

## **Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo <sup>1</sup>**

**Fernando O. García**

*INPOFOS Cono Sur*

*fgarcia@inpofos.org*

El marcado liderazgo de la soja sobre los otros cultivos en Argentina y la región del Cono Sur, implica que gran parte del área cultivada anualmente se encuentra ya sea bajo monocultura de soja o en rotaciones en las cuales otros cultivos se encuentran en una proporción muy reducida. Desde el punto de vista de la fertilidad de los suelos, esta situación genera interrogantes importantes acerca del balance del carbono (C), y por lo tanto de la materia orgánica (MO), y de los nutrientes en los suelos. Por otra parte, el papel dominante de la soja en la agricultura hace imprescindible conocer y manejar la nutrición del cultivo para maximizar rendimientos y resultados económicos de la empresa. En la primera parte de este escrito se presenta una síntesis del estado actual del conocimiento sobre el manejo de las deficiencias nutricionales más comunes y la respuesta del cultivo. En una segunda parte se discute brevemente el impacto tanto del manejo previo de la fertilidad del suelo sobre el cultivo, como de la fertilización del cultivo en la fertilidad de los suelos.

### **1. Manejo de la nutrición y fertilización de soja**

Si bien las técnicas de manejo han mejorado en los últimos años (variedades, fechas de siembra, control de malezas, cosecha, etc.), el uso de fertilizantes en soja ha sido muy escaso, 23-42% según una reciente encuesta de Fertilizar Asociación Civil e ICASA. Resultados de investigaciones realizadas en la región pampeana demuestran la potencialidad de respuesta del cultivo ante situaciones de deficiencia de nutrientes tales como, por ejemplo, fósforo (P) y azufre (S) (ver sitio Internet de INPOFOS [www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf), INTA, AACREA, AAPRESID, Proyecto Fertilizar, y otros) (Díaz Zorita, 2003).

#### **1.1. Deficiencias nutricionales y respuestas a la fertilización**

Los nutrientes generalmente deficientes para el cultivo bajo las condiciones de las distintas regiones sojeras argentinas son el nitrógeno (N), el P y el S. En los últimos años, se han observado deficiencias de algunos nutrientes secundarios y micronutrientes en algunas

---

<sup>1</sup> Presentado en el Congreso Mundo Soja 2005 organizado por SEMA. Buenos Aires, 23 de Junio de 2005.

zonas, fundamentalmente a partir de la intensificación de la agricultura (mayores rendimientos y reducción de períodos bajo pastura).

## **Nitrógeno**

Si bien la soja presenta requerimientos muy elevados de N, una gran parte de este requerimiento es cubierto, vía fijación biológica de N (FBN), a través de la simbiosis soja - *Bradyrhizobium*. En la región pampeana se han determinado aportes de N por FBN del orden del 30-70% de las necesidades totales de N del cultivo dependiendo del nivel de fertilidad nitrogenada del suelo y las características climáticas de la estación de crecimiento (González, 1996). Por lo tanto, la inoculación de la semilla es una práctica indispensable, y de bajo costo, para lograr una adecuada provisión de N para el cultivo. Díaz Zorita (2004) determinó respuestas promedio a la inoculación de 806 kg/ha en 21 lotes sin historia de soja y de 342 kg/ha en 28 lotes con historia previa de soja.

Evaluaciones realizadas en el centro-norte de Buenos Aires (Scheiner et al., 1999) y el sur de Santa Fe (Bodrero et al., 1984) indican que si el establecimiento de la simbiosis es exitoso, la soja no responde a la fertilización nitrogenada. Las experiencias con fertilizaciones durante el período reproductivo, destinadas a proveer N durante el llenado de grano cuando la actividad de los nódulos disminuye, han mostrado resultados variables según la oferta de N del suelo, el estado y crecimiento del cultivo y el rendimiento obtenido (Wesley et al., 1998; Scheiner et al., 1999; Ventimiglia et al., 1999).

