

TRATAMIENTOS DE SEMILLA EN SOJA

EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS CONTENIENDO *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM*, MICORRIZAS Y ZINC

Ing. Agr. (MSc) Gustavo N. Ferraris

INTA EEA Pergamino.

Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino

ferraris.gustavo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

La práctica de la inoculación de semillas con productos de alta calidad y técnicas de inoculación apropiadas, en suelos con historia sojera y poblaciones naturalizadas de 10^2 a 10^5 rizobios g^{-1} suelo permite incrementos moderados de rendimientos del 5 al 10%, el "ahorro" del N mineral del suelo, 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 (Hungria, 2006; Peticari et al, 2003).

El mayor éxito en cuanto a la implementación de prácticas agrícolas sustentables vinculadas con la FBN ha sido el desarrollo de los inoculantes para leguminosas, a base de cepas rizobianas. Los inoculantes son insumos 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 una primera instancia, los efectos de la inoculación 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 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). Otros microorganismos actúan como acompañantes de los rizobios promoviendo la solubilización de nutrientes, el control de patógenos y fomentando altas tasas de crecimiento, lo que permite en reiteradas ocasiones efecto aditivos sobre los generados por el Rhizobium.

La presencia junto a *Bradyrhizobium japonicum* (BJ) de Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (PGPM) otorga diversos efectos favorables dentro de los que se cuentan: 1. Incremento en el crecimiento temprano de la planta. 2. Mayor tolerancia a patógenos como Rhizoctonia, Fusarium y Aspergillus, por una activación de las defensas naturales de las plantas. La mayor tolerancia de las plantas a patógenos a causa de un mejor estado nutricional ha sido denominada *trofobiosis*, y se han postulado varios mecanismos fisiológicos para explicarla 3. Mayor tolerancia a plagas, por una activación de mecanismos propios de defensa y repelencia. 4. Solubilización y adquisición facilitada de agua y nutrientes, especialmente aquellos de bajo movilidad como fósforo (P). Posiblemente este sea el principal efecto asociado a las micorrizas y 5. Incremento en la tasa de crecimiento en etapas críticas del cultivo, lo cual se manifiesta en mayores rendimientos.

Los objetivos de este trabajo fueron Cuantificar el efecto sobre la nodulación, el crecimiento, la acumulación de N y el rendimiento de un grupo de tratamientos biológicos que combinan *Bradyrhizobium japonicum* con promotores de crecimiento y zinc. Hipotetizamos que 1. Los inoculantes conteniendo *Bradyrhizobium japonicum* incrementan los rendimientos de soja al permitir mayor disponibilidad de N y 2. La FBN y el rendimiento pueden ser optimizados por el efecto aditivo de mejores formulaciones, otros microorganismos que inducen el crecimiento, la absorción de fósforo y cubren crecientes carencias nutricionales de microelementos

Palabras clave: Soja, fijación de nitrógeno, tratamientos de semilla, PGPM, micronutrientes

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2014/15, se condujo un ensayo de campo en soja de primera en Pergamino (Bs As), sobre un suelo Serie Pergamino (Argiudol típico, IP=85,5). La variedad elegida fue FN 4.5 RR, en hileras espaciadas a 0,525 cm. La siembra se realizó el 12 de Diciembre. Durante el ciclo se realizaron tres aplicaciones de Glifosato, y una aplicación de fungicida en R4. Se utilizaron insecticidas para prevenir el ataque de oruga bolillera y chinches. Las parcelas se mantuvieron totalmente libres de malezas y plagas.

El experimento fue conducido con un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los detalles de los tratamientos evaluados se describen en la Tabla 1. Por su parte, el análisis del suelo del sitio se presenta en la Tabla 3.

Tabla 1: *Tratamientos de inoculación evaluados en el Experimento. Soja, Pergamino, campaña 2014/15.*

Trat	Inoculante	Curasemilla	Micronutriente
T1	Testigo		
T2	Crinigan Soja (8 g/kg)	Thiram-Carbendazim + Metalaxil (2,5 + 1 ml/kg)	
T3	Crinigan Soja (8 g/kg)	Thiram-Carbendazim + Metalaxil (2,5 + 1 ml/kg)	Basfoliar Zinc (semilla) (2 ml/kg)
T4	Crinigan Soja (8 g/kg)	Thiram-Carbendazim + Metalaxil (2,5 + 1 ml/kg)	Basfoliar Zinc (foliar) (1000 ml/ha)
T5	Crinigan Soja (8 g/kg)	Thiram-Carbendazim + Metalaxil (2,5 + 1 ml/kg)	Basfoliar Zinc (semilla + foliar) (2 ml/kg + 1000 ml/ha)

Tabla 2: *Análisis de suelo al momento de la siembra, promedio de cuatro repeticiones.*

