

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

II. *Bradyrhizobium japonicum* y *Penicillium bilaii*

EFFECTOS SOBRE LA NODULACIÓN, EL RENDIMIENTO Y SU INTERACCIÓN CON LA FERTILIZACIÓN FÓSFORO-AZUFRA

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, promotor de crecimiento (PGPM), y solubilizador de nutrientes que son fuertemente retenidos por el suelo, complementando 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*, el solubilizador de fósforo (P) *Penicillium bilaii*, y posibles efectos sinérgicos de la sumatoria entre ambos 2) Estudiar la interacción con otras prácticas de cultivo como la fertilización fósforo-azufra (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 microorganismos solubilizadores permite lograr efectos aditivos a la FBN, mejorando la eficiencia de otros nutrientes. y 3. La fertilización con PS favorece la nodulación y respuesta en rendimiento generando interacciones positivas entre tecnologías.

Palabras clave: Soja, *Bradyrhizobium japonicum*, *Penicillium bilaii*, nodulación, solubilización de P, 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, con la variedad 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 microorganismo solubilizador de P *Penicillium bilaii* y 3. Dos estrategias de fertilización: No fertilizado y fertilizado con 100 kg ha⁻¹ de la mezcla química Top Phos, (0-18-0-S18). 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 Jump Start, que contiene el hongo solubilizador de P *Penicillium bilaii*. Estos insumos fueron provistos por Nitrasoil Argentina SA y Novozymes Biologicals Argentina S.A., respectivamente.

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 PSBanda: Fertilizado 100 kg ha⁻¹ 0-18-0-S18 localizado en banda
T2	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	-----	
T3	-----	<i>Penicillium bilaii</i>	
T4	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	<i>Penicillium bilaii</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 recomptaron 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 a 581,6 mm. Esto permitió almacenar reservas durante enero, por lo que el cultivo no tuvo déficit de allí en adelante.

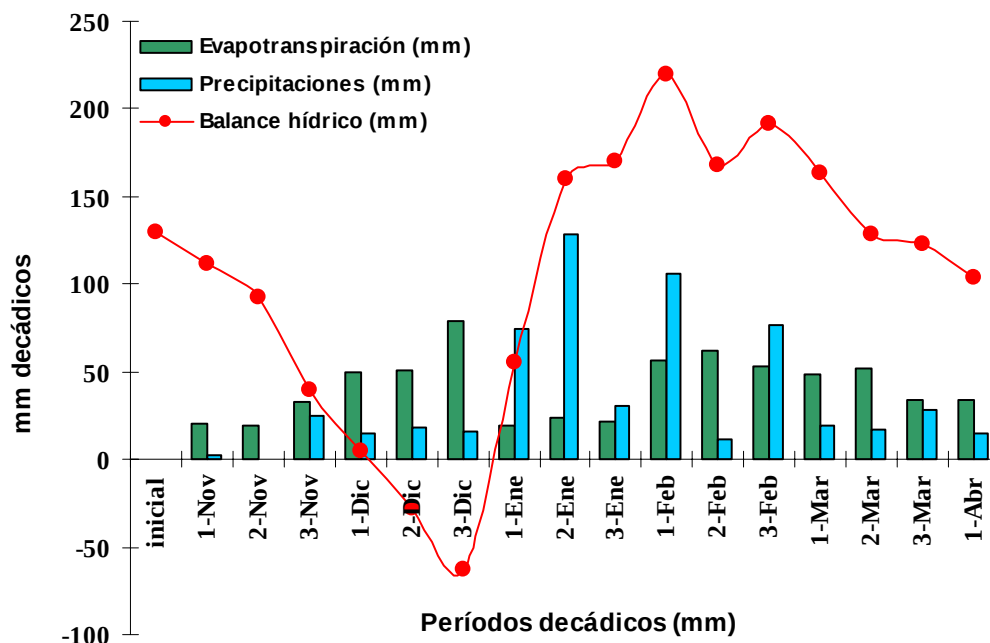


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos considerando 2 m de profundidad. Pergamino, Bs As, campaña 2010/11. Precipitaciones totales 581,6 mm. Déficit acumulado 91 mm.

