

FIJACIÓN DE NITRÓGENO EN SOJA SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS EN LA ARGENTINA

Ing. Agr. Norma González, M.Sc.
Laboratorio de Microbiología de Suelos, EEA INTA Balcarce
ngonzalez@balcarce.inta.gov.ar

En la campaña 2005-2006 las estimaciones indican que se han sembrado en la Argentina 15,2 millones de ha con soja SAGPyA (2006). La proyección de la producción, según estimaciones del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, es de 40,5 millones de toneladas de grano (INTA, 2006). La soja debe incorporar en su rendimiento biológico, 80 kg N ha⁻¹ para producir cada tonelada de grano (Andrade *et al*, 2000). Resulta claro que para que el cultivo de soja siga siendo el negocio del país, se debe estar en condiciones de aportar N de manera no limitante. Para satisfacer tan enorme demanda, 3,24 millones de toneladas de N por año, si se pretende continuar con el actual nivel de producción, tanto el N procedente de la mineralización de la materia orgánica del suelo, como el aportado por fertilizantes químicos deben ser considerados como recursos no renovables. La única fuente de N para la soja que puede ser identificada con el concepto de sustentabilidad es la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN).

No se dispone en la actualidad de estimaciones de la tasa de fijación de N en toda la región productora de soja en el país. Resultados obtenidos en el SE bonaerense, indican que hasta rendimientos de 5000 kg ha⁻¹, el cultivo fija alrededor de 30% del N total que acumula en su rendimiento biológico (González *et al*, 1997). Piantanida y colaboradores del IMyZA, INTA Catelar, (Comunicación personal) utilizando ¹⁵N, estimaron la tasa de fijación en alrededor del 50% en Marcos Juárez y Oliveros, ubicados dentro del original núcleo sojero argentino. No hay información de esta naturaleza para las nuevas áreas puestas bajo cultivo. Sin embargo, no hay duda que gran parte de la producción de soja de la Argentina se construye sobre la actividad de bacterias del género *Bradyrhizobium*, asociadas a la soja. Si se efectúa una estimación conservadora, que considere que, en la integral de la superficie cultivada, la tasa de aporte de la FBN equivale al 50% del N total acumulado por el cultivo, ésta arroja una cifra de 1,6 millones de toneladas de N ingresadas por esta vía. Este valor supera la totalidad del consumo anual de fertilizantes en la Argentina (Melgar, 2005)

La tasa de adopción de la técnica de inoculación se puede considerar alta en nuestro país. Una encuesta realizada por cuenta de una empresa productora de inoculantes en 2003, indica que el 79% de los productores inocula siempre sus cultivos de soja y el 93% de los técnicos asesores recomienda esta práctica. La encuesta revela, también, que el 90% de la superficie sembrada se inocula. En 2004, una segunda encuesta establece que el 87% de la soja se inocula, tanto sea de primera como de segunda y que el 94% de los productores conoce cuáles son los beneficios de la inoculación; asimismo, pone de manifiesto que el 78% de los productores elige los inoculantes líquidos, que dominan el mercado argentino.

La calidad de los inoculantes ha ido mejorando gradualmente en el país. En base a un seguimiento efectuado en el laboratorio de Microbiología de Suelos de la EEA INTA Balcarce, entre 1995 y 2005, sobre los inoculantes que se reciben para análisis de calidad, 86% del total de las muestras analizadas superan la concentración estándar de 1x10⁹ establecida por SENASA. 46% del total exhibe recuentos superiores a 10¹⁰ ml⁻¹, pero éstas corresponden a muestras recibidas después de 2000. Sólo el 14% califica por debajo del estándar y el 50% de ellas son inoculantes sorbidos en turba y corresponden a partidas del 2000 o anteriores.

