

INOCULACIÓN EN SOJA CON *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM*, BIOCONTROLADORES Y MICROORGANISMOS PROMOTORES DEL CRECIMIENTO VEGETAL

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. Contener moléculas señal que facilitan el reconocimiento planta-bacteria y 3. 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 de última generación, integrando *Bradyrhizobium* y PGPM, en comparación con tratamientos testigos absolutos y testigos inoculados 2) Estudiar la interacción con otras prácticas de cultivo como la fertilización fósforo-azufrada (PS). Hipotetizamos que 1. Nuevos tratamientos de inoculación que incluyen PGPM y agentes de biocontrol permiten lograr efectos aditivos a la FBN, impactando en la tasa de crecimiento y sanidad del cultivo y, como consecuencia, en los rendimientos y 2. La fertilización con PS favorece la nodulación y respuesta en rendimiento generando interacciones positivas entre tecnologías.

Palabras clave: Soja, *Bradyrhizobium japonicum*, PGPM, biocontrol, 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 29 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 (10 x 2) siendo los factores: **1.** Inoculación con bacterias fijadoras del género *Bradyrhizobium japonicum*, agentes de biocontrol y promotores del crecimiento vegetal-7 tratamientos - y **2.** 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.

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

Tratamientos	Descripción	Dosis ml/kg ha ⁻¹	Niveles de fertilización
T1	Testigo	Testigo	PS0: Testigo sin fertilización PS100: Fertilizado 100 kg ha⁻¹ Mezcla 0-40-7
T2	Nitrap Max	2 ml/kg semilla	
T3	Nitrap Max DUO	3 ml/kg semilla	
T4	Nitrap Max Azotrap Plus Biotrap	2 ml/kg semilla + 2 ml/kg semilla + 2 ml/kg semilla	
T5	Nitrap Max + Azotrap Plus	2 ml/kg semilla + 2 ml/kg semilla	
T6	Nitrap Max + Pseudomonas Ps 3B	2 ml/kg semilla + 2 ml/kg semilla	
T7	Nitrap Max + Tricotrap	2 ml/kg semilla + 5 g/kg semilla	

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 tres 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	86,9	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	1,51
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 (N°) 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.

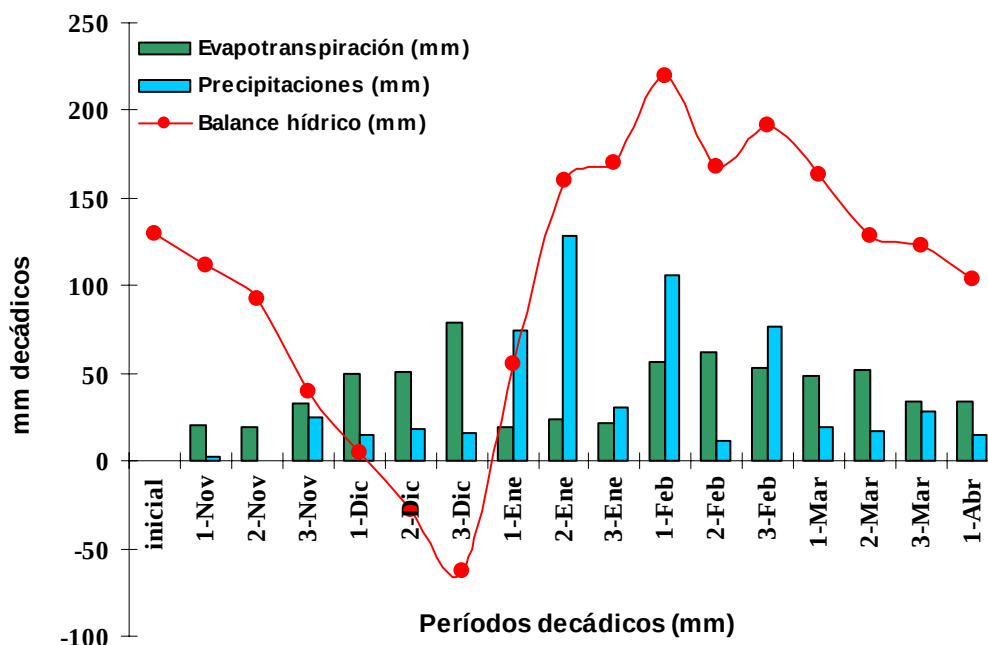


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádicos considerando 2 m de profundidad. Pergamino, Bs As, campaña 2010/11. Precipitaciones totales 581,6 mm. Déficit acumulado 91 mm.

