

## CRITERIOS PARA EL MANEJO DE LA FERTILIZACION DE LA SOYA

Fernando García\*

### Introducción

El marcado liderazgo de la soya sobre los otros cultivos en Argentina, y la región del Cono Sur, hace que gran parte del área cultivada anualmente se encuentre ya sea bajo monocultivo o en rotaciones en las cuales otros cultivos se encuentran en una proporción muy reducida. Desde el punto de vista de fertilidad del suelo, esta situación genera interrogantes importantes acerca del balance del carbono (C) y, por lo tanto, de la materia orgánica (MO) y de los nutrientes del suelo.

Por otra parte, el papel dominante de la soya en la agricultura de la región hace imprescindible conocer y manejar la nutrición del cultivo para maximizar rendimientos y rentabilidad de la empresa. En la primera parte de este artículo se presenta una síntesis del estado actual del conocimiento sobre el manejo de las deficiencias nutricionales más comunes y la respuesta del cultivo. En la segunda parte se discute brevemente el impacto del manejo previo de la fertilidad del suelo sobre el cultivo y el impacto de la fertilización del cultivo en la fertilidad del suelo.

### Manejo de la nutrición y fertilización de soya

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 soya ha sido muy escaso. Resultados de investigaciones realizadas en la región pampeana de Argentina demuestran la posibilidad de respuesta del cultivo a nutrientes como fósforo (P) y azufre (S) (Díaz Zorita, 2003).

### Deficiencias nutricionales y respuestas a la fertilización

Los nutrientes generalmente deficientes para el cultivo bajo las condiciones de las distintas regiones productoras de soya de Argentina son: nitrógeno (N), P y S. En los últimos años, a partir de la intensificación de la agricultura (mayores rendimientos y reducción de períodos bajo pastura), se han observado en algunas zonas deficiencias de algunos nutrientes secundarios y micronutrientes.



### Nitrógeno

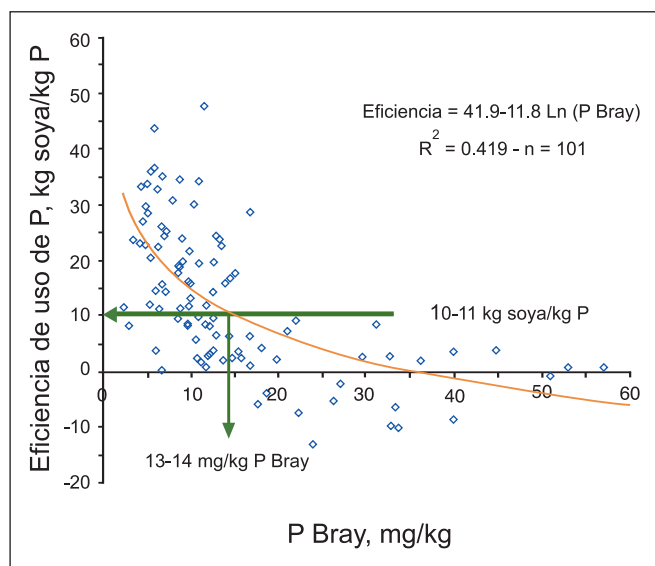
Si bien la soya presenta requerimientos muy elevados de N, gran parte de este requerimiento es cubierto vía fijación biológica (FBN). En la región pampeana se han determinado aportes de N por FBN del orden del 30-70% de las necesidades totales de N del cultivo, dependiendo del nivel de N nativo del suelo y de las características climáticas del ciclo 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. Díaz Zorita (2004) determinó respuestas promedio a la inoculación de 806 kg/ha en 21 lotes sin historia de soya y de 342 kg/ha en 28 lotes con historia previa de soya.

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 soya no responde a la fertilización nitrogenada. Las experiencias con fertilizaciones durante el periodo 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 con P depende del nivel de disponibilidad de este nutriente en

\* Tomado de: García, F. 2005. Soja: Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. *Informaciones Agronómicas* 27:1-5. IPNI, Cono Sur.



**Figura 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 soya por kg de P aplicado y la vertical el nivel crítico estimado de 13-14 mg/kg de P en el suelo.**

el suelo, pero también es afectada por otros factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Los niveles críticos de P en el 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 la rizosfera y al alto costo energético de los granos de soja (aceite + proteína). La **Figura 1** muestra la eficiencia de uso del P aplicado (kg de soya por kg de P aplicado) en función del nivel de P (Bray) del suelo para 101 ensayos realizados en la región pampeana de Argentina entre 1996 y 2004. De acuerdo a la relación observada en la **Figura 1**, los suelos con niveles de P menores de 13-14 mg/kg presentarían respuestas rentables a la fertilización con P. Las recomendaciones de fertilización se basan en el nivel de

P y el rendimiento esperado (Echeverría y García, 1998).