¿Cuáles son los principales factores limitantes para la fijación de N? Principalmente son de tres órdenes:

- Aspectos relacionados con la calidad de inoculantes y técnica de inoculación, incluyendo el uso de biocidas asociado a la bacterización de la semilla,
- Factores de control ambiental, entre los que se destacan: estrés hídrico, estrés por altas temperaturas y la interacción de ambos,

- Desbalances nutricionales, entre los cuales los más frecuentes son deficiencia de fósforo (P) y de azufre (S), aunque en algunas regiones del país aparecen respuestas de magnitud variable al agregado de algunos micronutrientes, especialmente Co y Mo.

A pesar de lo expresado, la calidad de inoculantes, asociada a técnicas de inoculación no satisfactorias y al uso de biocidas en la bacterización de la semilla, cuando los tres aspectos o dos de ellos ocurren de manera aditiva, producen fallas en la nodulación, que resultan evidentes en los suelos que no tienen historia sojera. En el sudeste de Buenos Aires, donde todavía es posible hallar algunos lotes que no registran historia de cultivo de soja, estas fallas pueden generar una disminución de rendimiento del orden de 1000kg de grano ha⁻¹ en siembra directa y 500kg de grano ha⁻¹ bajo labranza convencional (Calviño, 2004), en comparación con cultivos crecidos en suelos con historia sojera, en los cuales la población rizobial naturalizada enmascara la falla.

Aún utilizando inoculantes de excelente calidad y una técnica de inoculación esmerada, un estrés hídrico ocurrido inmediatamente después de la siembra, mata las bacterias que aún no han iniciado el proceso de nodulación y, si éste se prolonga, promueve la autorregulación de la planta para evitar la formación de nódulos. Una vez establecido el sistema nodular, la ocurrencia de estrés hídrico durante el ciclo puede provocar, si es extremo, la abscisión de los nódulos ya formados y, si es moderado, el compromiso de la actividad de la enzima nitrogenasa, disminuyendo el rendimiento del cultivo, a través del control de la FBN, además de hacerlo por un efecto directo sobre el metabolismo de la planta (Racca, 2003).

La alta temperatura del suelo es responsable de problemas en la nodulación en buena parte del norte del país. A partir de 45 °C se inhibe la nodulación en soja. Cuando la temperatura extrema interactúa con sequía, que es la situación corriente, el efecto combinado es responsable de la disminución de hasta 5 unidades log de *Bradyrhizobim* g⁻¹ de suelo (Hungria y Vargas, 2000).

El cultivo de soja responde al agregado de fósforo hasta alrededor de 13-15 ppm de P (Bray1), cuando la expectativa de rendimiento se sitúa en alrededor de 3000 kg de grano ha⁻¹ (Ferraris *et al.*, 2002). Se registra una fuerte interacción entre una nutrición fosforada bien balanceada y la capacidad de fijación de N, si bien el P no influye en forma directa en el proceso.

Del mismo modo que con el P, S actúa sobre la nodulación y la FBN a través del estado general de planta; si ésta registra déficit de S, se autorregula para formar menos nódulos y se han descrito incrementos marcados en la cantidad de nódulos formados por la fertilización con S, en suelos carenciados. Una red de 28 ensayos efectuados por el Proyecto Fertilizar del INTA en la Región Pampeana muestra que en el 21% de los casos la soja exhibió una respuesta del orden de 200 kg de grano ha⁻¹, por el agregado de 15 kg de S. La mayor probabilidad de respuesta positiva se encuentra en suelos degradados, con un uso agrícola prolongado, especialmente los destinados a monocultivo soja o con historia de cultivos de alta producción, con fertilización nitrogenada y fosfatada.

Las estrategias que se ofrecen o se están investigando para paliar los problemas asociados a la inoculación incluyen la utilización de protectores bacterianos. Éstos fueron desarrollados inicialmente para poner en práctica la técnica de preinoculado, pero se utilizan con éxito en inoculaciones antes de la siembra y aseguran, en situaciones difíciles, una mayor supervivencia de las bacterias sobre la semilla. En esas situaciones, hay que considerar seriamente la no utilización de biocidas, principalmente fungicidas, y ponderar el rédito relativo de utilizarlos. Esto es particularmente cierto para los suelos sin historia sojera. Hay evidencias experimentales que indican que en lotes con población rizobial naturalizada, el uso de fungicidas no produce una pérdida sustancial de masa nodular, porque los bradyrizobios naturalizadas en el suelo, que permanecen fuera del alcance de la influencia del biocida, contribuyen a definir el sistema nodular.

