

COMPORTAMIENTO DE INOCULANTES PARA SOJA EN LA ZONA SUR DE LA PROVINCIA DE SANTA FE, ARGENTINA.

TORESANI, Silvia¹; BODRERO, Marcelo²; ENRICO, Juan Martín²

¹Cátedra de Microbiología Agrícola
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Rosario

C.C N° 14 (S2125ZAA) Zavalla, Santa Fe, Argentina.

²Area Agronomía. Estación Experimental Oliveros INTA.

E-mail: storesan@unr.edu.ar

Resumen

La soja fija el nitrógeno atmosférico en simbiosis mutualista con *Bradyrhizobium japonicum* y/o *Sinorhizobium*, mediante la Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN). El uso de especies capaces de nodular vigorosamente y de fijar el nitrógeno eficientemente, combinado con estrategias agronómicas simples como la inoculación de la semilla, permiten obtener altos rendimientos y contribuir a las reservas nitrogenadas del suelo. Con valores de población naturalizada, superiores a 10^2 - 10^3 , el fenómeno de competencia por la ocupación de los nódulos es muy importante y ocasiona menores beneficios con la inoculación. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de distintos inoculantes para soja y de la población de rizobios naturalizados del suelo, sobre la nodulación y parámetros de crecimiento y rendimiento, en dos localidades del sur de la provincia de Santa Fe. Las evaluaciones se realizaron en laboratorio, invernáculo y a campo en las localidades de Cañada de Gómez y Clason sobre un suelo Argiudol típico con población naturalizada de 10^5 . Los inoculantes utilizados contaban con 10^9 rizobios viables por unidad de producto y la infectividad en plántulas, en todos los casos superó el 80%. En invernáculo los valores de nodulación y peso seco de planta, no presentaron diferencias estadísticamente significativas. A campo, el número de nódulos totales por planta, independientemente de los tratamientos fue mayor en Clason (55,9) que en Cañada de Gómez (34,4), atribuible a las diferencias en el contenido de nitratos en suelo (72 y 103 ppm respectivamente). Las diferencias en nodulación, no impactaron en los parámetros de crecimiento y rendimiento del cultivo en ninguna de las localidades.

Palabras clave:

soja, inoculantes, *Bradyrhizobium japonicum*, población naturalizada, patrones de nodulación, componentes de rendimiento.

SOYBEAN INOCULANT BEHAVIOR IN THE SOUTH OF SANTA FE, ARGENTINA

Summary

Soybean fixes atmospheric nitrogen through mutualistic symbiosis with *Bradyrhizobium japonicum* and/or *Sinorhizobium* by means of Nitrogen Biological Fixation (FBN). High yields and high soil nitrogen reserves are obtained by species that nodulate vigorously and fix nitrogen efficiently, when combined with simple agronomics strategies like the inoculation of seeds. When naturalized population reaches 10^2 - 10^3 cells per gram, there is a great nodule occupation competition and therefore nodulation is depressed.

The objective of this study is to compare the behaviour of different soybean inoculants with soil naturalized population on the nodulation, growth and yield parameters in Cañada de Gómez and Clason, Santa Fe, Argentina. A combination of laboratory, green house and field trials was used to evaluate nodulation in a Typic Argiudol soil containing 10^5 naturalized cells per gram. Commercial inoculants containing 10^9 viable cells per product unit were also used. Infectivity values were over 80% in all cases. Nodulation percentages and dry weight of plants grown in green houses showed no significant differences. The number of nodules per plant was higher in Clason (55,9) than in Cañada de Gómez (34,4), probably due to the difference in nitrate content (72 and 103 ppm respectively). Nevertheless, nodulation differences did not affect plant growth and yield, in any of the localities.

Key words:

soybean, inoculant, *Bradyrhizobium japonicum*, naturalized populations, nodulation patterns, yield components.

Introducción

Las bacterias fijadoras de N atmosférico (N_2) convierten este nutriente en amonio mediante la acción de la enzima nitrogenasa. La soja (*Glycine max* (L.) Merr.) fija el N_2 en simbiosis mutualista con *Bradyrhizobium japonicum* y/o *Sinorhizobium*. La expresión de esta asociación es la presencia de órganos en las raíces, llamados nódulos dentro de los cuales se lleva a cabo la reducción del N_2 . El cultivo se nutre del nitrógeno aportado por la Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN) y del disponible existente en el suelo. La combinación de factores tales como: las características del huésped, temperatura y humedad ambiental, las propiedades físico-químicas del suelo y la naturaleza de la población rizobiana naturalizada determinan la adecuada formación de nódulos, la eficiencia en la fijación del nitrógeno y la productividad del cultivo (González *et al*, 1997).