## **Fósforo**

La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en el suelo, pero también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Los niveles críticos de P en suelo, aquellos por debajo de los cuales se observan respuestas significativas a la fertilización, son menores para soja que para otros cultivos tales como alfalfa, trigo y maíz. Esta diferencia ha sido atribuida, entre otras causas, a cambios generados en el ambiente rizosférico del cultivo y al alto costo energético de los granos de soja (aceite + proteína). La Fig. 1 muestra la eficiencia de uso del P aplicado, kg de soja por kg de P aplicado, en función del nivel de P Bray del suelo para 101 ensayos realizados en la región pampeana argentina entre 1996 y 2004. Para costos de P de 1.65 U\$/kg y precios de soja de 0.16 U\$/kg, serían rentables eficiencias de uso superiores a 10.3 kg soja/kg P. De acuerdo a la relación observada en la Fig. 1, los suelos con niveles de P Bray menores de 13-14 mg/kg

presentarían respuestas rentables a la fertilización fosfatada. Las recomendaciones de fertilización se basan en el nivel de P Bray y el rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998).

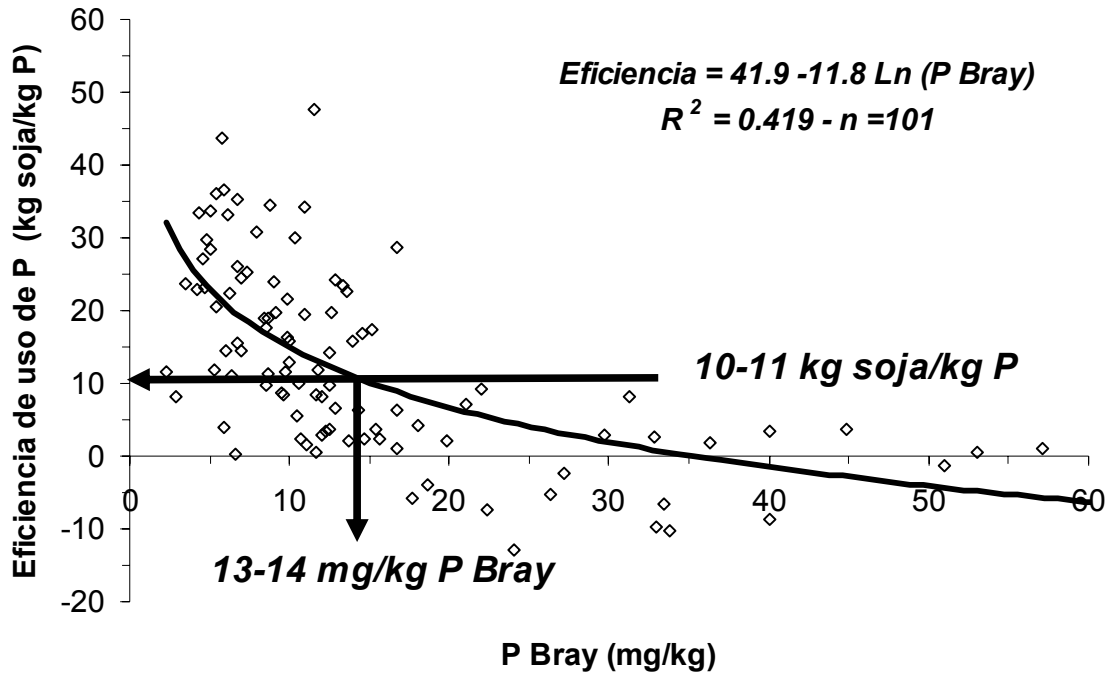


Fig. 1. Eficiencia de uso de fósforo (P) en soja en función del contenido de P Bray en el suelo para 101 ensayos en la Región Pampeana Argentina (1996-2004). Elaborado a partir de información de INTA, Proyecto INTA Fertilizar, FA-UBA, FCA-UNER y CREA Sur de Santa Fe. La línea horizontal indica una eficiencia de uso de 10-11 kg de soja por kg de P aplicado y la vertical el nivel crítico estimado de 13-14 mg/kg de P Bray en suelo.