b) Resultados de los experimentos

En la Tabla 3 se presentan las variables relacionadas con la nodulación. La preponderancia de los diferentes tratamientos fue diversa, siendo prevalente uno u otro según la variable analizada. En todos los casos, se identificó un buen comportamiento de los tratamientos inoculados con *Bradyrhizobium japonicum*, y cierta complementariedad cuando se integraron ambos microorganismos. Esto podría deberse al efecto positivo de una mejora en la disponibilidad de P sobre la FBN.

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*, *Penicillium bilaii* 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	14,5	16,5	20	20,0	88,8	0,23
T2		100	16,2	17,5	80	21,2	83,6	0,25
T3		100	7,7	19,0	0	13,6	72,8	0,19
T4		100	7,5	20,0	0	20,0	74,4	0,27
T1	PS banda 100 kg	100	13,0	16,0	20	17,6	87,2	0,20
T2		100	11,7	17,5	20	26,4	73,6	0,36
T3		100	15,5	19,0	60	20,0	79,2	0,25
T4		100	16,5	16,5	80	16,8	46,4	0,36

En este experimento, el tratamiento con *B. japonicum* se comportó de manera destacada en variables como intensidad de verde por Spad, y vigor (Tabla 4). Por su parte, *Penicillium bilaii* permitió mejorar la emergencia y disminuir el vuelco (Tabla 4). Estos efectos, observados por primera vez en parcelas experimentales conducidas por nuestro grupo de trabajo, deben tomarse como un indicio pero deberán comprobarse en nuevos experimentos, conducidos en diferentes campañas y localidades, antes de ser definitivamente atribuidos a un efecto de tratamiento.

Las diferencias de rendimiento fueron significativas para la inoculación con *P. bilaii* y la fertilización fósforo-azufrada ($P < 0,05$) (Tabla 4). Como sucediera en un trabajo similar de esta campaña, se registró complementariedad entre microorganismos correspondiendo el rendimiento máximo al tratamiento de co-inoculación, para ambos niveles de fertilización (Tabla 4).

La fertilización con PS permitió incrementar los rendimientos y la magnitud de respuesta a la inoculación. No se determinó interacción entre fertilización y tratamientos biológicos, evidenciando que la capacidad de respuesta a los microorganismos se mantiene estable en una amplitud de ambientes productivos. En términos absolutos la respuesta fue mayor en los tratamientos fertilizados, probablemente a partir del aporte de S, considerando que el nivel de P en el suelo era adecuado.

Las variaciones en rendimiento obedecieron a cambios tempranos en el crecimiento del cultivo, a punto tal que el NG explicó el 87% 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*, *Penicillium bilaii* y fertilización fósforo-azufrada en Soja. Pergamino, campaña 2010/11.

japonicum, Penicillium bilaii y fertilización ps por el azufre en soja. Fertilizante, campaña 2010/11.										
Trat	Fertilización	Emergencia (pl/m ²)	Cobertura e intercepción R3	Spad R4	Vuelco	Vigor	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Respuesta (kg ha ⁻¹)	NG	PG
T1	PS Voleo	36	>95	47,2	2,0	4,6	4179		2498	168
T2		42	>95	47,1	2,0	4,6	4451	272	2794	164
T3		53	>95	45,0	1,8	4,6	4440	261	2524	169
T4		56	>95	46,9	2,0	4,7	4560	381	2707	162
T1	PS banda 100 kg	34	>95	44,7	3,0	4,6	4389		2505	161
T2		37	>95	45,7	3,0	4,9	4655	266	2542	172
T3		52	>95	46,3	2,7	4,7	5121	732	2829	168
T4		50	>95	47,8	3,0	4,8	5156	767	2975	163
Bradyrhizobium japonicum (P=)							0.2230			
Penicillium bilaii (P=)							0.0175			
Fertilización PS (P=)							0.0138			
Interacción Br japonicum * P bilaii (P=)							0.4826			
Interacción Br japonicum * Fertilización PS (P=)							0.8664			
Interacción P bilaii * Fertilización PS (P=)							0.1399			
Interacción Br japonicum * P bilaii * Fertilización PS (P=)							0.8810			
CV (%)							5,62 %			

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.

