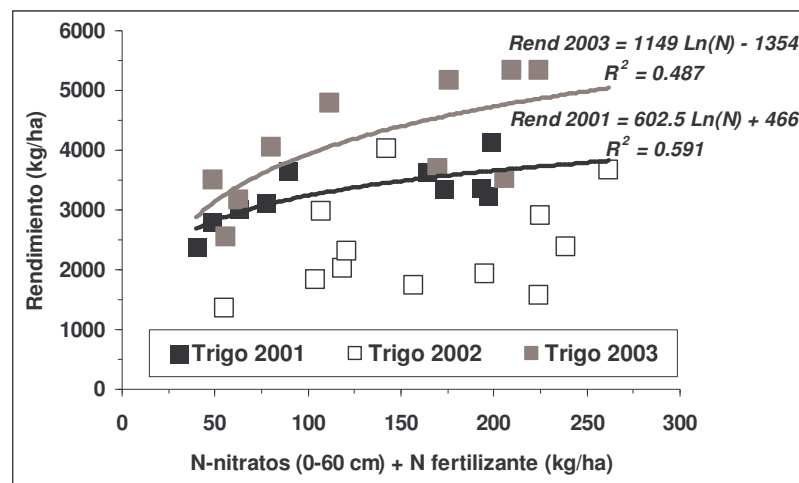


Fig. 2. Rendimiento de trigo en función de la disponibilidad de N-nitratos en pre-siembra (0-60 cm) + N aplicado como fertilizante. Ensayos Región CREA Sur de Santa Fe, 2001/02, 2002/03 y 2003/04 (Blanco et al., 2004).

La eficiencia de uso del N de los fertilizantes nitrogenados depende del método y momento de aplicación. Cuando el N es incorporado, todos los fertilizantes nitrogenados presentan eficiencias de uso similares. Aplicaciones superficiales de urea o fertilizantes que la contengan pueden resultar en reducciones significativas en la eficiencia de uso del N aplicado por la ocurrencia de pérdidas por volatilización de amoníaco. Sin embargo, estas pérdidas, para aplicaciones a la siembra y/o al macollaje de trigo, se ven limitadas por las bajas temperaturas y, según las zonas, en muchos casos por la falta de humedad en el suelo o sobre el rastrojo. Pérdidas del 5-7% fueron determinadas por Fontanetto et al. (2001) para el centro de Santa Fe en aplicaciones superficiales de urea bajo siembra directa en el mes de Junio.

Respecto al momento de aplicación, los requerimientos de N son mayores a partir del fin de macollaje, por lo que el nutriente debe estar disponible para ser absorbido por el cultivo en ese momento. Los resultados de las evaluaciones de distintos momentos de aplicación difieren según las condiciones climáticas del año, la zona y los niveles de producción. En condiciones de inviernos de bajas precipitaciones, frecuentes en gran parte de la región triguera argentina, las aplicaciones a la siembra han resultado en una eficiencia de uso del N igual o mayor que la de las aplicaciones al macollaje. Cuando se utilizan dosis elevadas de N, para cultivos de rendimientos superiores, debería considerarse la aplicación dividida de N.

### Fósforo

El diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en la disponibilidad de P en la capa superficial, el nivel de rendimiento esperado y la relación de precios grano/fertilizante. La Tabla 2 presenta las recomendaciones de fertilización fosfatada para trigo en el sudeste de Buenos Aires de acuerdo al nivel de P Bray en suelo y el rendimiento esperado. Estas recomendaciones se adaptan a otras zonas de la región pampeana. Bajo siembra directa, las evaluaciones de respuesta a la fertilización fosfatada indican que el diagnóstico (profundidad de muestreo y niveles críticos) es similar al utilizado bajo labranza convencional.

Tabla 2. Recomendaciones de fertilización fosfatada para trigo según nivel de P Bray y rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998).

Rendimiento	Concentración de P disponible en el suelo (mg/kg)						
	Menos 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
ton/ha	----- kg P/ha -----						
2	20	15	13	11	9	7	
3	23	19	17	15	13	11	
4	27	22	21	18	17	14	10
5	31	26	24	22	20	18	14
6	34	30	28	26	24	22	17
7	38	33	31	29	28	26	21

Un aspecto importante para el manejo del P es la posibilidad de manejar la “fertilización de la rotación o del suelo” y no solamente la “fertilización del cultivo”. Estudios realizados en distintas áreas de la región pampeana indican una alta residualidad y baja capacidad de fijación del P aplicado en suelos argiúdoles y haplúdoles.

En suelos con bajo nivel de P disponible o con dosis bajas de fertilización bajo labranza convencional, la aplicación en bandas cerca de la semilla es más eficiente. Sin embargo, trabajos recientes en el norte y sur de la región pampeana han mostrado resultados auspiciosos para las aplicaciones anticipadas de P al voleo en trigo bajo siembra directa (Echeverría et al., 2004).