Una alternativa interesante que está siendo probada es la inoculación en la línea de siembra, que deposita directamente el inoculante en el fondo del surco, generando una capa de suelo enriquecido de bacterias justamente en el sitio donde la radícula de la soja comienza a crecer y cuando comienza a estar receptiva para iniciar los eventos que darán lugar a la formación de los nódulos. Las ventajas potenciales de esta técnica son: facilidad y rapidez en la operación, eliminación de algunos riesgos ambientales que atentan contra la supervivencia de los rizobios sobre la semilla, mejor localización de las bacterias para iniciar la nodulación y localización del inoculante con independencia de la de los biocidas, particularmente importante para el uso de insecticidas que son, en general, más deletéreos que los fungicidas.

La defensa contra temperaturas de suelo extremas, asociadas o no a condiciones de sequía se aborda con la elección del sistema de labranza. En este sentido, la siembra directa, a través de la acumulación de rastrojo en superficie, provee una herramienta perfecta para ello, mejorando además la disponibilidad de humedad, promoviendo la inmovilización de N en el suelo y generando incrementos en la tasa de fijación de N y en el rendimiento en condiciones tropicales.

Respecto de la fertilización, es imprescindible, en un país que dedica 15 millones de hectáreas al cultivo de soja, crear conciencia de la necesidad de considerar la sustentabilidad del sistema. Aún en aquellas zonas donde el nivel de P en el suelo se sitúa en la actualidad por encima de los niveles de respuesta, se debería considerar efectuar fertilizaciones de mantenimiento, que eviten la depleción total del P del sistema ya que, una vez producida, es difícil de revertir en términos de la inversión necesaria en fertilizante. Debe, asimismo, prestarse atención a la eventual deficiencia de S que, en los ambientes con las características definidas anteriormente se presentará en algún momento, en la medida que prevalezca el planteo actual de agricultura continua.

¿Cuáles son aspectos que están apareciendo a nivel precomercial o comercial incipiente o se están investigando activamente y tienen posibilidades de convertirse en una tecnología?

La adición de factores Nod, producidos por las bacterias, a los inoculantes.

La suplementación de inoculantes con inductores de nodulación, en general de naturaleza flavonoide, producidos por las plantas de soja.

En ambos casos, estas propuestas surgen porque se comienza a comprender el diálogo bioquímico, mediado genéticamente, entre las leguminosas y sus microsimbiontes, se han reconocido y aislado especies químicas intermedias que participan de ese sistema de señales y se los ha sintetizado para poder agregarlos a los inoculantes. Queda por demostrar si las respuestas, que se han descrito como positivas para el caso de los inductores de la nodulación en soja, en suelos fríos, son generalizables en otros ambientes.

La coinoculación de *Bradyrhizobium* con bacterias PGPR, especialmente *Azospirillum*. Nuevamente, es necesario establecer la consistencia de algunos resultados positivos informados, en las distintas regiones productoras.

Los microbiólogos, ahora con ayuda de herramientas moleculares, siguen estudiando la biodiversidad de los bradyrizobios en el suelo y esperan encontrar cepas de bacterias nodulantes para la soja, adaptadas a cada ambiente, resistentes a algunas de las condiciones extremas, como salinidad, acidez y altas temperaturas. En estos casos, la selección de cepas puede generar progresos importantes, como lo ha hecho el programa de selección de cepas llevado a cabo en Brasil para poder cultivar soja en la región del cerrado (Santos *et. al.*, 1999). En los suelos de condición más moderada, como son los de la región pampeana argentina, que por sus contenidos de materia orgánica y cationes y sus características de textura y pH resultan amigables para la naturalización del género *Bradyrhizobium*, la selección de cepas, deberá enfrentar, antes de poder ser utilizada, el desafío que impone el fenómeno de competencia que ejerce la flora rizobial naturalizada en el suelo. Se han hecho grandes avances en el sentido de comprender la especificidad