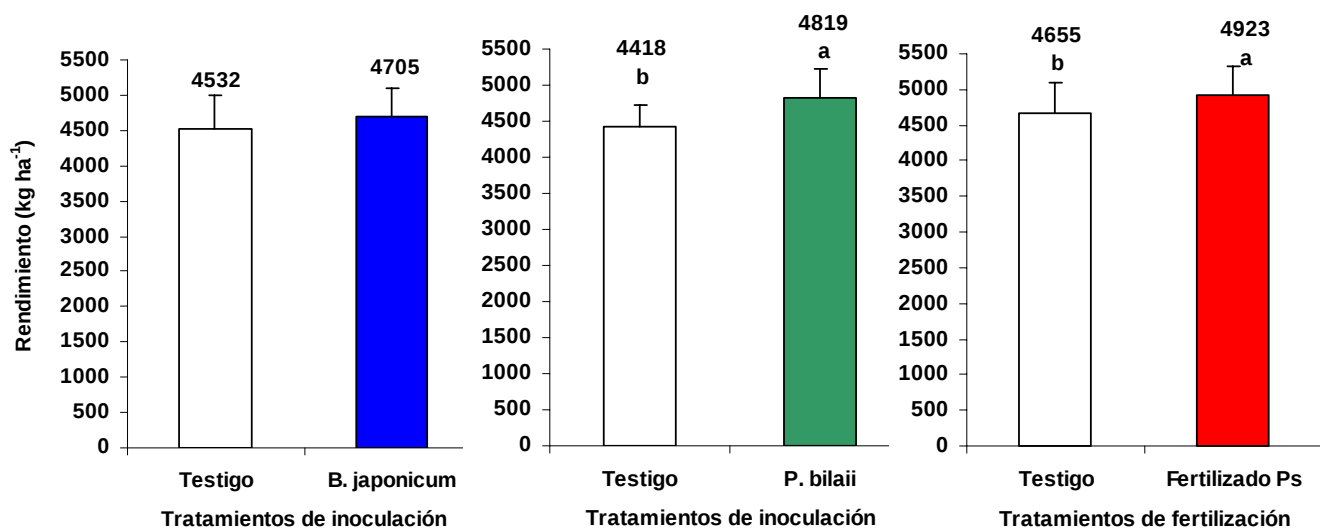


Figura 2: Rendimiento de grano como resultado de diferentes tratamientos de inoculación con a) *Bradyrhizobium japonicum*, b) *Penicillium bilaii* y c) Niveles de fertilización fósforo-azufra en soja. Pergamino, campaña 2010/11. Las barras de error indican la desviación standard de la media.

Conclusiones

- La inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* permitió incrementos en los rendimientos que están dentro del rango esperable para lotes con prolongada historia de soja previa. No obstante, en este experimento se logró sumar rendimiento por la co-inoculación con *P. bilaii*. En alguna medida, la aditividad conseguida reflejaría la conocida interacción entre P y N.
- Si bien no se determinó interacción entre fertilización y tratamientos biológicos, en términos absolutos la fertilización con PS permitió incrementar los rendimientos y la magnitud de respuesta a la inoculación. Se evidencia que en ambientes con larga historia agrícola es posible acercarse a los rendimientos potenciales a través de la implementación conjunta de buenas prácticas agronómicas que mejoren en forma simultánea la fertilidad de los suelos.