

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

En la campaña 2006-2007 se han sembrado en la Argentina 16.1 millones de hectáreas con soja SAGPyA (2007). La proyección de la producción, según estimaciones del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos es, al mes de mayo de 2007, de 45 millones de toneladas de grano (INTA, 2007). Actualmente se conoce que el cultivo debe incorporar en su rendimiento biológico, 80 kg N ha⁻¹ para producir cada tonelada de grano (Andrade *et al*, 2000), por lo cual resulta claro que, para que el nivel de productividad actual sea sostenible, se debe estar en condiciones de aportar nitrógeno de manera no limitante. Para satisfacer tan enorme demanda, 3,6 millones de toneladas de N para la cosecha de 2007, 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), realizada por la asociación simbiótica de bacterias de algunos géneros de la familia Rhizobiaceae, con la soja.

Las últimas estimaciones de la tasa de fijación de N en doce localidades del centro y norte de la región productora de soja en el país, efectuadas en el IFFIVE, INTA Córdoba, empleando el método de la abundancia natural de ¹⁵N indican que entre el 26% (en Concepción del Uruguay, Entre Ríos) y el 71% (en la Virginia, Tucumán) del nutriente acumulado, con una media en aproximadamente 50%, procede de la FBN (Collino *et al.*, 2007). 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 (Gonzalez *et al*, 1997), limitado en esta actividad por la natural fertilidad nitrogenada de los suelos de la región. No se dispone de información sobre la proporción de N fijado por la soja en 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*, aportadas por los inoculantes o naturalizadas en el suelo. 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 1,8 millones de toneladas de N ingresadas por esta vía. Este valor supera

ampliamente la totalidad del consumo anual de fertilizantes nitrogenados en la Argentina que se ubica en alrededor de $1,2 \times 10_6$ toneladas de fertilizantes nitrogenados (Melgar, 2005), y que equivale a aproximadamente $0,47 \times 10_6$ toneladas de N.

La 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.

Respecto de la situación actual de los inoculantes en el país, la industria ha crecido notablemente en los últimos años. En el año 2000 había veinte empresas productoras inscriptas en SENASA y 32 productos aprobados para el cultivo de soja. El 60% del mercado ya estaba dominado por los inoculantes líquidos acuosos, producidos por tres empresas. A mediados del 2006, según datos obtenidos de SENASA (2006) se contaba con 75 empresas registradas y 176 marcas comerciales inscriptas. El 70% de los productos inscriptos está representado por los inoculantes líquidos acuosos, 7% por líquidos oleosos, 20% se presentan en sustratos sólidos, sorbidos en turba, dolomita, o turba, vermiculita y dolomita, mezcladas; 1% son bifásicos, es decir se presentan en una base líquida con una pequeña proporción de turba en suspensión y, finalmente, en 1% de total, no se especifica sustrato en el que están sorbidos.

En nuestro país, no existe la obligación de declarar con qué cepa o cepas se formulan los inoculantes. Es frecuente que las empresas se provean de la cepa que utilizan para fermentar, del IMYZA, INTA Castelar, pero no es siempre así. En efecto, 46,5% de los productos inscriptos están formulados con *Bradyrhizobium japonicum* E109, una variante de USDA 138, que es la recomendada por el mencionado Instituto del INTA; 6% con E109 más otra cepa de *Bradyrhizobium*; 8% con E109 más otras dos cepas de *Bradyrhizobium*; 5% con otras estirpes diferentes de E109; 0,5% con E109 más *Azospirillum* y 34 % con cepas no especificadas.

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 de distintos orígenes, que se reciben para efectuar análisis de calidad, 86% del total de las

muestras analizadas supera la concentración estándar de 1×10^9 establecida por SENASA; 46% del total exhibe recuentos superiores a 10^{10} 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:

- Aquéllos 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 climático, 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 y de azufre, 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 antecedentes de siembras de soja. 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 provocar problemas en la expresión de 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 *Bradyrhizobium* 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 (Bray 1), cuando la expectativa de rendimiento se sitúa en alrededor de 3000 kg de grano ha⁻¹. 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 el P, S actúa sobre la nodulación y la FBN a través del equilibrio en el 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 (Ferraris *et al.*, 2002). Consistentemente con esta información, mediante análisis multivariado se determinó que el N que el cultivo de soja deriva de la FBN en el centro y norte de nuestro país es función ($R^2=0.69$) de las siguientes variables significativas: contenido de P y S en la capa superficial de suelo, a la siembra y temperatura media y suma de la radiación recibida en el período siembra (R1), cuando comienza a desarrollarse el sistema nodular (Collino *et al.*, 2007).