La FBN puede aportar del 25 al 90% del nitrógeno necesario para el desarrollo del cultivo, pero esto sólo puede concretarse cuando los factores ambientales no actúan como limitantes (González *et al*, 1997; Peticari *et al*, 2003; Peticari, 2005). El uso de especies capaces de nodular vigorosamente y de fijar el nitrógeno eficientemente, combinado con estrategias agronómicas simples, permitirán obtener altos rendimientos y contribuir a las reservas nitrogenadas del suelo (Brockwell, 1995; Peticari *et al*, 2003).

El mayor éxito en cuanto a la implementación de prácticas agrícolas sustentables vinculadas con la FBN ha sido sin lugar a dudas el desarrollo de los inoculantes para leguminosas, a base de cepas rizobianas. Los inoculantes son productos biológicos desarrollados para agregar artificialmente sobre la semilla, rizobios seleccionados por su especificidad, infectividad (capacidad de formar nódulos) y efectividad (capacidad de fijar N_2). En la década del '70, nuestros suelos carecían de cepas de *Bradyrhizobium japonicum* y fue necesaria la incorporación de estas bacterias mediante la inoculación. Los efectos en los rendimientos del cultivo fueron evidentes y esto permitió una rápida adopción de esta tecnología por parte de los productores. La reinoculación anual llevó al establecimiento en los suelos de poblaciones de rizobios naturalizadas provenientes de las cepas de los inoculantes, esto genera la competencia en la formación de los nódulos entre las cepas introducidas con el inoculante

y las presentes en el suelo, ocupando estas últimas la mayor proporción de los nódulos (Peticari *et al*, 2003).

Según Brockwell (1995), en suelos con niveles medios de rizobios naturalizados, 10 a 10^3 rizobios g^{-1} de suelo, la competencia entre los rizobios introducidos con el inoculante y los presentes naturalmente en el suelo, puede resultar de interés, especialmente si la población naturalizada es pobremente efectiva en la fijación del N_2 . Con valores mayores de población naturalizada, el fenómeno de competencia por la ocupación de los nódulos es muy grande, lo que trae como consecuencia menores beneficios con la inoculación.

En nuestro país, los rizobios naturalizados, constituyen una población variable según la zona, que fluctúa entre 10^2 a 10^5 rizobios g^{-1} suelo. Estudios realizados por IMYZA -INTA Castelar donde se evaluó la capacidad simbiótica de cepas aisladas de diferentes suelos, determinaron que la gran mayoría presenta buena capacidad de nodulación, pero mediana capacidad para la fijación del N_2 (González *et al*, 1997).

La práctica de la inoculación de semillas con productos de alta calidad comercial y técnicas de inoculación apropiadas, en las áreas sojeras nuevas, sin población naturalizada instalada y si no hay limitaciones nutricionales e hídricas, permitirá aumentar los rendimientos en valores promedios mínimos del 60%. En suelos "sojeros" con poblaciones naturalizadas de 10^2 a 10^5 rizobios g^{-1} de suelo, la respuesta en el rendimiento suele ser nula o muy baja. No obstante, aún con incrementos de rendimientos mínimos esperados, del 5 al 10%, la práctica de la inoculación permite el "ahorro" del N mineral del suelo frente a un cultivo tan extractivo como la soja; mejorar la calidad del grano a través de una mayor concentración de proteínas y contribuir a una economía anual en el uso de fertilizantes nitrogenados (Hungría, 2006; Peticari *et al*, 2003).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de distintos inoculantes para soja y de la población de rizobios naturalizados del suelo, sobre la nodulación y parámetros de crecimiento y rendimiento, en dos localidades del sur de la provincia de Santa Fe.

Materiales y Métodos

Las evaluaciones se realizaron en laboratorio (I) y en invernáculo (II) en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario y a campo (III), en las localidades de Cañada de Gómez y Clason, provincia de Santa Fe.

Los tratamientos fueron: cuatro inoculantes comerciales de marca reconocida (I1, I2, I3, I4); un producto conteniendo la cepa E109 (I5) del IMYZA - INTA Castelar recomendada para la formulación de inoculantes y el suelo con población naturalizada como testigo o control.

