

INOCULACIÓN EN SOJA COM BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM Y MICORRIZAS: EFECTO DE LA ANTICIPACIÓN DEL TRATAMIENTO, EL USO DE FUNGICIDAS Y LA FERTILIZACIÓN FÓSFORO-AZUFRA DA

Proyecto Regional Agrícola. Campaña 2009/10

Ings. Agrs. Gustavo Ferraris y Lucrecia Couretot

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

Av Frondizi km 4,5 (2700) Pergamino

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

Diversos trabajos tecnológicos y de investigación han informado incrementos de rendimiento en soja por diversas prácticas agronómicas, como la fertilización fósforo-azufrada, la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y microorganismos PGPM y el uso de fungicidas curasemillas que mejoran la emergencia del cultivo. Sin embargo, pocos han abordado integralmente el estudio de la contribución al rendimiento cuando estas prácticas se insertan globalmente en el sistema productivo. Un enfoque sistémico e integral permite así, transformar estas tecnologías de insumos en tecnologías de manejo y procesos.

Los objetivos de este trabajo fueron 1) Evaluar el efecto sobre la nodulación, el crecimiento y el rendimiento del cultivo de un grupo de tratamientos de inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y Micorrizas, que combinaron tiempos de inoculación -anticipado o a la siembra- y uso de curasemillas y 2) Estudiar la interacción con otras prácticas de cultivo como la fertilización fósforo-azufrada. Hipotetizamos que nuevas estrategias de inoculación como el tratamiento anticipado facilitan la logística sin perder eficiencia agronómica. Estas tecnologías aplicadas como complemento de buenas prácticas de cultivo - como la fertilización fósforo azufrada- tienen la capacidad para optimizar la nodulación y el rendimiento del cultivo, en comparación con las prácticas tradicionales.

Materiales y métodos

El ensayo se implantó en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino, clase 1 con ligera erosión. El sitio experimental registra una rotación agrícola continua con varios cultivos de soja en la secuencia. Los tratamientos se aplicaron en soja de primera. La variedad sembrada fue DM 3700 RR, el día 3 de diciembre en hileras espaciadas a 32 cm. El diseño del ensayo correspondió a bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron tratamientos de inoculación, en combinación con dos niveles de fertilización 1. PS 0 kg ha⁻¹ y 2. PS 160 kg ha⁻¹ de una mezcla física compuesta por SPS (50%) y SPT (50%) siendo la composición final media (0-14,5-0-S6). El inoculante contiene bacterias de *Bradyrhizobium japonicum* y Micorrizas, y se denomina Crinigan Soja, de Crinigan SA. Los tratamientos evaluados se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2: *Tratamientos evaluados en el ensayo. Integración de tecnologías de inoculación con Bradyrhizobium japonicum-Micorrizas y fertilización en Soja. Pergamino, campaña 2009/10.*

Denominación	Factor 1: Tratamientos de inoculación			Factor 2: Prácticas de manejo
	Inoculante	Fungicida	Tecnología utilizada	
T1: Testigo				PS 0 (Testigo)
T2: Br + Micorrizas siembra	Bradyrhizobium + Micorrizas 8 g kg⁻¹		Semilla a la siembra	
T3: Br + Micorrizas preinoculado	Bradyrhizobium + Micorrizas 8 g kg⁻¹		Preinoculado 7 días antes siembra	
T4: Br + Micorrizas pre + Apron Max	Bradyrhizobium + Micorrizas 8 g kg⁻¹	Metalaxil + Fluodioxinil 1 ml kg⁻¹	Preinoculado 7 días antes siembra	PS 160 kg/ha
T5: Br + Micorrizas pre + Th-Carb	Bradyrhizobium + Micorrizas 8 g kg⁻¹	Thiram + Carbendazim 2,5 ml kg⁻¹	Preinoculado 7 días antes siembra	
T6: Br + Micorrizas pre + Th-Carb + Protector	Bradyrhizobium + Micorrizas 8 g kg⁻¹	Thiram + Carbendazim 2,5 ml kg⁻¹	Preinoculado 7 días antes siembra	

Al momento de la siembra se tomaron muestras de suelo y sobre las mismas se realizó un análisis químico, cuyos resultados se detallan en la Tabla 3:

Tabla 3: *Análisis de suelo a la siembra del ensayo.*

Prof. (cm)	MO (%)	CE CE dS m ⁻¹	pH	Ntotal	P Bray ppm	N-Nitratos kg/ha 0-60 cm	S-SO4 ppm
0-20	3,05	0,008	5,4	0,152	22,2	42,3,1	2,0

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 R3 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, el cual determina la intensidad de verde mediante una lectura adimensional no destructiva. Asimismo, se midió la cobertura del cultivo, mediante toma de imágenes y procesamiento por software específico. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz. Sobre una muestra de grano se determinaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (PG) de los granos.