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 preinoculación, 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 las Tablas 1 y 2 se muestran resultados de un experimento realizado en Balcarce, en 2002-2003 con el uso de protector en tratamientos preinoculados e inoculados inmediatamente antes de la siembra, con y sin fungicida.

Tabla 1. Variables de nodulación en R6.5.

TRATAMIENTOS	Número promedio de nódulos por planta (*)	Peso promedio de nódulos por planta (g) (*)
Preinoculación M 10 días	48.20 a	0.2813
Preinoculación S 10 días	38.58 a	0.3186
Preinocupación S 20 días	29.19 ab	0.2887
Preinoculación M 5 días	24.45 ab	0.3367
Dosis simple+fung+protector	23.64 ab	0.2260
Dosis simple+protector	17.79 b	0.2931
Dosis doble	14.90 b	0.2077
Dosis doble +fun.+protector	12.44 bc	0.1850
Dosis simple	12.04 bc	0.2144
Testigo	7.01 c	0.1325
Media General	22.82	0.2484
CV%	39.31	24.64
ANVA P>F Tratamientos	0.0447	0.5219 NS

(*)Datos correspondientes a 20 plantas por repetición, promedio de cuatro repeticiones. NS: Valores de probabilidad (P>F) mayores que 0,05 indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos probados. Letras diferentes a continuación de los promedios indican que éstos son significativamente diferentes entre sí.

En todos los casos se utilizó un inoculante líquido con una concentración de *Bradyrhizobium* de $1,8 \times 10^{10}$. La preinoculación secuencial (S) implicó tratar primero la semilla con el fungicida (Thiram + Carbendazim), dejarla secar y luego aplicarle una mezcla de inoculante y protector. La preinoculación mezcla (M) significó mezclar inoculante, protector y fungicida y aplicarlos en una sola operación sobre la semilla. El número de días que consta en los tratamientos de preinoculación representa el tiempo que la semilla permaneció tratada, a temperatura ambiente, antes de la siembra. En todos los tratamientos de preinoculación se utilizó una dosis simple de 133 ml/50 kg de semilla.

Tabla 2. Rendimiento y % de N total en grano.

TRATAMIENTOS	Rendimiento en grano a 13.5% de humedad (kg ha ⁻¹)	N (%)
Dosis simple + fungicida + protector	5830.7 a	5.86
Dosis simple + protector	5180.3 b	5.58
Preinoculado (S) 10 días	5016.2 b	5.72
Dosis Doble	4526.6 bc	5.36
Dosis doble +fungicida + protector	4435.3 bc	5.28
Preinoculado (M) 5 Días	4423.0 bc	5.41
Preinoculado (S) 20 días	4402.6 bc	5.31
Dosis Simple	4246.9 bc	5.77
Preinoculado (M) 10 días	4228.9 bc	5.49
Testigo	3754.2 c	5.49
Media general	4604.45	5.53
CV%	10.78	5.03
P>F tratamientos	0.0394	0.81

* Datos correspondientes a 1.8 m² por repetición, promedio de cuatro repeticiones. NS: Valores de probabilidad (P>F) mayores que 0,05 indican que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos probados

En los suelos que no registran antecedentes de cultivo de soja hay que considerar seriamente la no utilización de biocidas, principalmente fungicidas, asociados a la inoculación, ponderando el rédito relativo de utilizarlos. Cuando, por razones agronómicas, su uso sea imprescindible la incorporación de protectores mejorará las posibilidades de supervivencia de las bacterias inoculadas. Por el contrario, 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 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. En la Tabla

3 se presentan datos de nodulación y rendimiento de un experimento realizado en González Chaves (Bs. As). (Gentileza de Christensen, M. AAPRESID, Regional Tres Arroyos, y Zamora, M. EEAI INTA Barrow, 2005)

Tabla 3. Nodulación y rendimiento en grano de un cultivo de soja inoculado con distintas variantes y dosis, en la línea y en la semilla.

