

## APORTES ACTUALES Y FUTUROS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS SOBRE LA NUTRICIÓN NITROGENADA Y PRODUCCIÓN DE SOJA EN EL CONO SUR

Gustavo N. Ferraris<sup>(1)</sup>, G. González Anta<sup>(2)</sup> y M. Díaz-Zorita<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> EEA INTA Pergamino, <sup>(2)</sup> Rizobacter Argentina S.A., <sup>(3)</sup> CONICET-FAUBA y Nitragin Argentina S.A.

**Palabras clave:** rizobiología; promotores del crecimiento, inoculantes

La producción de soja en el cono sur es responsable de aproximadamente el 50% de la producción mundial de esta oleaginosa y se desarrolla en ambientes edafoclimáticos muy diversos desde el sur de la región pampeana en Argentina hasta la región del Cerrado en Brasil. Es reconocida que la alta demanda de nitrógeno del cultivo, estimada en unos 80 kg tn<sup>-1</sup> de grano producida, es mayoritariamente cubierta a partir del proceso de fijación biológica de N atmosférico (FBN) en la simbiosis entre la leguminosa y los rizobios. El cultivo obtiene entre el 30 y el 94% de sus requerimientos de N a partir de esta simbiosis (Hungria y Campo, 2004; Peticari, 2005). Es propósito de esta presentación describir y discutir algunas tendencias en cuanto al manejo de la FBN con el propósito de mejorar la eficiencia de su aprovechamiento en pos de cultivos de soja de alta producción.

Menos del 10% del área sembrada con soja ocurre en sitios sin antecedentes del cultivo por lo que la mayoría de los suelos presentan poblaciones naturalizadas de rizobios. No obstante, abundan los estudios que muestran aumentos significativos en los rendimientos al inocular anualmente el cultivo ("reinoculación"). Por ejemplo, en Brasil se reportaron mejoras medias del 8% en los rendimientos de cultivos al reinocular (Hungria et al. 2006). Similares resultados han sido descriptos en estudios desarrollados en Argentina (Peticari 2005) y en otros ambientes del cono sur (Tabla 1). Este comportamiento refleja la mejora en la competitividad de las cepas de los inoculantes y la calidad de las presentes formulaciones comerciales disponibles que logran entre 10 y 100 veces mayores aportes de bacterias que los inoculantes pasados (Hungria et al. 2006). Los beneficios por el uso frecuente de la inoculación en soja se traducen no sólo en los rendimientos de los cultivos sino también en su calidad, por ejemplo en la concentración de proteínas. La respuesta a la aplicación de inoculantes, en términos de rendimiento en grano o concentración de proteínas, es mucho mayor en lotes sin antecedentes del cultivo dada la ausencia de cepas nativas capaces de formar simbiosis y fijar eficientemente N.

Tabla 1: Promedio de respuestas a la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* en cultivos de soja del cono sur en lotes con antecedentes del cultivo en rotación.

País	Respuesta (kg/ha)	Casos	Fuente
Brasil	240	29	Hungria et al. (2006)
Argentina	290	180	Peticari, 2005
Paraguay	80	1	Brenzoni, 1997
Uruguay	900*	---	Lavandera (com pers.)

\*Suelos sin población naturalizada de *Bradyrhizobium japonicum*.

El proceso de FBN ocurre en respuesta a relaciones fisiológicas reguladas por el cultivo por lo que se requiere de su óptimo manejo agronómico tal que la provisión de fotoasimilados no limite la correcta actividad nodular durante el período de llenado de granos. En este contexto, la nutrición balanceada, en particular fosfatada presenta un papel preponderante e insustituible dado que es un elemento que participa de todos los procesos energéticos en los seres vivos. Abundan los estudios de manejo integral de la nutrición de cultivos de soja que muestran los beneficios aditivos de correcciones nutricionales tanto sobre la nodulación como sobre la producción y eficiencia en la FBN (Silvestre Begnis et al. 2005). El uso de fuentes nitrogenadas, si bien induce a un mejor crecimiento de la soja, afecta negativamente el proceso de FBN y no es una práctica recomendable en condiciones de buen manejo de la inoculación. Cuando hay suficiente disponibilidad de N en el suelo, la planta por razones de economía energética, privilegia la incorporación del nitrógeno edáfico por sobre el derivado de la atmósfera (Racca y Collino, 2005).

La producción y utilización de inoculantes para leguminosas ha evolucionado prácticamente a la par del crecimiento en la expansión del cultivo en la región (Fig.1).