Condiciones ambientales 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. Las condiciones ambientales fueron óptimas, siendo lo más destacado las abundantes precipitaciones que alcanzaron a 606 mm. No se registró déficit en ninguna etapa del ciclo y, a pesar de algunos excesos puntuales, no se alcanzaron condiciones de encharcamiento ni dificultades en el drenaje de los suelos.

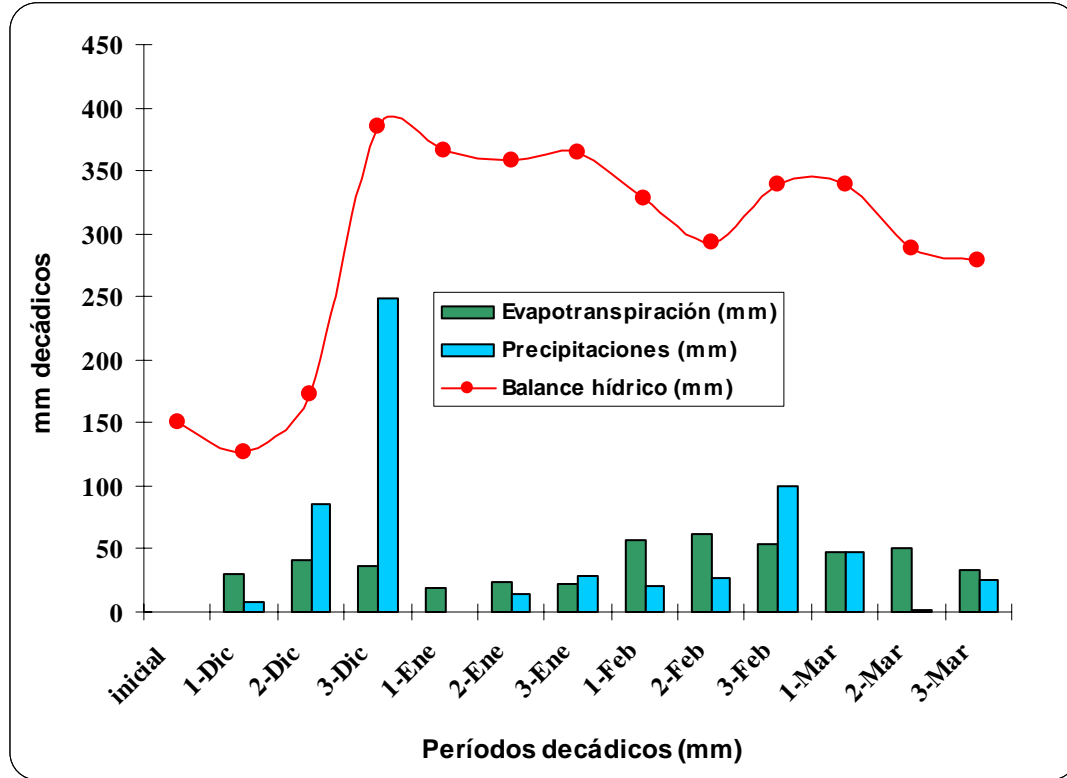


Figura 1: Balance hídrico, evapotranspiración y precipitaciones decádicas acumuladas (mm) en el sitio experimental. Pergamino, Bs As, campaña 2009/10. Precipitaciones totales durante el ciclo 606 mm.

Resultados y discusión

La emergencia de plantas fue excelente y no se observaron diferencias claras entre tratamientos. Los valores de Spad fueron relativamente uniformes, aunque con una leve tendencia favorable hacia los tratamientos inoculados. En el vigor de planta se destacaron los tratamientos con fertilización fósforo-azufrada, evidenciando el efecto del P sobre el crecimiento del cultivo (Tabla 4).

En la Tabla 5 se señalan los mejores tratamientos para cada variable relacionada con la calidad de nodulación. Los valores más destacados se asociaron a fertilización fósforo-azufrada y uso de inoculante, especialmente cuando este fue acompañado por un protector bacteriano. El uso conjunto de curasemillas, cualquiera sea su formulación, no pareciera afectar la calidad de nodulación, aún en el caso del preinoculado.

Tabla 4: Número de plantas emergidas, infectividad en V3, índice de vigor en R3 e intensidad de verdor determinado mediante lecturas Spad. En negrita se destacan los tratamientos con valores más elevados, para cada una de las variables. Tratamientos de inoculación y fertilización fósforo-azufrada en soja. Pergamino, campaña 2009/10.