Tratamientos	Número promedio nódulos/planta	Peso promedio nódulos/planta (g)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
LS 266	128.26	0.61	3473 b
C + LS 266	114.86	0.54	3412 b
LS 665	112.54	0.65	3761 a
C	78.60	0.52	3386 b
T	75.40	0.36	3331 b
CV%	35.98	52.20	9.85
ANVA P>F (Trat)	0.3559	0.7658	0.0381

Referencias: T Testigo; LS 266 Inoculado en la línea de siembra 266cc/50 kg semilla; LS 665 Inoculado en la línea de siembra 665cc/50 kg semilla; IC Inoculación convencional a la semilla 133cc/50 kg semilla; IC+ LS 266 Inoculado convencional + 266cc/50 kg semilla en la línea de siembra

El análisis de la información revela que la localización en la línea genera al menos la misma nodulación que la inoculación convencional a la semilla y, probablemente por una interacción con la dosis, que por lo general se incrementa cuando se utiliza esta técnica, en ocasiones genera un aumento en los rendimientos.

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 (Hungria y Vargas, 2000).

Respecto de la fertilización, es imprescindible, en un país que dedica 16 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 los inoculantes con inductores de nodulación, en general de naturaleza flavonoide, principalmente genisteína y daidzeína, 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, en Canadá y el Norte de USA son generalizables en otros ambientes. Durante la campaña 2006-2007, se ha efectuado una red de experimentos, seis en total, en la provincia de Buenos Aires y en una localidad de La Pampa, en suelos con y sin historia de cultivo de soja. Los resultados, preliminares, muestran una tendencia a la promoción de la nodulación., pero aún no se dispone de los datos de rendimiento. Se impone más investigación sobre el tema. Otra propuesta que comienza a aparecer en el mercado es la de 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 la competencia que ejerce la flora

rizobial naturalizada en el suelo, que en nuestro país muestra alta grado de biodiversidad. En efecto, en un primer reconocimiento en gran escala de la variabilidad de las cepas de *Bradyrhizobium* naturalizadas en la región sojera argentina, se analizaron aislamientos obtenidos de veinticinco suelos, de los cuales dos procedían de Salta, trece de Santa Fé, cuatro de Córdoba, uno de Entre Ríos y cinco de Buenos Aires (González *et al.*, 2000). Todos los suelos fueron muestrados entre octubre y noviembre de 1996, antes de la siembra de la soja, bajo el requisito de que hubieran sido cultivados con ella al menos durante cinco años y no hubieran sido inoculados en esa campaña. Se obtuvieron, mediante plantas trampa de soja alrededor de 1800 aislamientos, de los cuales 975 fueron caracterizado mediante el uso de RFLP (ALUI) sobre el segmento ITS (16S-23S) del rDNA, amplificado por PCR (Laguerre *et al.*, 1994). La etapas fueron las siguientes: a) Pretratamiento de las células enteras con proteinasa K. b) Amplificación por PCR del fragmento ITS (16S-23S) de rDNA (primers 38y 72 dNTP, Taq Polimerasa y Buffer Cl₂Mg). c) Control de la amplificación PCR en geles de agarosa. d) RFLP del fragmento ITS ampliado, utilizando ALUI como enzima de restricción (Hartmann, resultados no publicados). e) los geles fueron fotografiados bajo UV en el sistema Bioprint y su información almacenada en una base de datos a partir de la cual cada perfil de restricción ALUI se recuperó y analizó con el programa BIOPROFIL, a fin de cuantificar los pesos moleculares de los fragmentos cortados con ALUI y compararlos con cepas de referencia. Los 975 perfiles obtenidos fueron comparados contra los correspondientes a 142 cepas de *Bradyrhizobium*, pertenecientes a la colección de Microorganismos del Laboratoire de Microbiologie des Sols del INRA de Dijon y previamente analizados y clasificados por la misma técnica (Alain Hartmann, resultados no publicados).

Una vez identificados los perfiles predominantes, una proporción de cepas correspondiente a la dominancia relativa de cada perfil fue seleccionada y sometida a ARDRA fragmento 16 S (Laguerre *et al.*, 1994) a fin de verificar la correspondencia de la clasificación al nivel de especie. En la Tabla 4 se resumen los tipos RFLP ITS ALUI hallados entre los 975 aislamientos analizados, clasificados por suelo.