También es creciente el interés público para el control de su calidad mostrando un aumento en los requerimientos de concentración de bacterias aportadas sobre las semillas y la ausencia de contaminantes. Se estima que tanto en Brasil como en Argentina aproximadamente el 60% de los cultivos de soja son inoculados mientras su uso en Paraguay es en menor proporción (Hungria et al. 2006). Este crecimiento se explica por un continuo esfuerzo de soporte a la investigación y a la extensión sobre los procesos de FBN y beneficios a los productores. Uruguay dispone desde la década del '60 de un programa público con el propósito de solucionar limitaciones para el establecimiento y productividad de leguminosas forrajeras en su origen y actualmente de soja (Labandera, 2004). Actualmente, las vinculaciones públicas y privadas con este propósito son tanto en escala regional (RELAR) como en cada uno de los países del cono sur [ANPII (Brasil), RELARE (Brasil), INOCULAR (Argentina) y otros].

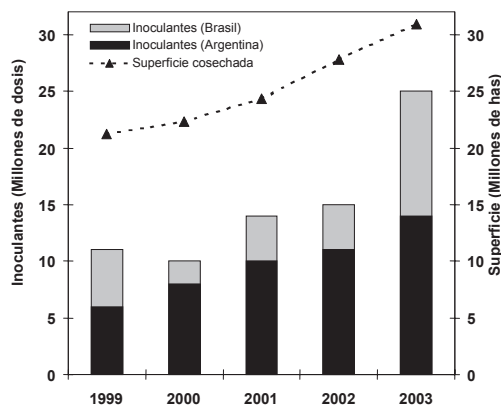


Fig.1: Evolución en las dosis de inoculantes comercializadas en Argentina y en Brasil para la producción de soja (Hungria et al. 2006) y del área bajo cultivo (FAO, 2006)

Los inoculantes están integrados por un soporte formulado sobre el que se conservan en forma activa las bacterias que luego serán aplicados sobre las semillas antes o durante su siembra. Estos productos contienen básicamente bacterias seleccionadas por su especificidad, infectividad, efectividad y capacidad de producción en escala industrial. La FBN es un proceso particularmente sensible a las perturbaciones ambientales. La ocurrencia de estrés (hídricos o térmicos) en los primeros días de implantación del cultivo condicionará el tipo de cepas de rizobio que formarán los nódulos y su ubicación en las raíces que, a su vez, influirá sobre la eficiencia del sistema de FBN (Racca y Collino, 2005). Las cepas de *Bradyrhizobium japonicum* con que se formulan los inoculantes son objeto de estudio permanente y, bajo convenios de investigación específicos, se están seleccionando nuevas cepas procurando una alta competitividad y eficiencia en FBN para mejorar la performance actual de inoculantes comerciales (Racca y González Anta com. pers.).

El buen uso de los inoculantes procura proveer, en el ambiente rizosférico durante la aparición de las raíces, una alta carga de rizobium contribuyendo a la formación de nódulos conteniendo estas cepas con eficiente capacidad de FBN. Uno de los factores de estrés a los que se exponen las bacterias del inoculante ocurre al ser aplicadas sobre las semillas y en particular si estas son tratadas junto con curasemillas (i.e. funguicidas, insecticidas, micronutrientes), práctica ampliamente difundida en los sistemas de producción de soja en el cono sur. Reducciones en hasta el 70% de las células bacterianas y en la nodulación bajo condiciones de campo se reportan sólo con 2 horas de contacto de inoculantes con algunos funguicidas. Este fenómeno también es observado cuando las semillas son tratadas con micronutrientes (en particular Co y Mo). Recientemente, en el mercado internacional se han desarrollado funguicidas "compatibles" con los rizobios y que junto con otras prácticas de manejo (ej. aplicación foliar de micronutrientes, siembra de semillas enriquecidas en Mo, etc.) atenuarían esta limitación (Hungria et al. 2006). Un cambio de importancia en la tecnología de inoculación se logró con el desarrollo de protectores bacterianos que permiten mejorar la supervivencia de los rizobios sobre las semillas de soja inoculadas con prolongada anticipación a la siembra (Tabla 2). Estos protectores bacterianos también han permitido reducir la mortalidad

bacteriana cuando se emplean fungicidas e insecticidas curasemillas sobre estas (Montero et al 2003, Montero et al 2005).

