

# TECNOLOGÍA DE INOCULACIÓN EN SOJA: DOSIS, MÉTODO DE INOCULACIÓN Y FUNGICIDAS CURASEMILLAS

## 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](mailto: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 el 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. Aportar mayor número de bacterias fijadoras de N 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 los efectos sobre la nodulación y el rendimiento de tratamientos consistentes en dosis, métodos de inoculación y empleo de curasemillas 2) Estudiar la interacción con otras prácticas de cultivo como la fertilización fósforo-azufrada (PS). Hipotetizamos que 1. Existe respuesta en nodulación y rendimiento a la inoculación conjunta de bacterias fijadoras de N y micorrizas 2. El incremento en el número de microorganismos aportados y el tratamiento sobre semilla pre-humectada permiten mejorar la eficiencia de la FBN, impactando en la tasa de crecimiento y, como consecuencia, en los rendimientos de soja y 3. La fertilización con PS favorece la nodulación y respuesta en rendimiento generando interacciones positivas entre tecnologías.

**Palabras clave:** *Soja, Bradyrhizobium japonicum, dosis, pre-humedecimiento, fijación biológica, 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, 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 (6 x 2) siendo los factores: **1.** Tratamientos de inoculación, aportando bacterias fijadoras del género *Bradyrhizobium japonicum* junto a Micorrizas, -6 tratamientos - y **2.** fertilización fósforo azufrada 1. PS 0 kg ha<sup>-1</sup> y 2. PS 100 kg ha<sup>-1</sup> 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	Inoculante y otros	Método de inoculación	Dosis ml/kg ha <sup>-1</sup>	Niveles de fertilización
T1	Testigo		Testigo	<b>PS0: Testigo sin fertilización</b>
T2	Crinigan	Método húmedo	Dosis simple (DS) 8 g/kg semilla	
T3	Crinigan	Método húmedo	Dosis doble (DD) 16 g/kg semilla	
T4	Crinigan	Método seco	Dosis simple (DS) 8 g/kg semilla	
T5	Crinigan	Método seco	Dosis doble (DD) 16 g/kg semilla	
T6	Crinigan + Metil tiofanato (45g/l) +Pyraclostrobin (5g/l) + Protector	Método húmedo - tratamiento secuenciado	Dosis simple (DS) 8 g/kg semilla + 1 ml/kg semilla + 1 ml/kg semilla +	

El método seco de inoculación es la variante tradicional, y el método húmedo consiste en el pre-humedecimiento de la simiente con agua destilada a la dosis de 5 ml/kg semilla para facilitar la adherencia y distribución del inoculante.