### Azufre

Las deficiencias de S se observan en suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica, y en suelos con disminuciones importantes de materia orgánica resultado de una agricultura continua altamente extractiva, generalmente con abastecimiento adecuado de N y P. Bajo estas

condiciones se han observado respuestas a la aplicación de S en trigo en el Sur y Centro de Santa Fe, y centro-oeste y norte de Buenos Aires (Martínez et al., 2001; Carta et al., 2001). La Tabla 3 muestra los resultados de la inclusión de S sobre trigos fertilizados con N y P en 9 ensayos llevados a cabo entre 1998 y 2002 por diversos autores en el sur de Córdoba y sur de Santa Fe.

Tabla 3. Rendimiento, respuesta, ingreso bruto, costo y margen bruto con fertilización NP y NPS en trigo. Promedios de nueve ensayos realizados entre 1998 y 2002 en el sur de Córdoba y sur de Santa Fe. Elaborado a partir de información original de INTA M. Juárez, Rafaela y Cañada de Gómez; AAPRESID y AAPRESID-INPOFOS.<sup>#</sup>

Tratamiento	Rendimiento	Respuesta	Ingreso	Costo	Margen
	kg/ha	kg/ha	U\$/ha	U\$/ha	U\$/ha
Testigo	2069				
NP	2870	801	80	49	31
NPS	3301	1232	123	64	59

<sup>#</sup> Dosis promedio de 50 kg N, 16 kg P y 15 kg S. Precios de 100 U\$/t para trigo, y de 0.5, 1.5 y 1 U\$/kg para N, P y S, respectivamente.

El diagnóstico para la fertilización azufrada está siendo evaluado en numerosas investigaciones actualmente en curso. Los niveles de S-sulfatos en suelo en pre-siembra pueden ser utilizados en forma orientativa, con umbrales críticos del orden de 10-12 mg/kg S-sulfatos, según la bibliografía internacional. La evaluación de formas orgánicas lábiles del S del suelo y la concentración de S en planta son otros elementos de diagnóstico actualmente bajo estudio.

### Otros nutrientes

En general, los suelos de la Región Pampeana se consideran originalmente bien provistos de otros nutrientes esenciales como K, calcio, magnesio y micronutrientes. Sin embargo, la intensificación de la agricultura ha resultado en una disminución importante en la disponibilidad de nutrientes. Por lo tanto, las deficiencias de estos nutrientes están y estarán fundamentalmente relacionadas con la historia de manejo de los suelos y cultivos en un área en particular.

En ensayos exploratorios se han reportado respuestas a boro en Alberti (Buenos Aires) (Klein, 2003) y a cloro en el norte y oeste de Buenos Aires (Melgar et al., 2001; Díaz Zorita et al., 2004; Ventimiglia et al., com. pers.). Evaluaciones exploratorias de mezclas de nutrientes “no convencionales” (otros que no sean N, P o S), incluyendo K, magnesio, boro, cobre y zinc, incrementaron los rendimientos en 7 de 29 ensayos de las redes de AAPRESID (1999/00 y 2002/03) y CREA Sur de Santa Fe (2001/02, 2002/03 y 2003/04).

### El manejo nutricional de trigo en el sistema de producción

El manejo de la nutrición y la fertilización deben ser considerados dentro del sistema de producción y no solamente para el cultivo inmediato. En el caso de trigo, una gran parte de los cultivos de la región pampeana son seguidos por cultivos de soja “de segunda”. La dinámica de P y S y los resultados de distintas experiencias realizadas en los últimos años indican que el manejo de la nutrición de la secuencia trigo/soja debe ser evaluado teniendo en cuenta los dos cultivos y que la fertilización puede ser realizada directamente sobre el trigo para cubrir las necesidades de ambos cultivos (Tabla 4) (Díaz Zorita et al., 2002). Los efectos residuales de la fertilización con P y S no se restringen al doble cultivo trigo/soja, sino que se prolongan en cultivos subsiguientes en la rotación (Vivas, 2003). Asimismo, la fertilización de los cultivos dentro de la rotación debería considerar el balance de nutrientes en el suelo no solo por sus efectos sobre los rendimientos sino también por los efectos sobre la sustentabilidad del sistema en el mediano y largo plazo, como se discutió previamente.

Tabla 4. Rendimiento de trigo y soja de segunda con diferentes tratamientos de fertilización con N, P y S aplicados en el trigo. Fuente: INTA Marcos Juárez y Casilda (C. de Bustos 1998/99); Fontanetto (2003) (S. M. de las Escobas, promedio de 3 años); INTA Cañada de Gómez (Armstrong, Ensayo Proyecto Fertilizar INTA 2001/02).

Tratamiento	Corral de Bustos (Córdoba)	San Martín de las Escobas (Santa Fe)	Armstrong (Santa Fe)
-------------	-------------------------------	---	-------------------------

	Trigo	Soja II	Trigo	Soja II	Trigo	Soja II
Testigo	1808	1919	1655	2250	1176	2331
P	1998	2131	1705	2695	-	-
NP	1948	1903	2395	2705	2133	2545
NS	2253	3042	2560	2740	1840	3186
NPS	3193	2947	2775	3040	2192	3099

La nutrición del cultivo interactúa con otros factores de producción. En la zona norte de la región pampeana, la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo limita frecuentemente el potencial de producción y, consecuentemente, la respuesta a la fertilización. Sin embargo, cultivos sin deficiencias nutricionales generalmente usan más eficientemente el agua disponible, tal como se observó en la campaña 2003/04 (Blanco et al., 2004).