### Azufre

En los últimos años se han observado respuestas a la fertilización con S en soja y en otros cultivos (maíz, trigo, canola, alfalfa, pasturas) en Argentina. Las respuestas se observan principalmente en suelos degradados, con muchos años de producción continua (especialmente soja) y con historia de cultivos de alta producción y en suelos arenosos de bajo contenido de MO (Martínez y Cordone, 1998; Martínez y Cordone, 2000; Díaz Zorita et al., 2002). Estas respuestas se han observado tanto en el primer ciclo del cultivo con aplicaciones directas de S, como en el segundo ciclo que tuvo aplicaciones de S en el cultivo antecesor, generalmente trigo. La **Tabla 1** resume las respuestas a S observadas en cultivos de soja de primer ciclo 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 con S, aun no se dispone de una metodología confiable para predecir los sitios con respuesta probable a S (Gentiletti y Gutiérrez, 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 ( $SO_4$ ) en el agua de napas superficiales. Algunas redes de ensayos han permitido determinar umbrales críticos de S como sulfato ( $S-SO_4$ ), a 0-20 cm de profundidad en pre-siembra, de alrededor de 10 mg/kg, con contenidos inferiores a este valor la respuesta a la aplicación de S 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 en distintas redes de ensayos conducidas en los últimos años en Argentina.**

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 primer ciclo y entre 15 y 20 kg/ha de S en aplicaciones en trigo para la rotación trigo-soya.

### Otros nutrientes

La investigación y las observaciones de campo de los últimos años no han demostrado respuestas consistentes y/o generalizadas a la aplicación de otros nutrientes. Los nutrientes que han demostrado mayores posibilidades de respuesta en soja (además de N y P) 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 (Ca y Mg) y pH en algunos suelos, especialmente en el Norte de la región pampeana. En estos suelos se han encontrado respuestas significativas a la aplicación de enmiendas calcáreas y/o dolomíticas en alfalfa y soja. Se han determinado bajos niveles de B, zinc (Zn) y Cu en el suelo y en los tejidos 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.

### Aplicación de fertilizantes

En cuanto a la forma de aplicación, es recomendable evitar la aplicación de fertilizantes junto con la semilla, debido a la susceptibilidad de la soja y, en particular de las bacterias de los inoculantes añadidos a 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 de la humedad del suelo. Los fertilizantes deben colocarse a unos 3-5 cm de la línea de siembra.

Experiencias realizadas en los últimos años en Iowa (EE.UU.) y en Argentina con soja en siembra directa indican que la aplicación de fertilizantes fosfatados al voleo, 60-90 días antes de la siembra, puede resultar en respuestas similares a las obtenidas con aplicaciones en línea a la siembra. Las aplicaciones al voleo de fertilizantes portadores de S son eficientes debido a la movilidad del anión  $\text{SO}_4$  en el suelo.

La amplia disponibilidad en el mercado de fertilizantes portadores de P y S en forma simple o en mezclas físicas y químicas facilita la elección de la fuente, forma y momento de aplicación. El costo por unidad de

nutriente aplicado es un factor importante en la decisión.

En los últimos años se ha difundido el uso de yeso (sulfato de calcio,  $\text{SO}_4\text{Ca}$ ) como fuente de S. El yeso tiene un comportamiento similar a las otras fuentes de S en forma de sulfato si el tamaño de partícula del producto es pequeño, debido que su solubilidad es menor que la de otras fuentes de  $\text{SO}_4$ . Por otra parte, se debe ser muy cuidadoso al decidir la compra de yeso ya que en muchos casos estos productos presentan impurezas no deseables.

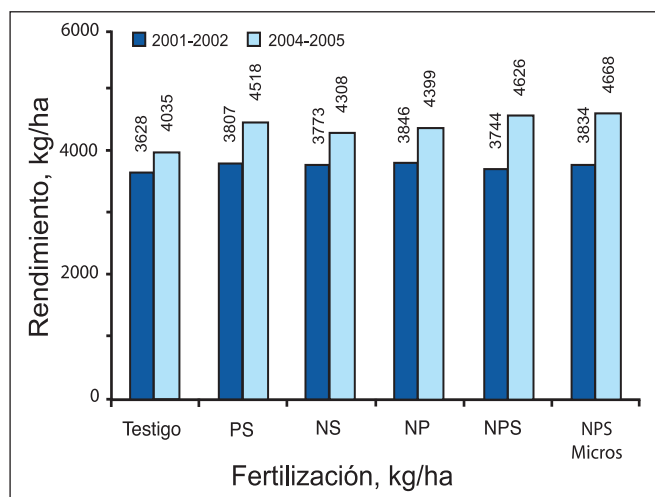
### Manejo de la nutrición de la soja y la fertilidad del suelo

La expansión de la soja y la falta de nutrición balanceada han generado efectos negativos en la fertilidad del suelo. Un ejemplo evidente lo constituye la zona centro-sur de Santa Fe, donde la expansión del cultivo de soja produjo erosión y redujo drásticamente los contenidos de materia orgánica (MO) y de P disponible en el suelo (Cordone y Martínez, 2004). La degradación resultante de la disminución del contenido de MO y del agotamiento de nutrientes del suelo afecta la productividad de la soja y de otros cultivos a corto plazo en zonas con historia agrícola prolongada, y a mediano plazo en áreas de poca historia de agricultura.