I. En laboratorio:

Recuento de rizobios viables: refiere al número de bacterias rizobianas vivas por unidad de producto. La siembra de los inoculantes se realizó en medio de cultivo ALM (manitol, 10g; extracto de levadura, 0.5g; K_2HPO_4 , 0.5g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.2g; NaCl, 0.1g; $FeCl_3 \cdot 6H_2O$; 1 gota de una solución al 10%; SO_4Mn , 1 gota de una solución al 10%; agar-agar, 15g; rojo congo, 5ml solución stock (0.5g en 200 ml de agua destilada) y agua destilada, (1000ml). Se sembraron diluciones seriadas del inoculante, por triplicado en placa y por la técnica de extensión en superficie. Se incubó a 28°C. El recuento se realizó a los 10 días después de la siembra. Para considerar la aptitud de los productos evaluados se tomó como parámetro de referencia los fijados en la Resolución N° 310/1994 del SENASA que establece que "... los inoculantes deben contener no menos de 1000 millones (10^9) de rizobios por g o ml de producto a la fecha de elaboración y no menos de 100 millones (10^8) por g o ml a la fecha de vencimiento...".

II: En invernáculo:

II.1. Evaluación de la infectividad por el porcentaje de plántulas noduladas.

Se inocularon las semillas según dosis recomendada por el fabricante y se sembraron 30 repeticiones por tratamiento en recipientes con vermiculita estéril como sustrato. Las plantas se regaron con solución nutritiva libre de nitrógeno y se mantuvieron bajo condiciones controladas de luz, temperatura y humedad. Se descalzaron las plántulas y se contaron los nódulos presentes. Se consideró apto aquel inoculante que a los 20 días de la emergencia presentó más del 80% de las plántulas de soja con 3 o más nódulos en la parte superior de las raíces (Resolución N° 310/1994 del SENASA)

II.2. Evaluación del comportamiento de los inoculantes frente a la población naturalizada del suelo.

Se condujeron 10 plantas en macetas, con suelo de la parcela testigo proveniente de la localidad de Cañada de Gómez. Presentaba una población naturalizada semejante a la de Clason (10^5 rizobios g^{-1} de suelo), pero condiciones químicas de suelo más limitantes para la FBN: 103 ppm de NO_3 y 18 ppm de P.

Esta experiencia tuvo una duración de 3 meses en condiciones controladas de luz, temperatura y riego y las plantas se cosecharon en estado R5.5 (Fehr y Caviness, 1977). Los tratamientos fueron dos inoculantes comerciales (I1, I2), la cepa testigo E 109 (I5) y el testigo o control sin inocular.

Como indicadores de efectividad se determinó: Número (N°) total de nódulos por planta (NTN); N° de nódulos en raíz principal (RP) y raíces secundarias (RS); peso seco de parte aérea de la planta (g); peso seco de vaina (g); peso seco total de la parte aérea de la planta (g) y Nitrógeno total (%) (Bremner y Mulvaney, 1882).

III. Ensayo a campo:

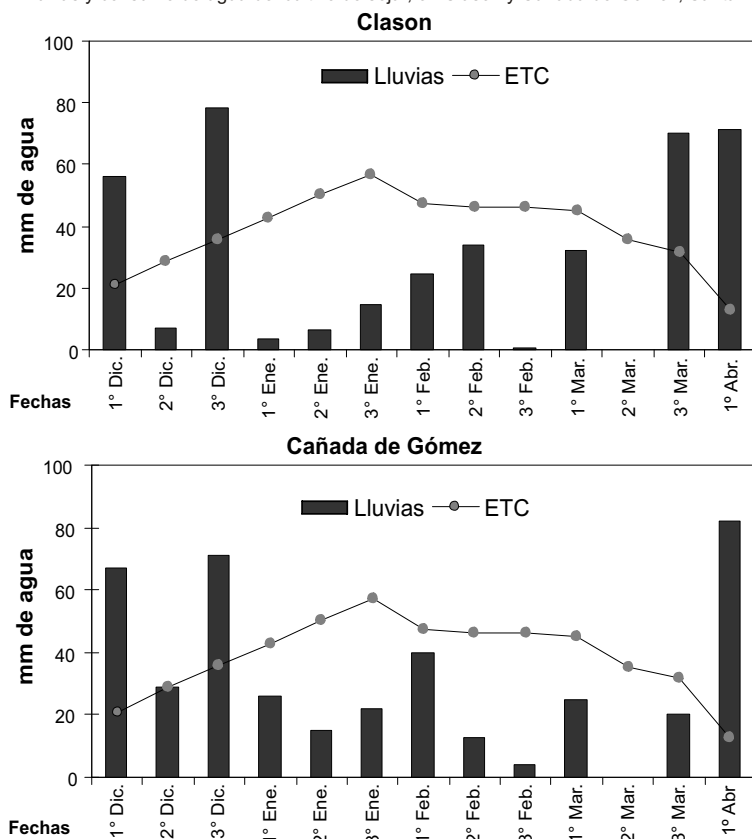
Estos ensayos se llevaron a cabo en lotes de productores en las localidades de Cañada de Gómez y Clason, Santa Fe. La Tabla 1 muestra la caracterización de los sitios experimentales de los ensayos a campo.