## Azufre

En los últimos años se han observado respuestas a la fertilización azufrada en soja y en otros cultivos (maíz, trigo, canola, alfalfa, pasturas) en la región pampeana, principalmente en el centro y sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba, centro, oeste y norte de Buenos Aires y este de La Pampa; y en cultivos de soja en el noroeste (Tucumán-Catamarca). Las respuestas se observan principalmente en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada, y en suelos arenosos de bajo contenido de MO (Martínez y Cordone, 1998; Martínez y Cordone, 2000; Díaz Zorita et al., 2002). Estas respuestas han sido observadas tanto en cultivos de siembra de primera con aplicaciones directas, como en cultivos de segunda con

aplicaciones de S en el cultivo antecesor, generalmente trigo. La Tabla 1 resume las respuestas a S observadas en cultivos de soja de primera en distintas redes de ensayos realizadas en los últimos años. Sobre un total de 142 ensayos, 57 ensayos mostraron respuestas significativas a S (40%). Las respuestas a S varían entre 300 y 800 kg/ha según el sitio.

Si bien hay claros indicios de cuales son los ambientes de respuesta a la fertilización azufrada, aun no se dispone de una metodología confiable para predecir los sitios con respuesta probable a S (Gentiletti y Gutiérrez Boem, 2004). Un factor de importancia, aparte de los ya conocidos errores en el análisis de suelos y las bajas cantidades de S necesarias para cubrir la demanda del cultivo, es la presencia de sulfatos en el agua de napas superficiales. Algunas redes de ensayos han permitido determinar umbrales críticos de S-sulfatos a 0-20 cm de profundidad en pre-siembra, con valores generalmente cercanos a 10 mg/kg S-sulfatos, por debajo de los cuales la respuesta es altamente probable. Otra alternativa, actualmente en evaluación, es la caracterización de sitios deficientes determinando la concentración de S en grano del cultivo anterior.

Tabla 1. Sitios con respuesta a azufre (S) en distintas redes de ensayos realizadas en los últimos años.

Zona y Campaña	Sitios con respuesta/Total sitios	Referencia
Centro-Sur de Santa Fe, 2000/01	8/11	Martínez y Cordone (2003)
Región Pampeana, 2000/01 y 2001/02	10/47	Díaz Zorita et al., 2002
Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba 2001/02	1/6	CREA Sur de Santa Fe
Córdoba, 2001/02	2/4	Rubione et al., 2002
Sur de Santa Fe y Norte de Buenos Aires, 2002/03	4/6	Ferraris et al., 2004
Centro-Sur Santa Fe, 2003/04	13/19	Gentiletti y G. Boem, 2004
Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba, 2003/04	17/44	CREA Sur de Santa Fe
Sur de Santa Fe y Sudeste de Córdoba, 2003/04	2/5	CREA Sur de Santa Fe

Las dosis de S recomendadas varían, según el nivel de rendimiento esperado y la historia agrícola del lote, entre 10 y 15 kg/ha de S en soja de primera y entre 15 y 20 kg/ha de S en aplicaciones en trigo para el doble cultivo trigo/soja. Para costos de S de U\$1 por kg, respuestas superiores a 95 kg/ha de soja serían rentables para dosis de 15 kg/ha de S y considerando un precio de soja de U\$160 por tonelada.

## **Otros nutrientes**

Las experiencias realizadas en los últimos años no han mostrado respuestas consistentes y/o generalizadas a la aplicación de otros nutrientes más allá de P y S. Los nutrientes “no convencionales” (otros nutrientes que no sean N, P y S) que han demostrado mayores posibilidades de respuesta en soja son boro (B), calcio (Ca), magnesio (Mg), molibdeno (Mo) y cobre (Cu).

La intensificación de la agricultura ha resultado en la disminución de los niveles de bases (calcio, magnesio) y pH en algunos suelos, especialmente en el Norte de la región pampeana, con respuestas significativas a la aplicación de enmiendas calcáreas y/o dolomíticas en alfalfa y soja. Se han determinado bajos niveles de B, cinc (Zn) y Cu en suelos y plantas de girasol, maíz y trigo. De estos tres elementos, B y Cu serían los primeros a considerar para el cultivo de soja. Otros trabajos han demostrado la importancia de una adecuada nutrición con Mo y cobalto (Co) y respuestas en rendimiento cuando estos nutrientes se aplicaron con la semilla y el inoculante.