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.*

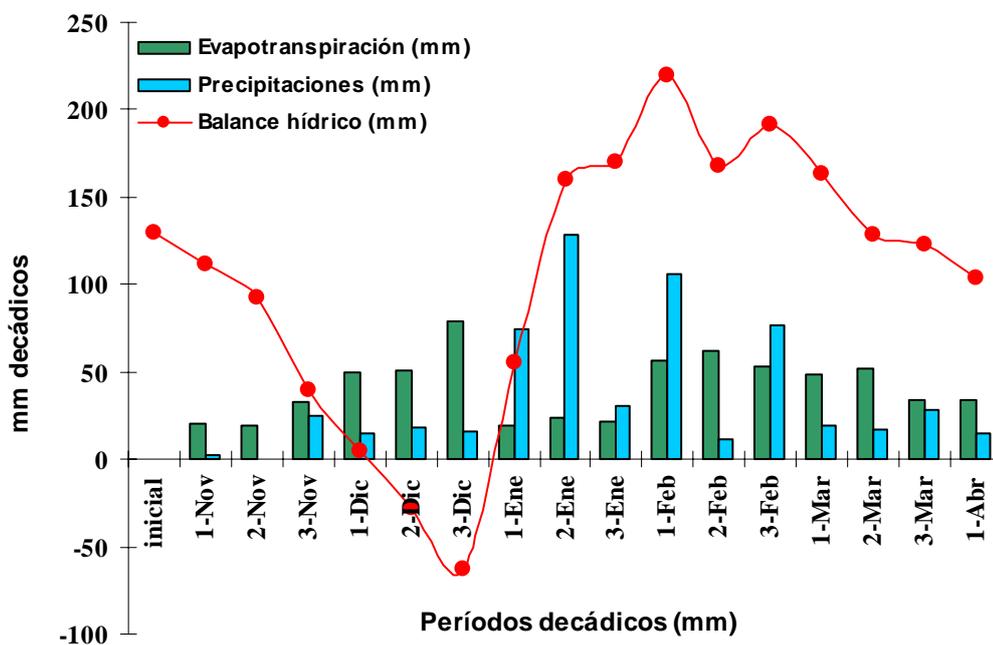
Prof	pH		Materia Orgánica	N total	Fósforo disponible	N-Nitratos (0-20) cm	N-Nitratos suelo 0-60 cm	S-Sulfatos suelo 0-20 cm
	agua 1:2,5							
			%		mg kg <sup>-1</sup>	ppm	kg ha <sup>-1</sup>	ppm
0-20	5,5		3,7	0,185	19,7	22,6	86,9	7,7
	Magnesio	Potasio	Calcio	Zinc	Manganeso	Cobre	Hierro	Boro
	ppm	ppm	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. Sobre una muestra de grano se determinaron los componentes numéricos del rendimiento, número (NG) y peso (PG) de los granos.

## 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 presentó 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:** Infectividad en V3, 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, se destacan en negrita los tres mejores tratamientos. Inoculación y fertilización fósforo-azufrada en Soja. Pergamino, campaña 2010/11.

Trat	Fertilización	Infectividad 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	5,2	<b>20,0</b>	0	21,2	83,6	<b>0,25</b>
T2		100	<b>9,5</b>	<b>20,0</b>	0	15,2	78,4	0,19
T3		100	<b>19,0</b>	<b>20,0</b>	<b>40</b>	<b>28,0</b>	64,8	<b>0,43</b>
T4		100	7,0	<b>20,0</b>	0	<b>22,4</b>	<b>98,4</b>	0,23
T5		100	<b>8,0</b>	18,0	0	<b>24,8</b>	<b>91,2</b>	<b>0,27</b>
T6		100	6,7	16,5	0	17,6	<b>86,4</b>	0,20
T1	PS 100 kg	100	6,5	<b>20,0</b>	0	20,0	73,6	0,27
T2		100	<b>11,0</b>	19,0	0	<b>22,4</b>	<b>87,2</b>	0,26
T3		100	<b>10,2</b>	19,0	<b>40</b>	<b>32,8</b>	<b>91,2</b>	<b>0,36</b>
T4		100	8,2	<b>20,0</b>	0	<b>26,4</b>	75,2	<b>0,35</b>
T5		100	7,9	19,0	0	20,8	<b>84,0</b>	0,25
T6		100	<b>16,5</b>	19,0	0	<b>22,4</b>	67,2	<b>0,33</b>