Prof	pH		Materia Orgánica	N total	Fósforo disponible	N-Nitratos (0-20) cm	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-20 cm
	agua 1:2,5		%		mg kg ⁻¹	ppm	kg ha ⁻¹	ppm
0-20	5,5		3,28	0,164	17,9	14,0	56,0	11,4
	Calcio	Magnesio	Potasio	Zinc	Manganeso	Cobre	Hierro	Boro
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0-20	1397	201	493	0,78	51,8	1,37	96,8	0,42

Se recontaron plantas, y en el estado V3 se realizó una evaluación de infectividad, considerando infectivas aquellas plantas con más de tres nódulos activos y morfológicamente normales. En R4 se cuantificó el número de nódulos efectivos en raíz principal (RP) y raíz secundaria (RS), sobre cinco plantas de cada parcela. Posteriormente, se pesaron los nódulos y se determinó la distribución entre RP y RS. Cualitativamente, se evaluó su funcionalidad a través del color y su tamaño. En el mismo estado, se realizó una estimación indirecta del contenido de N por medio del sensor Green seeker, la cobertura mediante procesamiento con software específico de imágenes digitales, y el vigor a través de un índice cuantitativo de calidad del cultivo. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz. Sobre una muestra de cosecha se determinó la altura de las plantas, el número de vainas y los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (PG) de los granos. Los resultados fueron analizados por partición de la varianza, comparaciones de medias y análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA CAMPAÑA

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones determinadas en el sitio experimental y la evapotranspiración del cultivo, así como el balance hídrico decádico. La campaña se desarrolló bajo condiciones ambientales muy favorables, con precipitaciones abundantes y temperaturas moderadas. El balance hídrico no evidenció déficit en ningún estado fenológico (Figura 1).

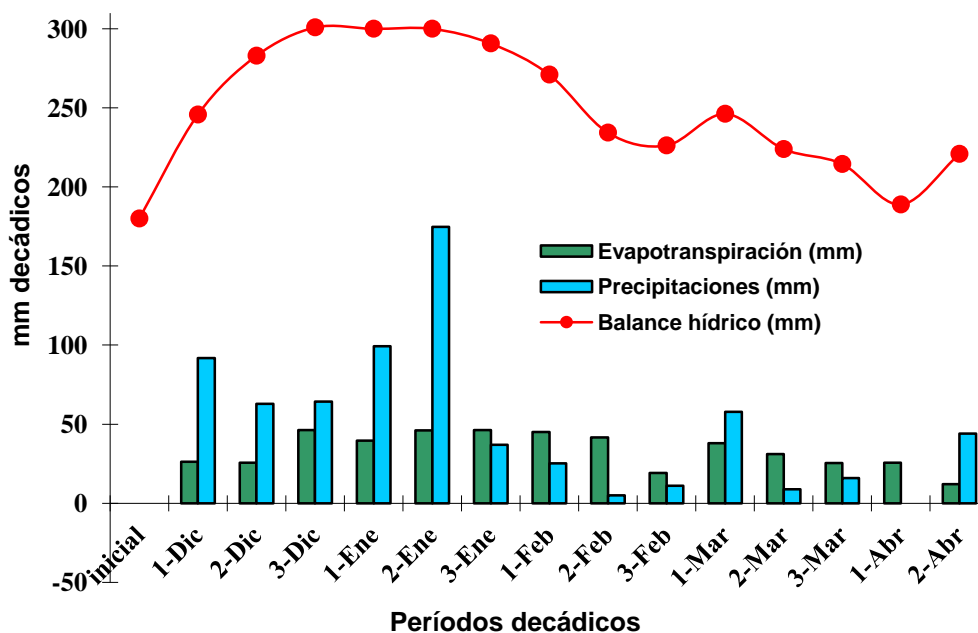


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico considerando 1,4 m de profundidad. Pergamino, campaña 2013/14. Precipitaciones totales en el ciclo 698,1 mm. AU inicial (160 cm) 180 mm. Déficit acumulado 0 mm.

B) RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Una caracterización de la nodulación se presenta en la Tabla 3, mientras que las variables de cultivo cuantificadas en el experimento y los componentes del rendimiento se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 3: Inefectividad, Nódulos x planta en raíz principal (NRP) y raíz secundaria (NRS), proporcionalidad en RP, funcionalidad determinada por coloración y tamaño de los nódulos. Tratamientos de inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* (Bj), micorrizas y zinc. Pergamino, campaña 2014/15.