Tabla 4. Clasificación de los aislamientos según perfiles de restricción del fragmento ITS, digeridos con la enzima ALUI

Cod.	Prov.	Perfiles de restricción ITS (Alul)									Total/ suelo
		1	4	5	8	11	12	13	21	24	
10	Salta	-	-	-	-	30	-	9	-	-	39
23	Salta	-	-	-	-	17	-	2	18	-	37
2	S. Fe	24	6	1	4	7	6	6	-	3	57
4	S. Fe	4	7	1	-	3	-	2	12	11	40
12	S. Fe	2	2	-	-	13	3	8	9	3	40
22	S. Fe	6	2	1	-	3	-	4	14	5	35
24	S. Fe	1	-	2	-	14	5	1	6	7	36
26	S. Fe	6	-	3	-	-	-	10	15	8	42
27	S. Fe	14	1	2	-	5	10	1	7	-	40
28	S. Fe	-	-	12	-	4	2	8	10	-	36
29	S. Fe	-	-	4	-	27	-	6	8	1	46
31	S. Fe	-	2	2	-	21	4	4	5	2	40
32	S. Fe	-	-	-	-	31	-	4	2	-	37
36	S. Fe	5	7	-	-	2	1	4	7	8	34
37	S. Fe	-	-	-	-	27	-	4	6	1	38
1	Cord.	1	-	-	6	19	5	4	-	1	36
7	Cord.	1	10	2	4	10	6	14	-	-	47
15	Cord.	2	-	-	-	13	-	8	9	6	38
30	Cord.	-	-	4	-	22	8	3	1	-	38
11	E. Ri.	15	-	1	10	7	-	3	-	4	40
18	Bs.As.	-	11	-	-	17	2	5	1	3	39
19	Bs.As.	-	2	-	-	10	3	11	2	3	31
21	Bs.As.	5	7	3	-	8	-	3	7	5	38
20	Bs.As.	-	1	11	-	5	-	14	3	-	34
25	Bs.As.	7	5	-	-	11	1	-	6	7	37
total		93	63	49	24	326	56	138	148	78	975
%		9.54	6.46	5.03	2.46	33.44	5.74	14.15	15.18	8	100
	Cepas de Refer.	USDA 123	USDA 110 USDA 136	USDA 138	USDA 184	SEMIA 5019; 29W	USDA 288;289; 290	USDA 94	G17 CB1003	----	

Se advierte que la diversidad, es alta si se considera que solamente fueron estudiados 25 suelos, muestra que de ninguna manera puede predecir, más que de un modo general el comportamiento de la flora naturalizada en 16 millones de hectáreas, actualmente cultivadas. 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 ésta última. Mientras esto ocurre, hay estrategias para mejorar la fijación de N y es mediante el manejo del cultivo. Hay una enorme brecha entre el rendimiento promedio de la soja en el país, alrededor de 2800 kg ha⁻¹ y el rendimiento potencial que se ha demostrado para la soja (Flannery, 1986), próximo a las 8000 kg de grano ha⁻¹. 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-NO₃^{-p} rovisto 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, 16 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 Panamericana, 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.

- COLLINO, D., de LUCA, M., PERTICARI, A., URQUIAGA CABALLERO, S. y RACCA, R. 2007. Aporte de la FBN a la nutrición de la soja y factores que la limitan en diferentes regiones del país. XXIII Reunión Latinoamericana de Rizobiología. Los Cocos, Córdoba, Argentina. 25-29 de marzo de 2007. Libro de Resúmenes.
- 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.
- GONZÁLEZ, N.S. GÓMEZ, M.A. BEAUCLAIR, P. CATROUX, G. y HARTMANN, A. 2000. Diversidad de bacterias del género *Bradyrhizobium* naturalizadas en los suelos del cinturón sojero argentino. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 11-14 de abril de 2000. En Cd.
- HUNGRIA, M. and VARGAS, M.A. 2000. Environmental factors affecting N₂ 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° 242/2007.
- LAGUERRE G, ALLARD MR, REVOY F, AMARGER N. 1994. Rapid Identification of Rhizobia by Restriction Fragment Length Polymorphism Analysis of PCR-Amplified 16S rRNA Genes. Appl. Environ. Microbiol. 60:56-63.
- 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.
- 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
- SAGPyA 2007. www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/agricultura/index.php - 11 mayo de 2007.

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.

THIES, J.E., SINGLETON, P.W. and BOHLOOL, B.B. 1991. Influence and size of indigenous rhizobial populations on the establishment and symbiotic performance of introduced rhizobia on field grown legumes. Appl. Environ. Microbiol. 57(1):19-28