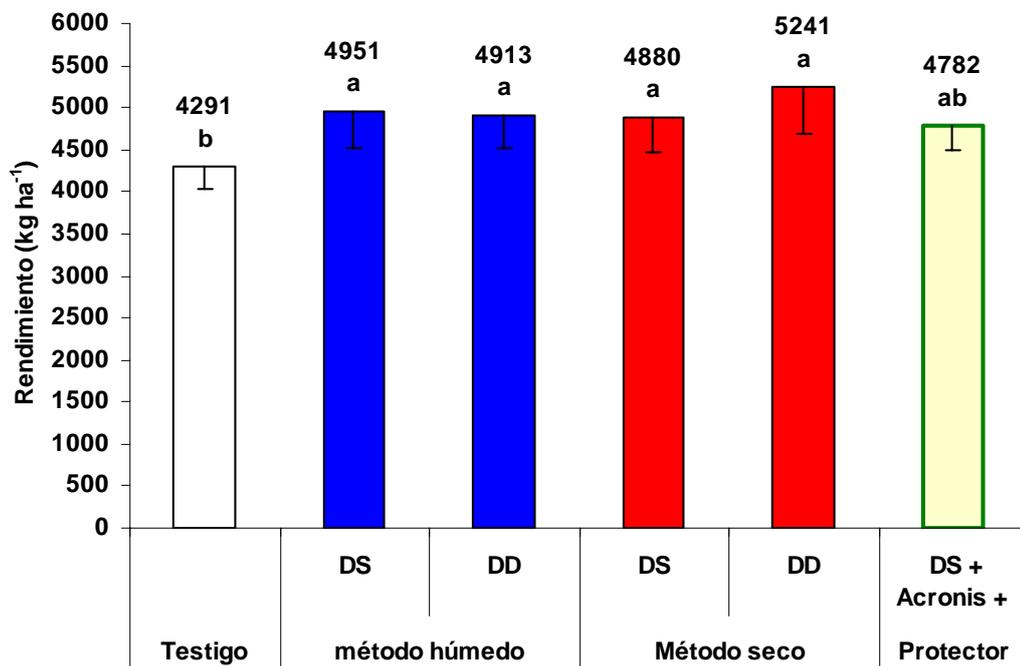
**Tabla 4:** Número de plantas emergidas, Cobertura, Índice verde (Unidades Spad), vuelco, vigor, rendimiento de grano, componentes y respuesta sobre el testigo. Para cada variable, en una misma dosis de fertilizante, se destacan en negrita los tres mejores tratamientos. Inoculación y fertilización fósforo-azufrada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

Trat	Fertilización	(pl/m <sup>2</sup> )	Cobertura R3	Spad R4	Vuelco	Vigor	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	NG	PG	Dif sobre T1 (kg ha <sup>-1</sup> )
T1	PS 0	45	>95	46,6	2,0	<b>4,2</b>	4092	2471	165,6	
T2		48	>95	<b>47,8</b>	2,0	4,1	4652	2865	162,4	560,3
T3		35	>95	45,7	2,0	<b>4,2</b>	5022	3123	160,8	929,6
T4		53	>95	<b>47,4</b>	2,1	<b>4,3</b>	4842	3073	157,6	750,4
T5		58	>95	<b>46,9</b>	2,2	4,1	4778	2858	167,2	686,0
T6		47	>95	46,8	2,1	<b>4,3</b>	4577	2819	162,4	485,3
T1	PS 100 kg	47	>95	46,5	2,5	4,3	4491	2667	168,4	
T2		43	>95	45,3	2,5	4,4	5250	2930	179,2	759,0
T3		43	>95	44,5	2,5	<b>4,5</b>	4804	2944	163,2	313,2
T4		48	>95	<b>47,2</b>	2,7	<b>4,6</b>	4917	2872	171,2	425,7
T5		43	>95	<b>48,4</b>	2,7	<b>4,6</b>	5704	3556	160,4	1213,2
T6		48	>95	<b>46,4</b>	2,8	<b>4,5</b>	4988	3034	164,4	496,5
Tratamientos de inoculación (P=)							<b>0,0485</b>			
Fertilización PS (P=)							<b>0,0254</b>			
Interacción Pre-inoculación * Fertilización PS (P=)							<b>0,32</b>			
CV (%)							<b>7,1</b>			

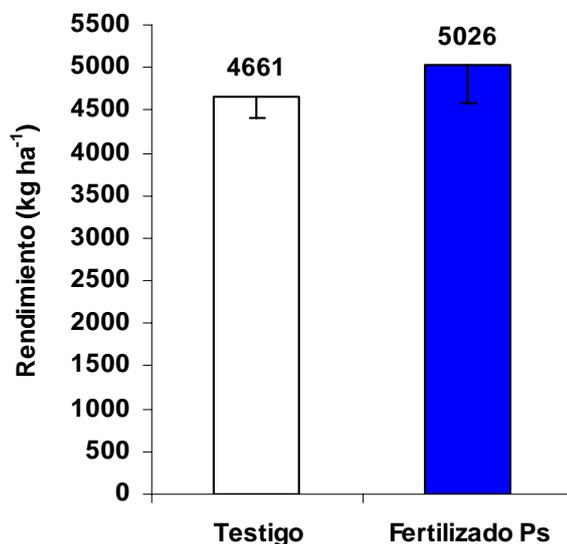
R3 (inicio de formación de vainas) y R4 (vaina de máximo tamaño), de acuerdo a la escala de Fehr y Caviness, 1974.