Trat	Tratamientos	Infectividad V3	NRP	NRS	Tamaño	%RP
T1	Testigo	100	15	10	M	66
T2	Micorrizas + Metalaxil	100	10	>20	G	60
T3	Micorrizas + Metalaxil + BasfZn (s)	100	17	7	G	70
T4	Micorrizas + Metalaxil + BasfZn (f)	100	17	>20	M	65
T5	Micorrizas + Metalaxil + BasfZn (s + f)	100	18	12	M	70
R ² vs rendimiento			0,06	0,11		0,23

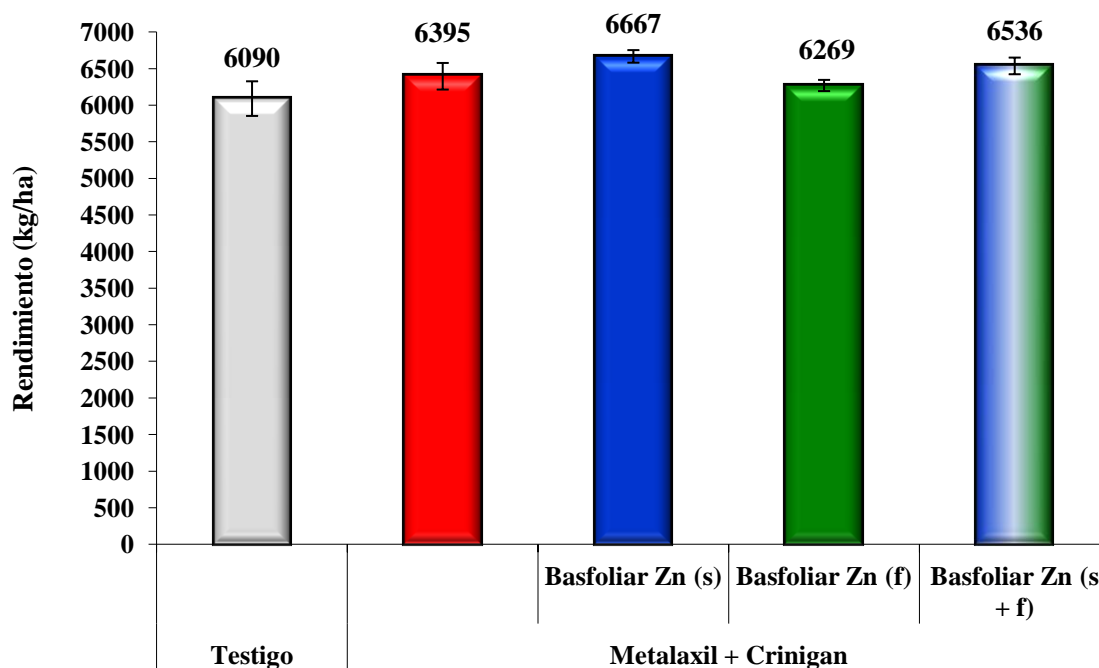
V3: Estado de 3 hojas expandidas. Nódulos rojos indica funcionales
M: nódulos medianos. G: nódulos grandes, GG: nódulos muy grandes.

Tabla 4: Densidad, altura de planta (cm), cobertura e intercepción, vigor índice verde (Green seeker), número de nudos y vainas, rendimiento de grano, componentes y respuesta sobre el testigo. Tratamientos de inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* (Bj), Promotores de crecimiento vegetal, fungicidas y protectores bacterianos en Soja. Pergamino, campaña 2014/15.

Trat.	Plantas / m ²	Altura (cm)	Intercepción	Vigor (1-5)	Green Seeker R4	Nudos/planta	Vainas/planta	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	NG	PG	Dif. sobre T1 (kg ha ⁻¹)
T1	31,3	95	86,4	3,15	0,85	15	51	6089,6	3296,3	169,3	0,0
T2	28,8	103	87,3	3,35	0,83	15	56	6395,1	3425,9	186,7	305,5
T3	42,5	104	87,5	3,50	0,84	16	55	6666,7	3816,8	174,7	577,1
T4	41,3	120	85,3	3,30	0,83	15	52	6269,0	3658,9	171,3	179,4
T5	35,0	110	87,3	3,55	0,84	16	65	6536,5	3565,3	183,3	446,9
R2 vs rend	0,20	0,04	0,49	0,90	0,17	0,73	0,37		0,58	0,24	
P=								0,41			
Cv (%)								8,8			

R4 (vaina de máximo tamaño) de acuerdo a la escala de Fehr y Caviness, 1974.

Índice de Vigor: Según escala 1: mínimo – 5: máximo. Evalúa Sanidad, tamaño de planta y uniformidad de las parcelas.



Tratamientos de Intensificación

Figura 2: Rendimiento de grano de soja como resultado de diferentes combinaciones de tratamientos de inoculación conteniendo *Bradyrhizobium japonicum* (Bj), Micorrizas y zinc. Pergamino, campaña 2014/15. Las barras de error indican la desviación standard de la media.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

* Las condiciones ambientales fueron muy propicias para la FBN y el crecimiento del cultivo, determinando rendimientos elevadísimos para fechas de diciembre, que superaron aun a las de noviembre. El promedio del ensayo arrojó un rendimiento de 6391,4 kg ha⁻¹ abarcando un rango de 6089,6 a 6666,7 kg ha⁻¹.

