

INTERACCIÓN ENTRE MICROORGANISMOS FIJADORES DE NITRÓGENO Y PROMOTORES DE CRECIMIENTO (PGPM) EN SOJA

I. *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*

EFFECTOS SOBRE LA NODULACIÓN, EL RENDIMIENTO Y SU INTERACCIÓN CON PRÁCTICAS DE MANEJO

Proyecto Regional Agrícola. Campaña 2010/11

Ings. Agrs. Gustavo Ferraris y Lucrecia Couretot

Proyecto Regional Agrícola-CRBAN. UCT Agrícola - Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino.

Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

El Nitrógeno (N) es el elemento que presenta mayor demanda por parte del cultivo de soja, y la fijación biológica del nitrógeno (FBN) atmosférico el principal medio para abastecerlo, motivo por el cual este proceso debe ser optimizado. Con este fin, en las últimas campañas se han desarrollado inoculantes cuya formulación permite al *Bradyrhizobium* 1. Soportar condiciones de estrés y posibilitar la preinoculación. 2. En ocasiones, aportar otros géneros y especies de microorganismos con efecto antipatogénico y promotor de crecimiento (PGPM), complementario a la FBN.

Los objetivos de este trabajo fueron 1) Cuantificar el efecto sobre la nodulación y el rendimiento de tratamientos con inoculantes que contienen *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* y posibles efectos sinérgicos de la sumatoria entre ambos 2) Estudiar la interacción con otras prácticas de cultivo como la fertilización fósforo-azufrada (PS). Hipotetizamos que 1. La inoculación con bacterias fijadoras de N incrementa el rendimiento de soja, aún en ambientes con prolongada historia de Soja. 2. La inclusión de *Azospirillum brasilense* permite lograr efectos aditivos a la FBN, impactando en la tasa de crecimiento y sanidad del cultivo y, como consecuencia, en los rendimientos y 3. La fertilización con PS favorece la nodulación y respuesta en rendimiento generando interacciones positivas entre tecnologías.

Palabras clave: Soja, *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense*, nodulación, rendimiento

Materiales y métodos:

El ensayo se implantó en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, fase ligeramente erosionada, de muy buena productividad. Los tratamientos fueron aplicados en soja de primera. La siembra se realizó el día 26 de noviembre. La variedad fue Nidera A 4613 RG, en hileras espaciadas a 0,32 m. El sitio experimental registra una rotación agrícola continua con varios cultivos de soja en la secuencia.

El diseño del ensayo correspondió a bloques completos al azar con cuatro repeticiones y tratamientos dispuestos en arreglo factorial (2 x 2 x 2) siendo los factores: 1. Inoculación con bacterias fijadoras del género *Bradyrhizobium japonicum*, 2. Inoculación con el Promotor de Crecimiento *Azospirillum brasilense* y 3. fertilización fósforo azufrada 1. PS 0 kg ha⁻¹ y 2. PS 100 kg ha⁻¹ de una mezcla física de composición (0-17-0-S7). Los tratamientos evaluados se detallan en la Tabla 1. Los inoculantes utilizados fueron Nitrasoil – L acuoso, el cual soporta bacterias del género

Bradyrhizobium japonicum, y Graminosoil-L, que contiene al menos 1×10^9 bacterias de *Azospirillum brasilense* por mililitro de inoculante.

Tabla 1: Tratamientos de Inoculación y fertilización fósforo-azufrada evaluados en el ensayo. Soja. Pergamino, campaña 2010/11.

Tratamientos	Tratamientos con Fijadores de N	Tratamientos con PGPM	Niveles de fertilización
T1	Testigo	Testigo	PS0: Testigo sin fertilización PS100: Fertilizado 100 kg ha⁻¹ Mezcla 0-17-0-S7
T2	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	-----	
T3	-----	<i>Azospirillum brasilense</i>	
T4	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	<i>Azospirillum brasilense</i>	

Previo a la siembra, se realizó un análisis químico de suelo por bloque, cuyos resultados promedio se expresan en la Tabla 2.