Trat	Fertilización	Tratamientos de inoculación	Plantas x m ²	Infectividad V3	Índice de Vigor R3	Unidades Spad
T1	PS 0kg	Testigo	50,8	100	3,7	39,7
T2		Br + Micorrizas siembra	60,2	100	3,6	39,2
T3		Br + Micorrizas preinoculado	60,9	100	3,7	40,8
T4		Br + Micorrizas pre + Apron Max	57,0	100	3,7	40,4
T5		Br + Micorrizas pre + Th-Carb	57,0	100	3,7	39,7
T6		Br + Micorrizas pre + Th-Carb + Protector	50,0	100	3,7	40,0
T1	PS 160 kg	Testigo	52,3	100	4,1	38,4
T2		Br + Micorrizas siembra	60,9	100	3,9	40,7
T3		Br + Micorrizas preinoculado	63,3	100	4,2	40,2
T4		Br + Micorrizas pre + Apron Max	65,6	100	4,4	40,5
T5		Br + Micorrizas pre + Th-Carb	60,9	100	4,0	40,3
T6		Br + Micorrizas pre + Th-Carb + Protector	63,3	100	4,3	40,7

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo

Infectividad: Determinada sobre 10 plantas por parcela. Una planta se considera infectiva cuando presenta al menos 3 nódulos normales en V3.

Tabla 5: Número de nódulos (N°) por planta en raíz principal (RP) y raíz secundaria (RS), localización y peso seco (PS) de nódulos en RP + RS, PS de raíces y nodulación específica (PSE) (mg nódulo / g raíz) de los tratamientos evaluados en el ensayo. En negrita se señalan los mejores tratamientos para cada variable cuantificada. Pergamino, campaña 2009/10.

Trat	Fertilización	Tratamientos de inoculación	N° RP	N° RS	Ubicación nódulos	PS nod (g/m ²)	PS Raiz (g/m ²)	PSE (mg nódulo / g raíz)
T1	PS 0kg	Testigo	17,5	9,5	RP 80	6,4	57,6	110
T2		Br + Micorrizas siembra	8,5	18,0	RP 40	20,4	92,8	220
T3		Br + Micorrizas preinoculado	19,0	19,0	RP 80	28,0	62,4	449
T4		Br + Micorrizas pre + Apron Max	19,0	20,0	RP 80	20,0	72,8	275
T5		Br + Micorrizas pre + Th-Carb	13,0	17,0	RP 60	22,4	78,4	286
T6		Br + Micorrizas pre + Th-Carb + Protector	10,0	17,5	RP 40	20,8	90,4	230
T7	PS 160 kg	Testigo	18,0	12,0	RP 100	7,2	59,2	122
T8		Br + Micorrizas siembra	17,0	16,0	RP 100	23,2	80,0	290
T9		Br + Micorrizas preinoculado	19,0	20,0	RP 20	22,4	78,4	286
T10		Br + Micorrizas pre + Apron Max	14,5	20,0	RP 0	20,0	65,6	305
T11		Br + Micorrizas pre + Th-Carb	20,0	20,0	RP 80	21,6	86,4	250
T12		Br + Micorrizas pre + Th-Carb + Protector	20,0	20,0	RP 100	33,6	59,2	568

No se determinó interacción significativa para rendimiento entre los tratamientos de inoculación y fertilización ($P=0,46$, $CV=5,8$ %), aunque sí efecto significativo de los tratamientos de inoculación ($P=0,04$) (Tabla 6). Los tratamientos T3 a T7, todos de preinoculado, alcanzaron rendimientos superiores al testigo (Figura 2). En términos cuantitativos, es posible detectar un efecto favorable del uso de fungicidas en semilla, lo cual puede estar relacionado al ambiente húmedo que acompañó al cultivo durante todo su ciclo, favorable a la proliferación de enfermedades tanto de suelo como foliares. Algunas de ellas alcanzaron singular importancia durante la campaña, como la “mancha en ojo de rana” *Cercospora sojina*, a la cual la variedad sembrada en este ensayo es particularmente susceptible. Las diferencias favorables a los tratamientos de inoculación alcanzaron su máxima expresión e incremento medio en presencia de fertilización fósforo-azufrada (Tabla 6 y Figura 3).

Tabla 6: Rendimiento de grano (kg ha^{-1}) y respuesta a diferentes tratamientos de semilla, inoculación y fertilización en soja. Pergamino, campaña 2009/10.