La Figura 1 detalla las precipitaciones decádicas registradas durante el ciclo de la soja para cada localidad y la evapotranspiración del cultivo (ETC), calculada con los valores de evapotranspiración (ETP) de Oliveros (por Penman) multiplicado por el correspondiente coeficiente de cultivo. Esto permite observar la intensidad de la demanda atmosférica del año y los períodos de sequía para las diferentes localidades.

Los cultivares de soja fueron A 6445 (GM VI) y A 5520 (GM V) en Cañada de Gómez y Clason respectivamente. La siembra se realizó en la primera semana de diciembre de 2003. El sistema de labranza fue siembra directa. El tamaño de parcela en Cañada de Gómez fue de 100 m de largo y 10 surcos de ancho y en Clason 250 m de largo y 7 surcos de ancho. En ambas localidades espaciados a 0,70 m.

Los tratamientos fueron inoculantes I₁, I₂, I₃, I₄, cepa E109 (I₅) y el testigo o control. El diseño fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

La inoculación se realizó a dosis de marbete, cumpliendo con las precauciones necesarias para lograr una inoculación exitosa,

Figura 1: Lluvias y consumo de agua del cultivo de soja , en Clason y Cañada de Gómez, Santa Fe.

disminuyendo al mínimo las condiciones extremas que puedan perjudicar la viabilidad del rizobio y los riesgos de contaminación entre productos. Todos los inoculantes fueron mezclados con fungicida recomendados por las respectivas empresas. La siembra se efectuó inmediatamente después del agregado del inoculante y fungicida a la semilla.

En ambas localidades, los suelos son de buena aptitud agrícola con prolongada historia sojera. Ambos suelos contenían al momento de la siembra del ensayo una población naturalizada de 10^5 rizobios g^{-1} de suelo.

Para la evaluación de la nodulación en las plantas de los ensayos a campo se extrajeron 45 plantas por tratamiento, en R5.5. Se tomaron diferentes submuestras conteniendo la totalidad de las plantas consecutivas que abarca la pala, a una profundidad de 20 cm y

descartando el primer surco lateral y 3 m de cabecera para evitar el efecto bordura. se separó la parte aérea y del sistema radicular y se trasladó al laboratorio en bolsas de polietileno y en heladera para el recuento de nódulos.

Como indicadores de efectividad se determinó: N° total de nódulos por planta, (NTN) N° de nódulos en raíz principal (RP) y raíces secundarias (RS), peso fresco y peso seco (g) de módulos; materia seca aérea total (g) (tallos + hojas + frutos) y contenido de nitrógeno (%) en tallos + hojas + frutos.

Se extrajeron de cada unidad experimental 4 muestras de $1m^2$ de plantas para la evaluación del crecimiento del cultivo, rendimiento y sus componentes, contenido de N en tejidos y granos, N° de granos por m^2 y peso de 1000 semillas, El rendimiento se expresó con el 13.5 % de humedad.

Resultados y Discusión

Recuento de rizobios viables y evaluación de la infectividad por el porcentaje de plántulas noduladas.

La Tabla 2 muestra la concentración estándar de rizobios por unidad de producto, expresada en unidades formadoras de colonias (ufc) g⁻¹ o ml⁻¹ de inoculante. Los inoculantes evaluados cumplieron con la concentración de rizobios por unidad de producto para el período de validez, fijados por el SENASA.