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		3,7	0,185	19,7	22,6	35	7,7
	Magnesio	Potasio	Calcio	Zinc	Manganeso	Cobre	Hierro	Boro
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0-20	203	609	1706	0,79	60,2	1,35	86,4	1,53
20-40								0,92

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 (Nº) y el peso seco (PS) de los nódulos en raíz principal (RP) y secundaria (RS), sobre cinco plantas de cada parcela. Posteriormente se pesaron sus raíces y se determinó la nodulación específica (PSE), como peso seco de nódulo por unidad de peso de raíz. En el mismo estado, se realizó una estimación indirecta del contenido de N por medio del medidor de clorofila Minolta Spad 502, 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.

Resultados y discusión

a) Ambiente climático en el sitio experimental

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones determinadas en el sitio experimental y la evapotranspiración del cultivo, así como el balance hídrico decádico. Aun soportando un breve período de estrés inicial, las precipitaciones fueron abundantes alcanzando en el ciclo de cultivo a 581,6 mm. Esto permitió almacenar reservas durante enero, por lo que el cultivo no tuvo déficit de allí en adelante.

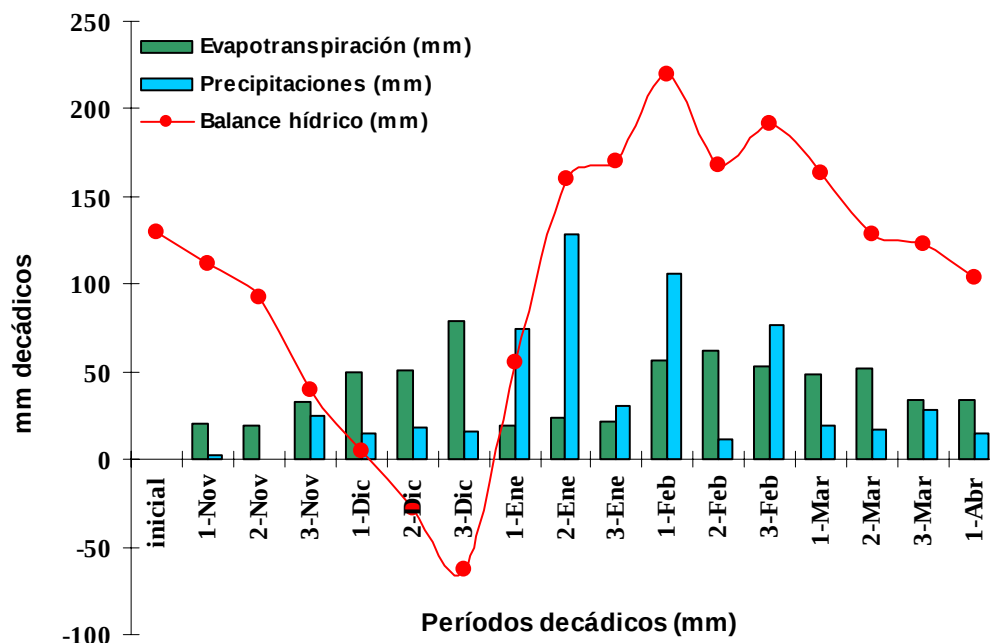


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos considerando 2 m de profundidad. Pergamino, Bs As, campaña 2010/11. Precipitaciones totales 581,6 mm. Déficit acumulado 91 mm.

b) Resultados de los experimentos

En la Tabla 3 se presentan las variables relacionadas con la nodulación. En todos los casos, se detectó una alta performance de los tratamientos inoculados con *Bradyrhizobium japonicum*, destacándose sobre el resto.