Tabla 2: Supervivencia de *Bradyrhizobium japonicum* sobre semillas de soja tratada con un inoculante líquido junto a distintas formulaciones de protector y sin fungicida. DDI = días después de la inoculación (I&D Rizobacter y Montero et al 2003).

DDI	Protector bacteriano				
	NO	I	II	III	
	miles de ufc semilla <sup>-1</sup>				
0	<sup>2</sup> A 2454,1	<sup>3</sup> a A 2443,3	a A 2133,3	a A 2352,5	a
7	B 75,2	a B 1003,3	b B 1055,0	b B 1235,0	b
14	C 19,8	a B 882,5	bc C 747,5	c C 651,7	c
23	D 5,1	a C 363,3	c C 581,7	b D 380,0	b
30	E 0,6	a D 133,3	c D 248,3	b E 165,0	b

<sup>2</sup>Distintas letras mayúsculas dentro de una columna indican diferencias significativas entre DDI dentro de un nivel de protector ( $p < 0,05$ ). <sup>3</sup>Distintas letras minúsculas dentro de una fila indican diferencias significativas entre protectores dentro de un nivel DDI ( $p < 0,05$ ).

Otra forma para atenuar el efecto deletéreo de curasemillas y estrés ambiental sobre la población de rizobios es la aplicación de tratamientos líquidos directamente en el surco de siembra (Fig. 2). Se recomienda que la dosis de inoculación sea 6 veces superior a la usada sobre semillas y con volúmenes de aplicación de unos 50 l/ha (EMBRAPA, 2004).

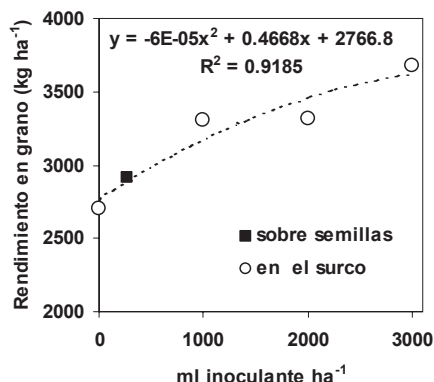


Fig. 2: Producción de grano de soja según dosis y tratamiento de inoculación en 9 de Julio (Bs.As., Argentina) (Ventimiglia et al. 2004).

El proceso FBN requiere de la identificación entre sus actores: plantas (soja) y bacterias (*Bradyrhizobium japonicum*) y se logra a partir del intercambio de señales moleculares. La soja produce sustancias (flavonoides) que al ser reconocidas por los rizobios estos, luego de la activación de diferentes genes liberan factores de nodulación que al ser percibidos por las plantas desencadenan el inicio del proceso de nodulación. Estudios recientes han identificado y aislado muchas de las sustancias que intervienen en estos procesos de comunicación y su inclusión en los formulados de inoculantes con resultados, en algunos casos, beneficiosos sobre la producción de soja y la eficiencia en la FBN (Smith y Díaz-Zorita, 2005).

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR en inglés) son bacterias aisladas de la rizosfera y que cuando colonizan las raíces de las plantas, incrementan su crecimiento o reducen el daño de algunas enfermedades. El manejo de estos microorganismos, que están involucrados en varios ciclos biogeoquímicos (C, N, P, S, etc.), salud de las plantas, ofrece nuevas posibilidades de tratamientos biológicos. Resultados preliminares muestran que la “co-inoculación” (aplicación combinada de rizobios y microorganismos PGPR) sería otra alternativa a considerar para mejoras en la productividad de soja en el cono sur (Fig.3).

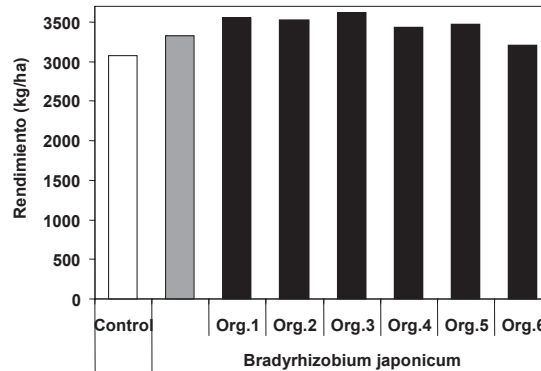


Fig. 3: Producción de soja según tratamientos de co-inoculación. Promedio de 4 sitios en región pampeana, Argentina. Campaña 2002/03 (I&D Nitragin Argentina S.A., inédito).