b) Resultados de los experimentos

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 destacan los tres mejores tratamientos. Inoculación 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/m ²)	PS x raíz (g)	mg nódulo / g de raíz
T1	PS 0	100	2,9	11,5	0	10,4	72,8	0,14
T2		100	1,9	4,5	20	8,0	75,2	0,11
T3		100	9,5	12,0	50	13,6	71,2	0,19
T4		100	8,3	18,0	0	18,4	84,0	0,22
T5		100	8,3	11,8	10	12,0	72,8	0,16
T6		100	1,7	3,1	30	6,4	52,8	0,12
T7		100	16,5	17,5	0	27,2	73,6	0,37
T1	PS 100 kg	100	9,0	16,0	0	13,6	76,8	0,18
T2		100	12,0	20,0	0	16,8	66,4	0,25
T3		100	1,7	14,0	0	15,2	68,8	0,22
T4		100	18,0	20,0	20	28,8	65,6	0,44
T5		100	8,5	18,0	0	15,2	63,2	0,24
T6		100	2,9	6,6	30	8,0	92,8	0,09
T7		100	10,0	9,5	30	16,8	68,0	0,25

Tabla 4: Número de plantas emergidas, Cobertura, Índice verde (Unidades Spad), vuelco, vigor, rendimiento de grano y respuesta sobre el testigo. Para cada variable, en una misma dosis de fertilizante, en negrita se destacan los tres mejores tratamientos. Inoculación y fertilización fósforo-azufrada en Soja.. Pergamino, campaña 2010/11.

Trat	Fertilización	Emergencia (pl/m ⁻²)	Cobertura e intercepción R3	Spad R4	Vuelco	Vigor	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Respuesta a B (kg ha ⁻¹)
T1	PS 0	35,2	>95	46,2	2,0	4,1	4701	
T2		35,2	>95	47,1	2,0	4,0	4748	47
T3		37,5	>95	47,1	2,0	4,2	4865	164
T4		36,7	>95	46,7	2,0	4,3	4800	99
T5		33,6	>95	47,5	2,0	4,5	5061	360
T6		44,5	>95	44,7	2,0	4,4	4692	-9
T7		31,3	>95	45,3	2,0	4,5	4674	-27
T1	PS 100 kg	38,3	>95	45,5	3,0	4,3	4499	
T2		33,6	>95	45,1	3,0	4,4	5375	878
T3		39,8	>95	45,9	3,0	4,5	5277	780
T4		42,2	>95	45,1	3,0	4,3	5016	519
T5		32,0	>95	46,6	3,0	4,5	4632	135
T6		44,5	>95	45,6	3,0	4,7	5250	753
T7		42,2	>95	46,5	3,0	4,4	4363	-134
Tratamientos de inoculación (P=)							0,19	
Fertilización PS (P=)							0,28	
Interacción Pre-inoculación * Fertilización PS (P=)							0,38	
CV (%)							6,9%	

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.