Tabla 3: Número de nódulos (Nº) por planta en raíz principal (RP) y raíz secundaria (RS), plantas con nodulación concentrada mayormente en raíz principal (%), peso seco (PS) de nódulos en RP, PS de raíces y nodulación específica (PSE) (mg nódulo / g raíz) de los tratamientos evaluados en el ensayo. Para cada variable, en una misma dosis de fertilizante, en negrita se destaca el mejor tratamiento. Inoculación con *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense* y fertilización fósforo-azufrada en Soja. Pergamino, campaña 2010/11.

Trat	Fertilización	Infecti vidad V3	Nº RP	Nº RS	Plantas con Nod > RP (%)	PS (g/m2)	PS x raíz (g)	mg nódulo / g de raíz
T1	PS 0	100	10,5	18,0	20	15,2	56,0	0,27
T2		100	11,7	18,6	20	21,2	83,6	0,25
T3		100	14,5	15,5	40	12,8	64,0	0,20
T4		100	8,0	15,5	0	12,0	70,4	0,17
T1	PS 100 kg	100	15,0	17,5	40	20,6	106,4	0,19
T2		100	18,0	19,0	100	23,2	80,0	0,29
T3		100	8,2	17,0	0	11,2	51,2	0,22
T4		100	18,0	18,0	60	18,4	61,6	0,30

El tratamiento con *B. japonicum* se destacó además en variables como intensidad de verde por Spad, vigor y rendimiento (Tabla 4). Las diferencias de rendimiento no alcanzaron la significancia estadística, lo mismo que sus interacciones ($P>0,10$). (Tabla 4). No obstante ello, se observó complementariedad entre ambos microorganismos, a punto tal de obtenerse el rendimiento máximo cuando ambos microorganismos estuvieron presentes, como media de ambos tratamientos de fertilización (Figura 2.a). Un comentario similar puede realizarse sobre la fertilización fósforo-azufrada del cultivo, práctica que permitió incrementar los rendimientos en 268 kg ha^{-1} (Figura 2.b). El rendimiento se explicó mayormente a partir de cambios en el NG, cuya correlación con el rendimiento alcanzó al 89%, mientras que el PG explicó un 17 % del mismo.

Tabla 4: Número de plantas emergidas, Cobertura, Índice verde (Unidades Spad), vuelco, vigor, rendimiento de grano, componentes y respuesta sobre el testigo. Para cada variable, en una misma dosis de fertilizante, en negrita se destaca el mejor tratamiento. Inoculación con *Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasilense* y fertilización fósforo-azufrada en Soja. Pergamino, campaña 2010/11.

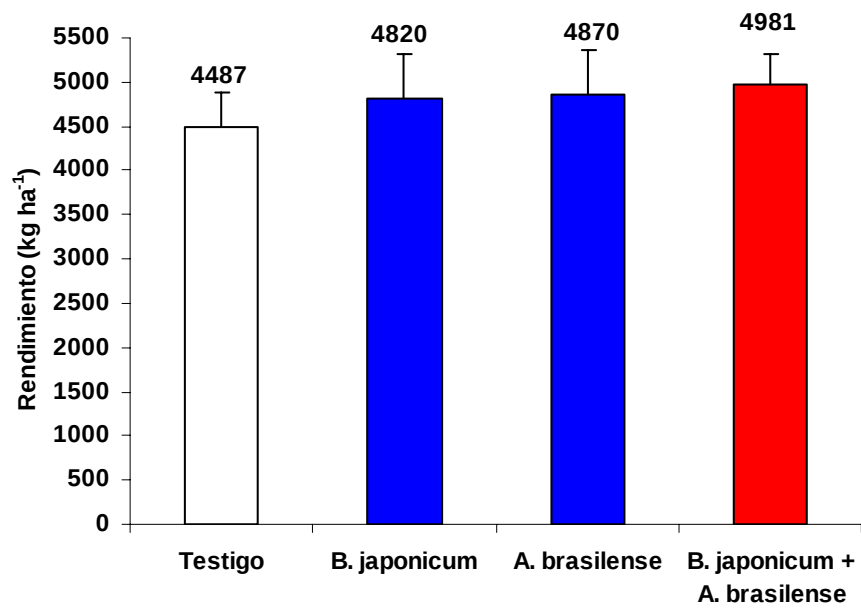
2010/11.