La calidad de un inoculante comercial puede ser evaluada por varias metodologías, incluyendo exámenes microscópicos, test de infección en plantas por el número más probable (NMP), tests inmunológicos y técnicas moleculares, entre otros. No obstante, la evaluación por el recuento en placa del número de rizobios viables es un índice apropiado para evaluar la potencialidad de un inoculante (Lupwayi *et al*, 2000). Es necesario contar con un elevado número de células por unidad de producto para garantizar, mediante una inoculación adecuada, una cantidad de 80.000 rizobios por semilla de soja de acuerdo a la Resolución 310/94 del SENASA. Permitirá una nodulación especialmente localizada en la zona del cuello de la planta y que a los 15 días de emergidas la mayoría de las plantas hayan nodulado (Peticari *et al*, 2003). No siempre un alto número de rizobios por unidad de producto, es suficiente para asegurar la calidad del inoculante, la reglamentación vigente fija además parámetros de infectividad por el porcentaje de plántulas noduladas.

Todos los inoculantes evaluados en este trabajo, cumplieron con los estándares exigidos por el SENASA para este parámetro.

Esto es coincidente con lo informado por Peticari *et al*, 2003 acerca de que en la actualidad el 80% de los productos comerciales presentan parámetros de calidad dentro de rangos internacionales, con alto número de bacterias g⁻¹ o ml⁻¹ de producto.

Evaluación del comportamiento de los inoculantes frente a la población naturalizada del suelo, en el ensayo en invernáculo.

No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados en este ensayo, ni en el NTN, ni en RP y RS. La relación RP/RS muestra que el número de nódulos en RP fue siempre menor que en RS en todos los tratamientos en el estado de planta R5.5 (Tabla 3).

Respecto al peso de la parte aérea de la planta no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. En el porcentaje de N en planta, los tratamientos I2 e I5 registraron valores superiores con respecto a I1 y al testigo. No obstante, esto no se tradujo en diferencias en el contenido de N en vainas que contenían semillas en pleno crecimiento (Tabla 4).

Ensayo a campo:

En Cañada de Gómez (Tabla 5), el N° de nódulos en RP y el NTN por planta fue mayor para los tratamientos I1 e I2, los demás inoculados registraron valores promedio iguales al testigo. Sólo el peso seco de nódulos en RS presentó diferencias significativas, siendo el testigo con población naturalizada el que presentó mayor peso seco, aunque había presentado menor N° de nódulos por planta.

Tabla 1: Caracterización del ambiente de los sitios experimentales: ubicación, tipo de suelo, historia agrícola y contenido de nutrientes a la siembra

	Cda de Gómez	Clason
Tipo de suelo	Argiudol típico	Argiudol típico
Años Agricultura	Mas de 20	15
Años de SD	8	6
Cultivo antecesor	Maíz	Maíz
% MO	3,04	3,18
% Nt	0,15	0,15
C/N	12,00	12,50
NO3 (ppm)	103,00	72,00
P Bray (ppm)	18,00	28,00
SO4 (ppm)	12,00	10,00
pH agua	5,95	5,90
pH potencial	4,80	4,78

Tabla 2: Concentración estándar de rizobios viables por unidad de producto, expresada en unidades formadoras de colonias (ufc) g⁻¹ o ml⁻¹ de inoculante.

Inoculante	Nº de rizobios viables
I1	3,9 x 10 ⁹ ufc ml ⁻¹
I2	2,6 x 10 ⁹ ufc ml ⁻¹
I3	1,5 x 10 ⁹ ufc g ⁻¹
I4	3,5 x 10 ⁹ ufc ml ⁻¹
I5	1,9 x 10 ⁹ ufc g ⁻¹

Tabla 3: Evaluación de la nodulación en plantas crecidas en invernáculo: recuento de nódulos en raíz principal (RP), raíces secundarias (RS) y Nº total de nódulos por planta (NTN). Relación en porcentaje del Nº de nódulos en RP y RS (RP/RS) por planta.

Tratamiento	Nº de nódulos por planta			RP / RS (%)
	RP	RS	NTN	
I1	9	38	48	19 / 81
I2	13	30	43	30 / 70
I5	13	35	48	27 / 73
Testigo	11	42	53	21 / 79
Valores de F (p<0.05)	NS	NS	NS	

NS: no significativo

Tabla 4: Evaluación del comportamiento de los inoculantes frente a la población naturalizada del suelo, en el ensayo en invernáculo: Peso seco (g) y contenido de Nitrógeno (%) en el estado fenológico R5.5.