Se debe tener en cuenta que en soja el aporte de N vía FBN no siempre resulta en un balance positivo de N en el suelo. Para producir un rendimiento de 4000 kg/ha la soja debe absorber 320 kg/ha de N, sin embargo, se exportan aproximadamente 240 kg/ha de N con la cosecha. Si se considera que el 50% del N total acumulado proviene de FBN, es decir 160 kg/ha de N, el aporte neto del N del suelo (N disponible a la siembra y/o mineralizado luego de la MO) sería de más de 80 kg/ha de N. De esta forma se reduce paulatinamente el contenido de MO del suelo que es la principal reserva de N en el suelo (95-99% del N total).

La reposición de N al suelo debería realizarse en otro cultivo, debido a que en soja se pretende maximizar la FBN (Cordone y Martínez, 2004). La reposición de otros nutrientes también puede realizarse vía fertilización, pero los niveles de aplicación actuales son menores a los de extracción.

El manejo de la fertilización de la rotación cultivo trigo-soya constituye un excelente ejemplo de los efectos del manejo previo de la fertilidad del suelo en el cultivo de soja. Numerosas evaluaciones realizadas en los últimos años han demostrado que la fertilización con P y S en la rotación puede hacerse en la aplicación al trigo y esta aplicación sirve también para soja



**Figura 2. Rendimientos de soja de primer ciclo, promedios de cinco sitios, de seis tratamientos de fertilización en las campañas 2001-2002 y 2004-2005. Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Los tratamientos de fertilización se repitieron durante cinco años en las mismas parcelas.**

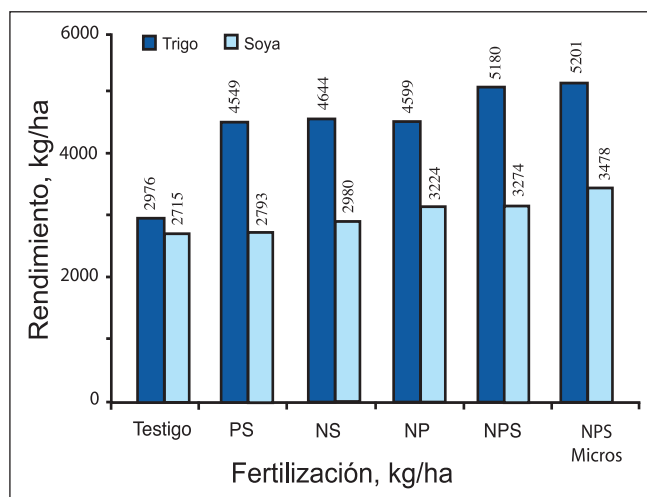
(Salvagiotti et al., 2005). Efecto residual de P se puede prolongar por varios años (Berardo, 2003).

La **Figura 2** muestra los rendimientos promedios de soja de primer ciclo de la Red de Nutrición de los CREA Sur de Santa Fe en el periodo 2001-2002 y 2004-2005. Los cinco sitios incluidos en esta Red recibieron los mismos tratamientos de fertilización en las mismas parcelas desde el año 2000. Las diferencias en la respuesta en rendimiento a los tratamientos fueron de 218 kg/ha en el periodo 2001-2002 y 633 kg/ha en el periodo 2004-2005.

El mayor efecto encontrado en el periodo 2004-2005, más allá de las diferencias en condiciones climáticas entre campañas, indicaría que la soja estaría respondiendo a la acumulación de fertilidad como ya se ha observado en trigo y maíz en esta misma red de ensayos. Debe aclararse que los tratamientos que incluyen aplicación de N, ésta solo se hizo a la siembra de trigo o maíz, la soja de primer ciclo nunca recibe fertilización nitrogenada.

En la misma Red de Nutrición de CREA Sur de Santa Fe también se evaluó el efecto residual de la fertilización, o efectos de acumulación de fertilidad, en un ensayo de trigo-soya de la campaña 2004-2005 (**Figura 3**). Este sitio recibió seis tratamientos de fertilización durante cuatro años (2000-2003) en una rotación maíz-trigo-soya. En la campaña 2004-2005, todos los tratamientos recibieron la misma fertilización (86, 27 y 10 kg/ha de N, P y S, respectivamente).

Las diferencias entre los tratamientos observadas en rendimientos de trigo y soja de segundo ciclo se deben



**Figura 3. Rendimientos de trigo y soja de segundo ciclo en el periodo 2004-2005 sobre parcelas que recibieron distintos tratamientos de fertilización NPS en los cuatro años previos. El doble cultivo trigo-soya 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.**

exclusivamente al efecto de acumulación de fertilidad a lo largo de cuatro años, a pesar de haber recibido fertilización NPS en la campaña 2004-2005. 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 segundo ciclo. Estos efectos probablemente se deban no solamente al efecto residual de N, P y S, sino también a efectos como: 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 el rendimiento y mejorar la rentabilidad del cultivo de soja. El manejo de la nutrición y fertilización del cultivo se puede enfocar conceptualmente en manejo de la fertilidad del suelo o de la nutrición de la rotación.

### Bibliografía

- 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. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. 24:1-4.

- 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 p.
- 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. AACCS.
- 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 la 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 p.
- 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. ❖