### **1.2. Aplicación de fertilizantes**

En cuanto a la forma de aplicación de fertilizantes, sería recomendable evitar la aplicación junto con la semilla, dada la susceptibilidad de la soja y, en particular, de las bacterias de los inoculantes aplicados sobre la semilla a los efectos fitotóxicos generados por la disolución de los fertilizantes (salinidad, pH, amoníaco). Estos efectos sobre la semilla y las bacterias dependen del fertilizante utilizado, y el tipo y la humedad del suelo. Los fertilizantes deberían colocarse a unos 3-5 cm de la línea de siembra. Experiencias realizadas en los últimos años en Iowa (EE.UU.) y en Argentina, indican que la aplicación de fertilizantes fosfatados al voleo bajo siembra directa con una anticipación de al menos 60-90 días a la siembra de la soja, puede resultar en respuestas similares a las obtenidas con aplicaciones en línea a la siembra. Las aplicaciones de fertilizantes azufrados al voleo son eficientes dada la movilidad del anión sulfato en el suelo.

La amplia disponibilidad de fertilizantes con P y S bajo formas simples o mezclas físicas y químicas en el mercado argentino facilita la toma de decisión acerca de la elección de la fuente, forma y momento de aplicación, siendo el costo por unidad de nutriente aplicada un factor de importancia en este aspecto.

Un párrafo especial merece la amplia difusión de distintas fuentes de yeso (sulfato de calcio) en los últimos años. Debe considerarse que el sulfato de calcio presenta un

comportamiento similar a las otras fuentes de S en forma de sulfato si la presentación del producto es en tamaños de partícula pequeños ya que su solubilidad es menor que la de otras fuentes de sulfatos. Por otra parte, se debe ser muy cuidadoso al decidir la compra de un yeso, ya que en muchos casos estos productos presentan impurezas no deseables. Un aspecto importante es asegurarse que el producto este registrado en SENASA. El IRAM con otras instituciones, esta trabajando en la normatización de yesos para uso agrícola.

## **2. El manejo nutricional de la soja y la fertilidad de los suelos**

La expansión de la soja y la reducida aplicación de fertilizantes en el cultivo han generado balances negativos para los nutrientes del suelo, con la consiguiente degradación de la fertilidad de los suelos. Un ejemplo evidente lo constituye la zona centro-sur de Santa Fe donde el fuerte desarrollo del cultivo de soja, sumado a los efectos de la erosión, redujo drásticamente los contenidos de MO y P disponible en los suelos (Cordone y Martínez, 2004). La degradación resultante a partir de la disminución de la MO y la descapitalización de nutrientes en los suelos afecta la productividad de la soja y de otros cultivos, en el corto plazo en zonas con historia agrícola más prolongada y, a mediano plazo, en áreas de menor “agriculturización” y “sojización”.

Debe tenerse en cuenta que el aporte vía FBN en soja no siempre resulta en un balance positivo de N para el suelo. Para producir un rendimiento de 4000 kg/ha, la soja debe absorber 320 kg/ha de N de los cuales exporta aproximadamente 240 kg/ha de N. Si consideramos un aporte de 50% del N total acumulado vía fijación simbiótica, es decir 160 kg/ha de N, la extracción neta de N del suelo (suministrado por el N disponible a la siembra y/o mineralizado a partir de la fracción orgánica) sería de 80 kg/ha de N. La disminución del N del suelo implica la caída de los niveles de MO del suelo considerando que la MO es la principal reserva de este nutriente en el suelo (95-99% del N total). La reposición de N al suelo debería realizarse en otro cultivo ya que en soja pretendemos maximizar la FBN (Cordone y Martínez, 2004). La reposición de otros nutrientes puede realizarse vía fertilización, pero los niveles de aplicación actuales se encuentran bien por debajo de los de extracción.

El manejo de la fertilización del doble cultivo trigo/soja constituye un excelente ejemplo en cuanto a los efectos del manejo previo de la fertilidad del suelo sobre el cultivo de soja. Numerosas evaluaciones realizadas en los últimos años han demostrado que la fertilización con P y S para trigo/soja puede hacerse para los dos cultivos al momento de aplicación para el trigo (Salvagiotti et al., 2005). Para P y, preliminarmente, para S, este efecto residual se prolonga en

años posteriores a la fertilización como ha sido ampliamente demostrado en diversas zonas del país (Berardo, 2003).