Tratamiento	Peso seco parte aérea de la planta (g)			Contenido de N (%)	
	Peso seco planta	Peso seco vaina	Peso seco total	% N en planta	% N en vaina
I1	2,13	0,65	2,78	1,69 c	3,58
I2	2,50	0,68	3,18	1,90 ab	3,52
I5	2,57	0,87	3,44	2,16 a	3,51
Testigo	2,40	0,70	3,10	1,74 bc	3,68
Valores de F (p<0.05)	NS	NS	NS	S	NS

S: letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.
NS: no significativo**Tabla 5:** Evaluación de la nodulación por planta en el ensayo de Cañada de Gómez: recuento de nódulos en raíz principal (RP), raíces secundarias (RS) y Nº total de nódulos por planta (NTN). Peso fresco y Peso seco (g) de nódulos por planta en el estado fenológico R5.5.

Tratamiento	Cañada de Gómez									
	Nº de nódulos por planta			Peso fresco de nódulos (g)			Peso seco de nódulos (g)			
	RP	RS	NTN	RP	RS	Totales	RP	RS	Totales	
I1	20 a	20	39 a	0,20	0,28	0,44	0,06	0,07	ab	0,12
I2	21 a	18	39 a	0,25	0,13	0,38	0,07	0,03	b	0,10
I3	18 ab	18	35 ab	0,19	0,20	0,38	0,05	0,04	b	0,09
I4	14 bc	18	32 b	0,35	0,26	0,61	0,09	0,06	b	0,14
I5	15 abc	17	32 b	0,24	0,10	0,34	0,06	0,08	ab	0,14
Testigo	13 c	18	31 b	0,36	0,16	0,52	0,10	0,13	a	0,22
Valores de F (p<0.05)	S	NS	S	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS

S: letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.
NS: no significativo

En Clason (Tabla 6), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el Nº de nódulos en RP. En Nº de nódulos en RS y NTN, los valores mayores correspondieron en general a los inoculados, siendo el testigo el que menor número presentó. El Nº de nódulos en RP fue notablemente menor a los registrados en raíces secundarias. Solamente se observaron diferencias significativas en peso fresco en RP, siendo el testigo el que menor peso registró.

En Clason el Nº de nódulos por planta registrado en el estadio R5.5 son coincidentes a lo informado por Peticari *et al*, 2003 que considera que una adecuada nodulación presenta en el estado reproductivo R5-R6 al menos 12 nódulos en RP y entre 40 y 50 nódulos por planta. En la localidad de Cañada de Gómez, el promedio del NTN es algo inferior a lo considerado adecuado por dichos autores, registrándose valores entre 30 y 40 nódulos por planta. En cuanto al peso seco de

Tabla 6: Evaluación de la nodulación por planta en el ensayo de Clason: recuento de nódulos en raíz principal (RP), raíces secundarias (RS) y N° total de nódulos por planta (NTN). Peso fresco y Peso seco (g) de nódulos por planta en el estado fenológico R5.5.

Tratamiento	N° de nódulos por planta			Peso fresco de nódulos (g)			Peso seco de nódulos (g)		
	RP	RS	NTN	RP	RS	Totales	RP	RS	Totales
I1	17	32 ab	49 ab	0,41 a	0,31	0,71	0,10	0,07	0,17
I2	18	39 ab	56 ab	0,41 a	0,42	0,83	0,10	0,06	0,16
I3	18	38 ab	56 ab	0,31 b	0,27	0,58	0,10	0,07	0,17
I4	19	41 a	60 a	0,40 ab	0,32	0,72	0,11	0,11	0,22
Testigo	17	29 b	47 b	0,30 b	0,36	0,66	0,08	0,1	0,18
Valores de F (p<0.05)	NS	S	S	S	NS	NS	NS	NS	NS

S: letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.
NS: no significativo

nódulos por planta, en nuestros ensayos, en todos los tratamientos los valores se encuentran muy por debajo al óptimo, fijado por los mismos autores en 800 mg por planta.

La bibliografía plantea que la nodulación en RP es una característica cualitativa que suele ser de utilidad para determinar la calidad de la nodulación y que los nódulos presentes en RP han sido formados por las cepas introducidas con el inoculante en las primeras etapas del cultivo, mientras que los de RS son colonizados por cepas naturalizadas y son mas numerosos, de menor tamaño y con menor actividad fijadora (Papakosta, 1992; Díaz Zorita *et al*, 1999, Fernandez Canigia, 2003). En nuestro estudio, los patrones de nodulación respondieron a los de un suelo con buena dotación de población naturalizada y son coincidentes con lo informado por otros autores para la región sojera núcleo (Toresani *et al*, 2006;; Ventimiglia *et al*, 2003; Díaz Zorita *et al*, 1999).