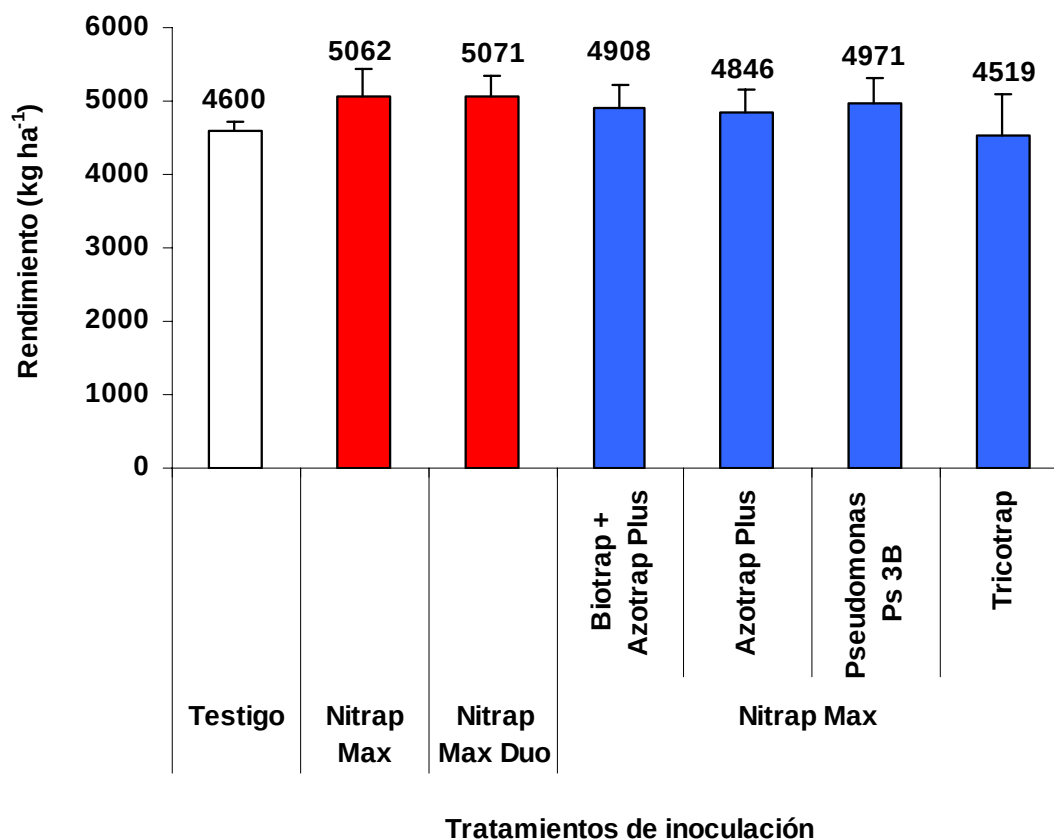


Figura 2: Rendimiento de grano como resultado de diferentes tratamientos de inoculación, promedio de dos niveles de fertilización fósforo-azufrada en soja. Pergamino, campaña 2010/11.

Tabla 5: Correlación estadística (R) entre el rendimiento y las variables evaluadas en el ensayo.

Tratamientos	Coefficiente de regresión (R^2)	$P=R^2$
Plantas x m2	0,00	$P>0,10$ n.s.
Spad	0,24	$P>0,10$ n.s.
Índice de vigor	0,24	$P>0,10$ n.s.
Nº Nódulos R Principal	-0,12	$P>0,10$ n.s.
Nº Nódulos R Secundaria	0,11	$P>0,10$ n.s.
% Plantas Nodulación Predominante en R Principal	-0,11	$P>0,10$ n.s.
Peso Seco de Nódulos	-0,05	$P>0,10$ n.s.
Peso Seco Raíz	0,16	$P>0,10$ n.s.
mg nod/g raíz	-0,07	$P>0,10$ n.s.

Discusión y conclusiones

- En variables relacionadas con la nodulación se destacaron, en ausencia de fertilización, los tratamientos T7 (Nitrap Max + Tricotrap), T4 (Nitrap Max + Azotrap Plus + Biotrap) y T3 (Nitrap Max Duo). Cuando fueron fertilizados, primaron T5 (Nitrap Max + Azotrap Plus), T7 (Nitrap Max + Tricotrap), seguidos por T2 (Nitrap Max) (Tabla 3).
- En cuanto a variables morfo-fisiológicas como stand de plantas, cobertura o índice verde, los tratamientos T3 (Nitrap Max Duo), T5 (Nitrap Max + Azotrap Plus), T6 (Nitrap Max + Pseudomonas Ps 3B) y T7 (Nitrap Max + Tricotrap) fueron los más destacados (Tabla 4).
- A causa de la variabilidad propia de los experimentos biológicos, las diferencias de rendimientos entre tratamientos no alcanzaron la significancia estadística. ($P > 0,10$). (Tabla 4).
- Las parcelas fertilizadas con PS exhibieron mayor crecimiento inicial, vigor, cierre temprano del entresurco y en numerosas ocasiones valores de Spad. Sin embargo, producto de las condiciones ambientales favorables al crecimiento especialmente desde mediados de enero sumado a la reducida distancia entre hileras, presentaron mayor vuelco que las parcelas no fertilizadas. Como sucediera en otros experimentos conducidos por nuestro grupo de trabajo durante la campaña de soja 2010/11, este comportamiento disminuyó las diferencias de rendimiento esperadas (4792 vs 4916 kg ha⁻¹ para tratamientos testigo y fertilizados con PS, respectivamente).
- La diferencia entre la media de todos los tratamientos de inoculación y el testigo fueron superiores con agregado de P, alcanzando a 488,5 kg ha⁻¹. En cambio, sin P representaron 105,8 kg ha⁻¹.
- Si se jerarquizan tratamientos, se puede concluir en un importante respuesta a inoculantes que optimizan la FBN: T3 (Nitrap Max Duo), T2 (Nitrap Max) y escaso efecto de los PGPM o biocontroladores agregados como adición al inoculante base *Bradyrhizobium*. En experimentos anteriores, realizados tanto en gramíneas como en soja, se determinó que la respuesta a *Bradyrhizobium japonicum* se incrementaba en ambientes de alto rendimiento y buen estado hídrico. Por el contrario, la respuesta a PGPM era más estable y de mayor magnitud en condiciones de sequía. Es probable que las excelentes condiciones climáticas de la campaña de 2010/11, apoyando la tendencia previa, hayan favorecido la respuesta al primer microorganismo en detrimento de los segundos. El comportamiento se explicaría, para este sitio, en una mayor importancia relativa de la demanda de N, en comparación con la necesidad de crecimiento, desarrollo radicular y adquisición temprana de recursos.