Los cultivos con mejor nutrición son generalmente más tolerantes o menos afectados por enfermedades foliares. Los trabajos de Annone et al. (2003) en el norte de Buenos Aires han demostrado que la fertilización nitrogenada complementaria puede reducir el desarrollo de enfermedades como mancha amarilla e incrementar el área de tejido verde remanente en hojas superiores en muchos cultivares. Estos efectos son más consistentes cuando el N se aplica en combinación con funguicidas.

### Consideraciones finales

Mejorar y mantener una adecuada fertilidad del suelo a través de una nutrición balanceada es un aspecto crítico para producir rendimientos elevados y sustentables en el tiempo. En suelos productivos bajo una misma condición ambiental, siempre se obtienen mayores rendimientos con alta fertilidad que con baja fertilidad.

A nivel país, se deberían generar políticas agropecuarias que tengan en cuenta el balance negativo de nutrientes de los suelos. La reserva de nutrientes del suelo es un recurso no renovable, y si bien los suelos argentinos se caracterizan por una alta fertilidad natural, la misma se va perdiendo en la medida que no se reponen los nutrientes que se extraen. Esto puede resultar en caídas de producción de granos y forrajes, los que constituyen una parte sustancial de los ingresos que recibe el país en concepto de exportaciones.

El manejo racional de la fertilización de trigo debe sumarse a otras prácticas de manejo tales como la siembra directa y la rotación de cultivos para mantener y/o mejorar los rendimientos, la rentabilidad de la empresa y la sustentabilidad del sistema.

### Referencias

- Annone J., R. García, O. Polidoro y A. Calzolari. 2003. Comportamiento de cultivares de trigo en siembra directa bajo distintas combinaciones de fertilización nitrogenada complementaria-tratamiento funguicida foliar. *En Trigo en Siembra Directa 2003*. p. 61-67. AAPRESID. Rosario, Santa Fe.
- Berardo A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la Estación Experimental INTA-Balcarce. *Boletín Técnico No. 128*. EEA INTA Balcarce.
- Blanco H. M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Houssay, G. Deza Marin, A. Berardo y F. García. 2004. Red de Ensayos en Nutrición de Cultivos Región CREA Sur de Santa Fe-Resultados de la campaña 2003/04: Trigo. Simposio Fertilidad 2004. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar.
- Carta H., L. Ventimiglia y S. Rillo. 2001. Respuesta al azufre. Cuadernillo Trigo. Agromercado 21 (57):21-22. Buenos Aires, Argentina.
- Cordone G. y F. Martínez. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur No. 24* pag. 1-4. INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires.
- Díaz Zorita M., G. Duarte y M. Barraco. 2004. Effects of chloride fertilization on wheat (*Triticum aestivum* L.) productivity in the Sandy Pampas region, Argentina. *Agron. J.* 96: *en prensa*.
- Díaz Zorita M., F. García y R. Melgar (coord.). 2002. Fertilización en soja y soja-trigo: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Resultados de la Red de Ensayos del Proyecto Fertilizar INTA, Campañas 2000/01 y 2001/02. Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 43 pag.
- Echeverría H. y F. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico No.149*. EEA INTA Balcarce.

- Echeverría H., H. Sainz Rozas, A. Bianchini y F. García. 2004. Utilización y residualidad de fósforo bajo siembra directa en la región pampeana. Actas XIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. AACCS.
- Fontanetto H, H. Vivas, O. Keller y F. Llambias. 2001. Volatilización de amoníaco desde diferentes fuentes nitrogenadas aplicadas en trigo con siembra directa. Actas V Congreso Nacional de Trigo. Carlos Paz, Córdoba.
- García F. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. Informaciones Agronómicas del Cono Sur No. 9 pag. 1-3. INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- García F. 2003. Balance de nutrientes en la rotación: Impacto en rendimientos y calidad de suelo. Actas XI Congreso Nacional de AAPRESID. Rosario, 26-29 Agosto. Pp. 257-264.
- González Montaner J., G. Maddonni, N. Mailland y M. Porsborg. 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.
- Klein R. Experiencias en fertilización balanceada de trigo/soja en Alberti (Buenos Aires). Informaciones Agronómicas 17:1-6. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Martínez F., G. Cordone y F. García. 2001. Azufre y otros nutrientes. Cuad. Act. Téc. 63. AACREA. Buenos Aires.
- Melgar R., M. Camozzi, M. Torres Duggan y J. Lavandera. 2001. Más vale prevenir: Cloro y potasio. Fertilizar 23:30-33. EEA INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Satorre E. y col. 2001. Bases de decisión para la fertilización nitrogenada en las zonas Norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Centro de AACREA. Cuad. Act. Téc. 63. AACREA. Buenos Aires.
- Vivas H. 2003. Fertilizando el suelo: Residualidad de los fertilizantes en rotaciones de cultivos y pasturas. Actas XI Congreso Nacional de AAPRESID. II:267-280. Rosario, Santa Fe, Argentina.