El NTN promedio por planta fue mayor para Clason (56) que para Cañada de Gómez (34), atribuible a las diferencias en el contenido de nitratos en el suelo (Tabla 1). Altas concentraciones de nitratos inhiben el proceso de infección, el desarrollo de los nódulos y la expresión de la actividad nitrogenasa ya que la FBN es un proceso energéticamente muy costoso para la planta (Gonzalez, 2006; Racca *et al*, 2005; Perticari *et al*, 2003).

Las Tablas 7 y 8 muestran los valores de crecimiento, rendimiento y sus componentes y el contenido de N en tejidos y granos de soja para ambas localidades. No se observaron diferencias en ninguna de las variables analizadas. Si bien el cultivo, registró un buen crecimiento vegetativo con una intercepción del 95% de la radiación en R3 en todos los

tratamientos (datos no mostrados), los rendimientos fueron bajos en relación a los promedios para la zona, atribuible a la ocurrencia de sequías intermitentes de diferente intensidad y duración durante todo el ciclo del cultivo. En Cañada de Gómez fue más intensa que en Clason para la etapa reproductiva. Si se analizan los resultados entre localidades, se observa un mayor contenido promedio de N en semilla en Cañada de Gómez (6,6%) con respecto a Clason (5,9%) esto se atribuye al bajo rendimiento y fundamentalmente al bajo peso unitario de las semillas.

Una buena inoculación, aún con inoculantes de buena calidad no siempre resulta en un aumento demostrable en la nodulación y los rendimientos. Esta falta de respuesta es común cuando el suelo cuenta con una elevada población de rizobios infectivos o cuando el N disponible no es limitante (Lupwayi *et al*, 2000; Giller *et al*, 1995).

Ante la falta de respuesta en los rendimientos en suelos con población establecida, existe una tendencia a suspender la inoculación. Estudios han demostrado que los rizobios que se naturalizan van perdiendo eficiencia en la fijación del N₂, pero mantienen una alta capacidad para formar nódulos. Por otra parte con incrementos mínimos del 5 al 10% en los rendimientos es una razón suficiente para inocular (Perticari *et al*, 2003). Otros autores consideran que no se puede generalizar el concepto que todas las cepas naturalizadas son ineficientes o han perdido atributos asociados a la FBN. No obstante no es prudente desaconsejar la inoculación, debido a que factores ambientales adversos como sequías o inundaciones o el uso excesivo de agroquímicos pueden disminuir el N° de rizobios presentes en el suelo (Gonzalez, 2006).

Tabla 7: Cañada de Gómez: Evaluación del crecimiento en Kg ha⁻¹ de materia seca (MS), rendimiento (Kg ha⁻¹) y sus componentes (Nº de semillas m⁻² y peso de 1000 semillas (PMS)) y contenido de nitrógeno en tejido y en granos (%), en R5.5.

Cañada de Gómez							
Tratamientos	MS Kg ha ⁻¹	% N Tallos + Hojas	% N Frutos	Rendimiento Kg ha ⁻¹	Nº Sem m ⁻²	PMS	% N Grano
I1	6.594	2,26	3,89	1948	1.561	124	6,67
I2	6.792	2,34	3,98	1999	1.599	126	6,70
I3	6.550	2,18	3,81	1918	1.585	122	6,59
I4	6.516	2,15	4,02	1928	1.554	123	6,47
I5	6.238	2,22	3,88	1918	1.598	122	6,43
Testigo	6.546	2,18	3,90	1887	1.509	126	6,61
PROMEDIO	6.538	2,19	3,89	1933	1.571	125	6,61
Valor de F (P < 0.05 %)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV %	4,10	3,50	5,10	4,42	3,9	2,9	2,4

Tabla 8: Clason: Evaluación del crecimiento en Kg ha⁻¹ de materia seca (MS), rendimiento (Kg ha⁻¹) y sus componentes (Nº de semillas m⁻² y peso de 1000 semillas (PMS)) y contenido de nitrógeno en tejido y en granos (%), en R5.5.

Clason							
Tratamiento	MS Kg ha ⁻¹	% N Tallos + Hojas	% N Frutos	Rendimiento Kg ha ⁻¹	Nº Sem m ⁻²	PMS	% N Grano
I1	5.728	2,65	3,83	2.423	1.615	149	6,04
I2	5.914	2,64	3,71	2.470	1.630	150	5,87
I3	5.722	2,63	3,66	2.483	1.605	148	5,96
I4	5.730	2,71	3,72	2.527	1.678	149	5,82
Testigo	5.552	2,76	3,65	2.518	1.695	148	5,89
PROMEDIO	5.729	2,68	3,71	2.484	1.645	149	5,92
Valor de F (P < 0.05 %)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV %	4,60	3,30	3,10	4,4	3,6	1,9	1,9

NS: no significativo

Agradecimientos

A la Ing Agr. Julia Capurro (AER Cañada del INTA) y José María Mendez (AER Totoras del INTA) por haber colaborado en la siembra, cuidados de los ensayo y en la cosecha de los mismos.