### Conclusiones

La fijación biológica del nitrógeno tiene un papel central en el desarrollo de sistemas sustentables de producción de soja en el cono sur tanto por sus aportes sobre los rendimientos como también en el mantenimiento de la calidad de los granos y la reducción de riesgos de contaminación con fuentes químicas de N.

Actualmente, el desafío para el mejor aprovechamiento de la técnica de inoculación se asocia por una correcta aplicación de los productos y la optimización del manejo agronómico del cultivo. Entre estos se destaca el manejo balanceado de la nutrición de los cultivos, en particular con P, S y K además de la corrección de suelos ácidos (encalado) y uso de micronutrientes (Co y Mo) dónde son requeridos.

La incorporación moléculas señal (“mensajeros” planta-rizobio y/o rizobio-planta), la “co-inoculación” (aplicación conjunta de rizobium y microorganismos PGPR), la detección de nuevas cepas y el desarrollo de mejores protectores bacterianos son parte de las tendencias de mediano plazo para el mejoramiento del aprovechamiento de los beneficios de la práctica de inoculación en pos de sistemas eficientes de FBN en soja.

### BIBLIOGRAFÍA

- Brenzoni, E, Lezcano Roman, N.R., Zaldivar, R.1997. Paraguay: Cuantificación de la Fijación Biológica de Nitrógeno en el cultivo de la soja. Revista Anual de Siembra Directa, Obligado, Itapúa (Paraguay) 33:35.
- EMBRAPA. 2004. Tecnologías de Producao de Soja - Paraná 2005. Embrapa Soja. Sistemas de producao 5, 227 p.
- FAO. 2006. FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/faostat/> (acceso marzo 2006).
- Hungria, M., R.J. Campo, I.C.Mendes, P.H.Graham. 2006. Contribution of biological nitrogen fixation to the nitrogen nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr) in South america. En: Singh, R.P., N.Shankar y P.K. Jaiwal (eds), Nitrogen nutrition in plant productivity. Studium Press, LLC, Houston (TX, USA), 43-93.
- Hungria, M., R.J. Campo. 2004. Economical and environmental benefits of inoculation and biological nitrogen fixation with the soybean: situation in South America. In: Moscardi *et al* (eds), VII World Soybean Resarch Conference, Foz do Iguassu (PR, Brazil), Proceedings 488-498.
- Labandera, C. 2004. Past, current status and perspectivas of biological nitrogen fixation in Uruguay. 22<sup>nd</sup> Latin American Conference on Rhizobiology, Miguel Pereira (Brasil), 36
- Montero, F.A., Sagardoy, M.A. 2003. Supervivencia de *Bradyrhizobium japonicum* sobre semilla de soja tratada sin fungicida, inoculante líquido y protector. IV Reunión Nacional Científico Técnica de Biología de Suelo-IV Encuentro de Fijación Biológica de Nitrógeno Las Termas de Río Hondo. Santiago del Estero. Argentina.
- Montero, F.A. Sagardoy, M.A. 2005. Resultados del uso de un protector bacteriano sobre la nodulación de plantas de soja tratadas con inoculante líquido, insecticidas, fungicida y micronutrientes. V Reunión Nacional Científico Técnica de Biología de suelo-V Encuentro sobre Fijación Biológica de Nitrógeno. San salvador de Jujuy. Jujuy. Argentina.
- Perticari, A. 2005. Inoculación de calidad para un máximo aprovechamiento de la FBN. Actas del Congreso Mundo Soja, Buenos Aires (Argentina), 121-126.
- Racca, R.W., D.J.Pollino. 2005. Bases fisiológicas para el manejo de la fijación biológica del nitrógeno en soja. Actas del Congreso Mundo Soja, Buenos Aires (Argentina), 111-120.
- Silvestre Begnis, A., A. Bianchini, D. Petruzzi, J. Rabasa, M.E. Magnelli. 2005. Ensayo de inoculación y fertilización del cultivo de soja. Campaña 2004/05. AAPRESID Ensayos en siembra directa, 31-45.
- Smith, S. , M. Díaz-Zorita. 2005. Nuevas tecnologías para mejorar el crecimiento de soja y sus rendimientos en grano. Actas del Congreso Mundo Soja, Buenos Aires (Argentina), 127:133
- Ventimiglia, L.A., H.G.Carta, S.N.Rillo, P.F.Richmond, M.Díaz-Zorita. 2004. Aplicación de un inoculante para soja en el surco de siembra. Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (ER, Argentina), en CD.