Trat	Fertilizaci3n	Emergencia (pl/m ²)	Cobertura e intercepci3n R3	Spad R4	Vuelco	Vigor	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Respuesta (kg ha ⁻¹)	NG	PG
T1	PS 0	41	>95	45,6	2,0	4,5	4235		2498	168
T2		39	>95	47,1	2,0	4,7	4710	475	2794	164
T3		45	>95	46,7	2,0	4,5	4610	375	2524	169
T4		45	>95	47,0	2,0	4,7	5068	833	2707	162
T1	PS 100 kg	40	>95	42,3	3,0	4,6	4739		2505	161
T2		52	>95	47,6	3,0	4,6	4931	192	2542	172
T3		42	>95	44,7	3,0	4,7	5130	391	2829	168
T4		44	>95	44,9	3,0	4,8	4893	154	2975	163
Bradyrhizobium japonicum (P=)							0.2234			
Azospirillum brasilense (P=)							0.1464			
Fertilizaci3n PS (P=)							0.1516			
Interacci3n Br japonicum * Azp brasilense (P=)							0.5249			
Interacci3n Br japonicum * Fertilizaci3n PS (P=)							0.1855			
Interacci3n Azp brasilense * Fertilizaci3n PS (P=)							0.5865			
Interacci3n Br japonicum *Azp brasilense * Fertilizaci3n PS (P=)							0.5552			
CV (%)							6,95			

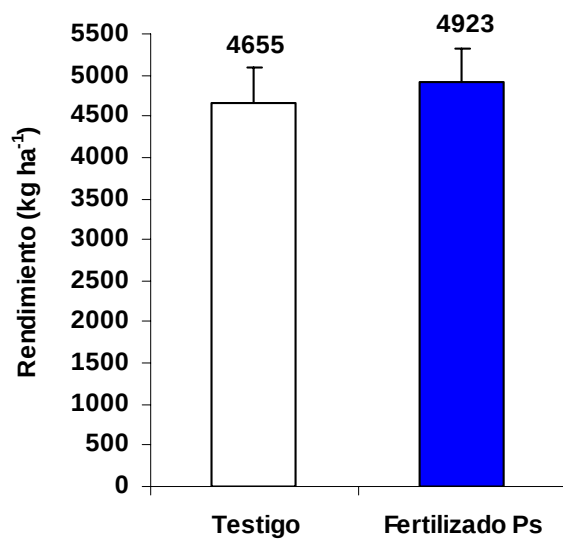
R3 (inicio de formación de vainas) y R4 (vaina de máximo tamaño), de acuerdo a la escala de Fehr y Caviness, 1974.

Índice de Vigor: Según escala 1: mínimo – 5: máximo.

Vuelco: Según escala 1: todas las plantas erectas – 5: todas las plantas volcadas.



Tratamientos de inoculación
Figura 2.a



Tratamientos de fertilización

Figura 2.b

Figura 2: Rendimiento de grano como resultado de a) Diferentes tratamientos de inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* y b) Niveles de fertilización fósforo-azufrada en soja. Pergamino, campaña 2010/11. Las barras de error indican la desviación standard de la media.

Conclusiones

- La inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* es la principal práctica microbiológica para el cultivo de Soja, y en este caso fue responsable de los mayores cambios en la magnitud de nodulación y los rendimientos del cultivo. Se pudieron determinar efectos aditivos cuando se sumó la inoculación con el promotor de crecimiento vegetal *Azospirillum brasilense*.
- Adecuadas prácticas agronómicas como la fertilización con PS en suelos deficientes impacta fuertemente en variables relacionadas con el crecimiento (vigor), nutrición (Spad) y el rendimiento del cultivo. No obstante ello, no se determinó interacción entre fertilización y tratamientos biológicos, demostrando que estos pueden recomendarse en diferentes situaciones de suelo y cultivo.