La soja responde muy bien a los efectos residuales de fertilizaciones en cultivos anteriores. La Fig. 2 muestra los rendimientos promedios de soja de primera de la Red de Nutrición de los CREA Sur de Santa Fe en el 2001/02 y 2004/05. Los cinco sitios incluidos en esta Red recibieron los mismos tratamientos de fertilización en las mismas parcelas desde el año 2000. Las diferencias entre tratamientos en 2001/02 fueron de 218 kg/ha y 633 kg/ha para 2001/02 y 2004/05, respectivamente. Las mayores diferencias entre tratamientos en 2004/05 que en 2001/02, más allá de las diferencias en condiciones climáticas entre campañas, indicarían que la soja estaría respondiendo a la “acumulación” de fertilidad como ya ha sido observado para trigo y maíz en esta misma red de ensayos. Debe aclararse que los tratamientos donde se indica aplicación de N, la misma se realiza solamente cuando se siembran trigo o maíz, la soja de primera nunca recibe fertilización nitrogenada.

También en la Red de Nutrición de CREA Sur de Santa Fe se determinaron efectos de residualidad de la fertilización, o efectos de “acumulación” de fertilidad, en un ensayo de trigo/soja de la campaña 2004/05 (Fig. 3). Este sitio recibió los seis tratamientos de fertilización durante cuatro años (2000-2003) en una rotación maíz-trigo/soja. En la campaña 2004/05, todos los tratamientos recibieron la misma fertilización (86, 27 y 10 kg/ha de N, P y S, respectivamente). Las diferencias observadas en rendimientos de trigo y soja de segunda entre los tratamientos se deben exclusivamente al efecto de “acumulación” de fertilidad a lo largo de cuatro años, y a pesar de haber recibido fertilización NPS en la campaña 2004/05. Las diferencias entre el tratamiento que recibió NPS durante 4 años y el Testigo son de 2204 kg/ha para trigo y de 559 kg/ha para soja de segunda. Estos efectos probablemente se deban no solamente al efecto residual de N, P y S, sino también a los efectos que estos nutrientes pudieron haber generado en los cultivos anteriores y sobre el suelo: mayor producción de rastrojo, mayor desarrollo de raíces, más sustrato para la población microbiana del suelo, etc.

En síntesis, la fertilización puede ser una herramienta estratégica para aumentar rendimientos de soja y mejorar la rentabilidad del cultivo. El manejo de la nutrición y fertilización del cultivo puede ser enfocado conceptualmente en el manejo de la nutrición del suelo o de la rotación.

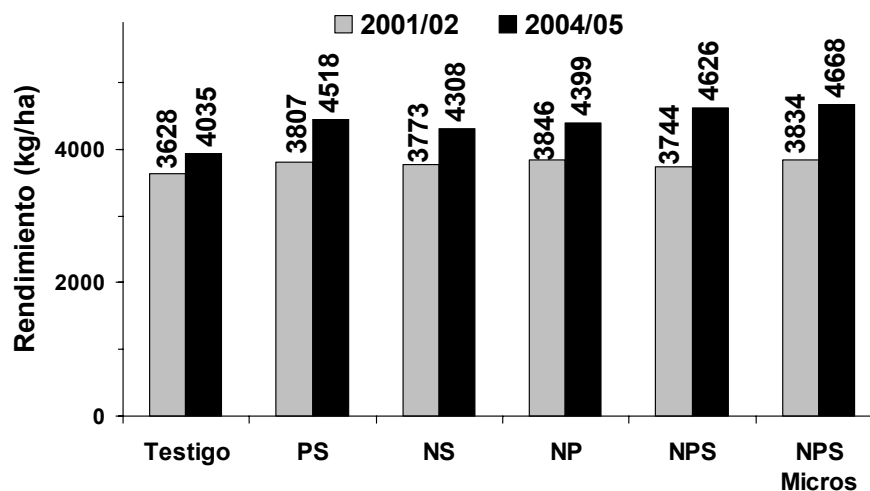


Fig. 2. Rendimientos de soja de primera, promedios de cinco sitios, para seis tratamientos de fertilización en las campañas 2001/02 y 2004/05. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Los tratamientos de fertilización se repitieron durante cinco años en las mismas parcelas.