Bibliografía

- BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S.** 1982. In: Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Page A.L., Miller R.H, Keeney D.R (Eds). American Society of Agronomy Madison, WI, USA. p 595-624.
- BROCKWELL, J.; BOTTOMLEY, P. Y THIES, J.E.** 1995. Manipulation of rhizobia microflora for improving legume productivity and soil fertility. *Plant and Soil* 174: 143-180.
- DÍAZ ZORITA, M. Y FERNÁNDEZ CANIGIA, M.V.** 1999. Patrones de nodulación de soja en relación con propiedades de suelo bajo tres sistemas de labranza. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 104 (1) p 53-60.
- FEHR, W.R. & CAVINESS, C.E.** 1977. Stages of soybean development. Iowa State Univ. Special Report 80.
- FERNÁNDEZ CANIGIA, M.V.** 2003. Factores determinantes de la nodulación. 1º Ed. Bs.As. Nitragin Arg. ISBN 987-21058-0-4.
- GILLER, K.E. Y CADISH, G.** 1995. Future benefits from biological nitrogen fixation: An ecological approach to agriculture. *Plant and Soil* 174: 255-277.
- GONZÁLEZ, N.; PERTICARI, A.; STEGMAN, B. Y RODRÍGUEZ CÁCERES E.** 1997. Nutrición nitrogenada. En: Giorda L.M.y Baigorri, H.E.J. (Eds.). El cultivo de la soja en Argentina. INTA, Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez- EEA. p. 188- 198.
- GONZÁLEZ, N.** 2006. Fijación de nitrógeno en soja. 3º Congreso de Soja del Mercosur, Workshop de Fijación Biológica de nitrógeno. Rosario. p.335.
- GONZÁLEZ, N.** Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN) en soja. Cómo elegir el mejor inoculante comercial. [www.fertilizando.com/articulos/Fijación Biológica del Nitrógeno](http://www.fertilizando.com/articulos/Fijación%20Biológica%20del%20Nitrógeno).
- HUNGRÍA, M.** 2006. A importância da fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja: uma história de sucesso na América do sul. 3º Congreso de Soja del Mercosur, Workshop de Fijación Biológica de nitrógeno. Rosario. p.336 - 338.
- LUPWAYI, N.Z.; OLSEN, P.E.; SANDE, E.S.; KEYSER, H.H.; COLLINS, M.M.; SINGLETON, P.W. Y RICE, W.A.** 2000. Inoculant quality and its evaluation. *Field Crops Research*, 65: 259-270.
- PAPAKOSTA, D.K.** 1992. Effect of inoculant rate on nodulation and various agronomic traits of soybean. *Journal Agronomy & Crop Science*, 168: 238-242
- PERTICARI, A.; ARIAS, N.; BAIGORRI, H.; DE BATTISTA, J.J.; MONTECCHIA, M.; PACHECO BASURCO, J.C.; SIMONELLA, A.; TORESANI, S.; VENTIMIGLIA, L. Y VICENTE, R.** 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. En: El libro de la soja. Buenos Aires. Servicios y Marketing Agropecuario, p.69-76.
- PERTICARI, A.** 2005. Inoculación de calidad para un máximo aprovechamiento de la FBN. Congreso Mundo Soja. Buenos Aires. p. 121-126
- RACCA, R.W. Y COLLINO, D.J.** 2005. Bases fisiológicas para el manejo de la fijación biológica del nitrógeno en soja. Congreso Mundo Soja. Buenos Aires. p. 111-120.
- TORESANI, S.; PERTICARI, A.; SANCHEZ, M.E. Y GIUBILEO, G.** 2006. Evaluación de cepas de rizobios para inocular soja en Zavalla, Santa Fe. 3º Congreso de Soja del Mercosur, Rosario. p.626-628.
- VENTIMIGLIA, L.; CARTA, H.; RILLO, S. Y RICHMOND, P.** 2003. Sistema de inoculación en soja. En: Experimentación en campos de productores. Resultados campaña 2002/2003. Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa 9 de julio. p 131-135.