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 de soja como resultado del método, dosis y estrategias de inoculación, promedio de dos niveles de fertilización fósforo-azufrada inicial. Letras distintas sobre las columnas señalan diferencias significativas entre tratamientos. Las líneas de error representan la desviación standard de la media. Pergamino, campaña 2010/11. DS: dosis de inoculante recomendada en marbete. DD: dosis igual al doble de la recomendada.



**Figura 3:** Rendimiento de grano de soja según nivel de fertilización fósforo-azufrada inicial, promedio de todos los tratamientos de inoculación ensayados. Letras distintas sobre las columnas señalan diferencias significativas entre tratamientos. Las líneas de error representan la desviación standard de la media. Pergamino, campaña 2010/11.

## Discusión y conclusiones

- El ambiente climático sobre el que se desarrolló el experimento fue favorable, con un déficit hídrico moderado pero relativamente breve y excelentes condiciones de insolación y temperatura durante el llenado de los granos (Figura 1).
- En variables relacionadas con la nodulación, se reflejó una tendencia a favor de los tratamientos inoculados bajo el método húmedo, y en doble dosis (Tabla 3). Cuando se inoculó en doble dosis con el método húmedo (T3 y T6), las parcelas se destacaron en todos los parámetros destinados a evaluar la calidad de nodulación, inclusive la proporción de nódulos situados en raíz principal (Tabla 3).
- En cuanto a variables morfo-fisiológicas como stand de plantas, cobertura o índice verde, fue más fuerte el impacto de la fertilización fósforo-azufrada que los tratamientos de inoculación. (Tabla 4).
- Los rendimientos del ensayo fueron elevados, siendo la media de 4843 kg ha<sup>-1</sup> y el rango de 4309 a 5683 kg ha<sup>-1</sup>.
- Se determinaron diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos de diferentes tratamientos de inoculación (P=0,04) y de fertilización fósforo-azufrada (P=0,02). La respuesta a la inoculación no fue afectada por el nivel de inoculación (P>0,10).
- Los diferentes tratamientos inoculados no difirieron entre sí. Todos, con excepción de T6, superaron significativamente los rendimientos del testigo (Figura 2). El rango de diferencias por sobre el testigo varió entre 485,3 y 929,6 kg ha<sup>-1</sup> sin fertilización, y de 313,2 a 1213,2 kg ha<sup>-1</sup> para los fertilizados.
- En términos cuantitativos, no se registraron diferencias importantes entre tratamientos realizados por método húmedo o seco, aunque sí entre dosis, especialmente cuando la inoculación se realizó en seco. El uso conjunto de curasemilla y protector, que fue inoculado a dosis simple, no otorgó una ventaja significativa sobre parcelas similares sin fungicida. Hay que tener en cuenta que las presentes formulaciones de inoculante y curasemillas no provienen de un mismo origen sino que se desarrollaron en forme separada, y su compatibilidad no ha sido testeada.
- La fertilización fósforo-azufrada aportó un incremento de rendimiento adicional de 365 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 3).
- El principal componente de rendimiento afectado por los tratamientos fue NG, explicando el 84 % de las variaciones en los rendimientos (R<sup>2</sup>=0,90). El peso de los granos fue poco afectado, y sin una tendencia definida.
- El presente ensayo puede considerarse un caso de elevada respuesta media a la inoculación. La misma alcanzó a 682 kg ha<sup>-1</sup> como promedio de la diferencia entre inoculados y testigo en los tratamientos sin fertilización, y a 641 kg ha<sup>-1</sup> en los fertilizados.