y la competencia entre las leguminosas y sus simbioses, pero aún es temprano para poder modular y manejar éste último. Mientras esto ocurre, hay estrategias para mejorar la fijación de N y es mediante el manejo. Hay una enorme brecha entre el rendimiento promedio de la soja en el país y los rendimientos potenciales que se han demostrado para el cultivo (Flannery, 1986). Dado que la cantidad de N que aporta el suelo es fija en cada ambiente, un incremento de rendimiento incrementará automáticamente la tasa de fijación de N. En el sudeste bonaerense, un cultivo que rinde hasta 5000 kg de grano, obtiene de la FBN, en promedio, 30% del N total que acumula en el rendimiento biológico. Cuando rinde 7150 kg de grano, la tasa de fijación aumenta a 44%, a pesar de la restricción que ejerce el alto nivel de $N-NO_3^-$ provisto por la mineralización de la materia orgánica.

Por lo tanto, el desafío es incrementar el rendimiento del cultivo, aprovechando el recurso renovable que implica la FBN, balanceando P y S donde corresponda, utilizando la siembra directa a conveniencia, para disminuir la temperatura del suelo donde ésta sea un problema y mejorar la economía del agua. Esto no solamente favorecerá el incremento de la tasa de fijación de N y el rendimiento; utilizada con consistencia, esta estrategia también protegerá al suelo de la degradación, única manera de asegurar que en la Argentina se puedan seguir cultivando con soja, de manera sustentable, 15 millones de hectáreas anuales.

BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, F.H., ECHEVERRIA, H.E., GONZALEZ, N.S. y UHART, S. 2000. Requerimientos de nutrientes minerales. En F. Andrade y V. Sadras (Eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. ISBN: 987-521-016-1. Editorial Médica Pamericana, Buenos Aires, Argentina. 207-233. INTA 2006
- CALVIÑO, P. 2004. Modelo de producción de soja en la región sudeste de la provincia de Buenos Aires. En M. Díaz Zorita y G. Duarte (Eds.) Manual Práctico para la Producción de Soja. Hemisferio Sur. Buenos Aires. ISBN 9505045786. pp256.
- FERRARIS, G., GENSTER, G., GUTIÉRREZ BOHEM, F. y ECHEVERRÍA, H.E. 2003. Proyecto Fertilizar-INTA. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. IDIA. 11(3)52-58.
- FLANNERY, R. 1986. Plant food uptake in a maximum yield soybean study. Better Crops Plant Food. 70:6-7.
- GONZÁLEZ, N., PERTICARI, A., STEGMAN DE GURFINKEL, B. y RODRIGUEZ CÁCERES, E. 1997. Nutrición nitrogenada. En L. Giorda y H. Baigorri (Eds.) El cultivo de la soja en la Argentina. INTA- SAGPyA. Editar, San Juan. Pp. 188-198.
- HUNGRIA, M. and VARGAS, M.A. 2000. Environmental factors affecting N_2 fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. Field Crops Research. 65:151-164.
- INTA. 2006. Informe de coyuntura del mercado de granos. Área Estudios Económicos y Sociales. N° 218/2006.
- RACCA, R.W. 2003. Algunos conceptos sobre la fijación de nitrógeno en los cultivos. IV Reunión Científico Técnica de Biología de Suelo. IV Encuentro de Fijación Biológica de Nitrógeno. Termas de Río Hondo. Argentina
- MELGAR, R. 2005. El Mercado de fertilizantes en la Argentina y su relación con el sector agropecuario. En H.E Echeverría y F.O. García (Eds.) Fertilidad de suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA. pp 489-502.
- SAGPyA 2006. www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/index.php - 29 Mar 2006.
- SANTOS, M.A., VARGAS, M.A. and HUNGRIA, M. 1999. Characterization of soybean *Bradyrhizobium* strains adapted to the Brazilian savannas. FEMS Microbiol. Ecol. 30(3):261-272.