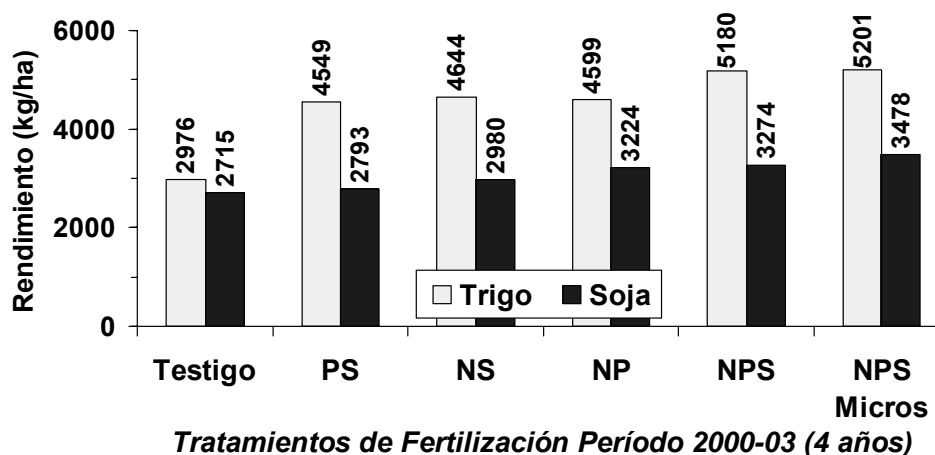


Fig. 3. Rendimientos de trigo y soja de segunda en 2004/05 sobre parcelas que recibieron distintos tratamientos de fertilización NPS en los cuatro años previos. El doble cultivo trigo/soja recibió una fertilización de 86, 27 y 10 kg/ha de N, P y S, respectivamente, en todas las parcelas. Ensayo El Fortín, Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe.

## Referencias

- Berardo A. 2003. Manejo del fósforo en los sistemas de producción pampeanos. *In* Simposio "El fósforo en la agricultura argentina". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. Pp. 38-44.
- Bodrero M., R. Martignone y L. Macor. 1984. Efecto de la fertilización nitrogenada en soja. *Ciencia del Suelo* 2:212-214.
- Cordone G. y F. Martínez. 2004. El monocultivo de soja y el déficit de nitrógeno. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 24:1-4. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.



- Díaz Zorita M. 2003. Soja: criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. En E. Satorre (ed.). El Libro de la Soja. SEMA. Buenos Aires, Argentina.
- Díaz Zorita M. 2004. Nutrición balanceada y manejo de la inoculación. Cuadernillo Soja. Revista Agromercado. pp. 14-17.
- Díaz Zorita M., F. García y R. Melgar (coord.). 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana. Boletín Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 44 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.
- Ferraris G., F. Salvagiotti, P. Prystupa y F. Gutiérrez Boem. 2004. Disponibilidad de azufre y respuesta de la soja de primera a la fertilización. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. AACS.
- Gentiletti A. y F. Gutiérrez Boem. 2004. Fertilización azufrada de soja en el centro-sur de Santa Fe. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 24:12-14. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- González N. 1996. Fijación de nitrógeno. En Curso de Actualización "Dinámica de nutrientes en suelos agrícolas". EEA INTA Balcarce.
- Martínez F. y G. Cordone. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. UEEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina.
- Martínez F. y G. Cordone. 2000. Avances en el manejo de azufre: Novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soja y maíz. In Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2000". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Martínez F. y G. Cordone. 2003. Fertilización en soja de primera y en trigo-soja de segunda en la región pampeana norte. En E. Satorre (ed.). El Libro de la Soja. SEMA. Buenos Aires, Argentina.
- Rubione C., P. Hernández y E. Tronfi. 2002. Fertilización de soja en le provincia de Córdoba. Resultados de ensayos, Campaña 2001/02. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 15:1-6. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Salvagiotti F., G. Gerster, S. Bacigaluppo, J. Castellarín, C. Galarza, N. González, V. Gudelj, O. Novello, H. Pedrol, y P. Vallote. 2005. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. Ciencia del Suelo 22(2):92-101.
- Scheiner J., F. Gutiérrez Boem y R. Lavado. 1999. Experiencias de fertilización de soja en el centro-norte de Buenos Aires. En Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja". INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 39 pág.
- Ventimiglia L., H. Carta y S. Rillo. 1999. Fertilización foliar nitrogenada complementaria. Agromercado, Cuadernillo No. 40. Buenos Aires, Argentina.
- Wesley T., R. Lamond, V. Martin y S. Duncan. 1998. Effects of late season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. J. Prod. Agric. 11:331-336.