* Se determinaron diferencias en los rendimientos agrónomicamente relevantes, pero no alcanzaron la significancia estadística ($P < 0,39$; $cv = 6,7\%$) (Tabla 4). Un ensayo como el corriente con 12 grados de libertad (producto de 5 tratamientos y cuatro repeticiones) genera una diferencia mínima significativa ($LSD \alpha = 0,05$) de $660,2 \text{ kg ha}^{-1}$, que podría superar la respuesta esperable a la inoculación en soja.

* Se visualizaron algunas tendencias sobre los rendimientos que vale la pena resaltar. La inoculación por sí sola originó incrementos de $305,5 \text{ kg ha}^{-1}$. El aporte adicional de Zn sobre semilla permitió estirar esta diferencia a $577,1 \text{ kg ha}^{-1}$. La aplicación de Zn fue más exitosa sobre semilla, en comparación con los tratamientos foliares. Esto verifica compatibilidad entre *Bj*, micorrizas y Zn, cuestión que generaba interrogantes ya que se considera al Zn un bactericida. Es probable que las formulaciones que soportan al inoculante (dolomita y micorrizas esporuladas) y Zn (un óxido floable) favorezcan esta coexistencia.

* Las variables de mayor impacto y asociación con los rendimientos fueron la evaluación subjetiva de Vigor ($R^2 = 0,90$), N° nudos/planta ($R^2 = 0,73$), NG ($R^2 = 0,58$), cobertura e intercepción ($R^2 = 0,49$) (Tabla 4).

* Los resultados obtenidos permiten aceptar parcialmente las hipótesis propuestas. La inoculación con *BJ* y micorrizas aumentó los rendimientos en $305,5 \text{ kg ha}^{-1}$, alcanzando a $577,1 \text{ kg ha}^{-1}$ cuando fue acompañado por Zn. En este experimento, se identificó además al tratamiento de semilla como la vía más apropiada para la provisión de Zn al cultivo de soja.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

* BENINTENDE, S.; UHRICH, W.; HERRERA, M.; GANGE, F.; STERREN, M.; BENINTENDE, M. (2010). Comparación entre coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* e inoculación simple con *Bradyrhizobium japonicum* en la nodulación, crecimiento y acumulación de N en el cultivo de soja. *Agriscientia* 27: 71-77.

* González, N. 2006. Fijación de nitrógeno en soja. 3° Congreso de Soja del Mercosur, Workshop de Fijación Biológica de nitrógeno. Rosario. p.335.

* González, N. 2004. 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).

* Harman, G. E. 2001. Microbial tools to improve crop performance and profitability and to control plant diseases. Pages 4-1-4-14 in: Int. Sympos. Biol. Control Plant Dis. New Century-Mode Action Application Technol.

* Howell, C. R. 2002. Cotton seedling preemergence damping-off incited by *Rhizopusoryzae* and *Pythium* spp. and its biological control with *Trichoderma* spp. *Phytopathology* 92:177-180.

* Howell, C. R., Hanson, L. E., Stipanovic, R.D., and Puckhaber, L. S. 2000. Induction of terpenoid synthesis in cotton roots and control of *Rhizoctonia solani* by seed treatment with *Trichoderma virens*. *Phytopathology* 90:248-252.

* Hungria, M. 2006. A importância da fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja: uma história de sucesso na América do sul. 3° Congreso de Soja del Mercosur, Workshop de Fijación Biológica de nitrógeno. Rosario. p.336 - 338.

* Peticari, 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.

* PIETRARELLI, L.; ZAMAR, J.; LEGUÍA, H.; ALESSANDRIA, E.; SÁNCHEZ, J.; ARBORNO, H.; LUQUE, S. (2008). Efectos de diferentes prácticas de manejo en la nodulación y en el rendimiento del cultivo de soja. *Agriscientia* 25: 81-87.

- * RACCA, R. (2003). Algunos conceptos sobre la fijación biológica del nitrógeno en cultivos. IV Reunión Nacional Científico Técnica de Biología de Suelo y IV Encuentro de Fijación Biológica del Nitrógeno. Termas de Río Hondo, Santiago del Estero.
- * SALVAGIOTTI, F. (2009). Manejo de soja de alta producción. En: Resumen XVII Congreso AAPRESID”, La Era del Ecoprogreso”. Rosario, Argentina. 79-85.
- * Toresani, S., M. Bodrero y J.M. Enrico. 2007. Comportamiento de inoculantes para soja en la zona sur de la Provincia de Santa Fe, Argentina. Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. Año 2007, Número XI.