Trat	Fertilización	Tratamientos de inoculación	Rendimiento (kg ha^{-1})	Dif con Testigo (kg ha^{-1})	Dif con Testigo (%)	NG (NG m^{-2})	PG x 1000 (g)
T1	PS 0kg	Testigo	3703			2615	141,6
T2		Br + Micorrizas siembra	4153	450	12,1	2872	144,6
T3		Br + Micorrizas preinoculado	4066	363	9,8	2839	143,2
T4		Br + Micorrizas pre + Apron Max	4369	666	18,0	3013	145,0
T5		Br + Micorrizas pre + Th-Carb	4096	393	10,6	2946	139,0
T6		Br + Micorrizas pre + Th-Carb + Protector	4132	429	11,6	2964	139,4
T1		PS 160 kg	Testigo	3773			2766
T2	Br + Micorrizas siembra		4063	290	7,7	3027	134,2
T3	Br + Micorrizas preinoculado		4312	539	14,3	3125	138,0
T4	Br + Micorrizas pre + Apron Max		4252	479	12,7	3090	137,6
T5	Br + Micorrizas pre + Th-Carb		4588	815	21,6	3339	137,4
T6	Br + Micorrizas pre + Th-Carb + Protector		4459	686	18,2	3298	135,2
	Inoculación			0,04			
	Fertilización		0,25 n.s.				
	Int Inoc x fert		0,372 n.s.				
	CV=		5,8 %				

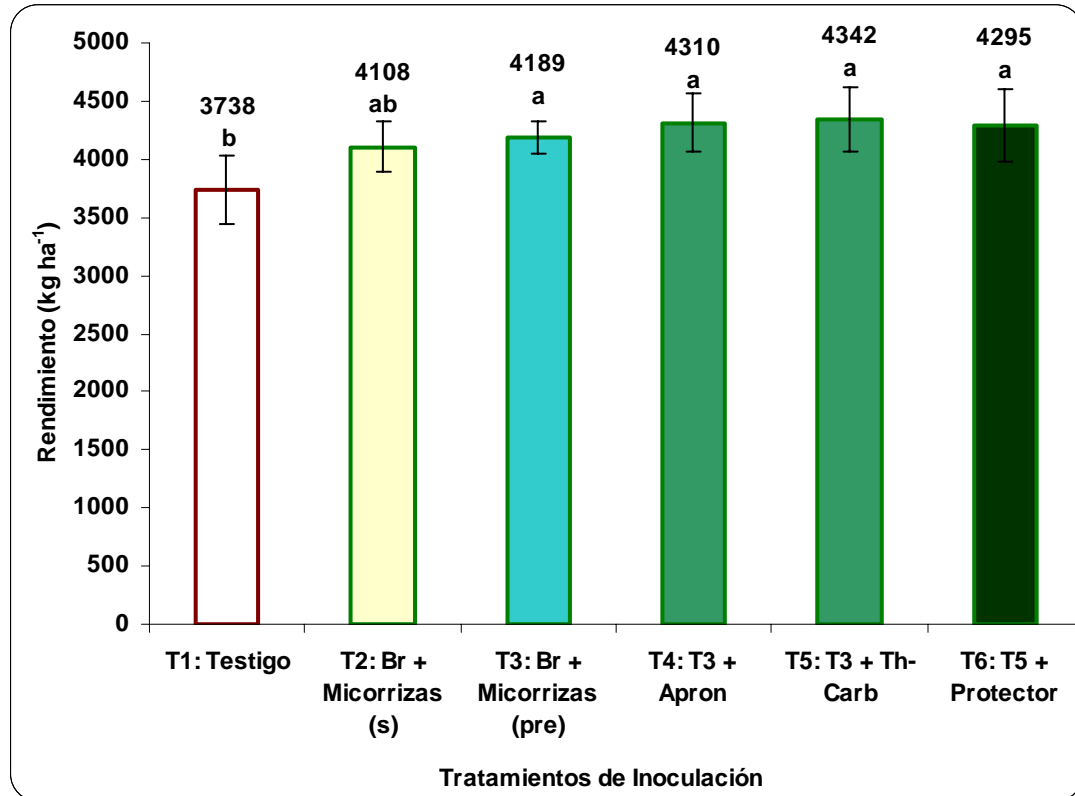


Figura 2: Rendimiento de soja como resultado de diferentes tratamientos de inoculación, con uso de Micorrizas, *Bradyrhizobium japonicum*, fungicidas curasemillas y protectores bacterianos. Los rendimientos son promedio de dos dosis de fertilizante fósforo-azufrado (PS0 y PS160). Pergamino, campaña 2009/10. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Las barras verticales indican la desviación standard de la media.

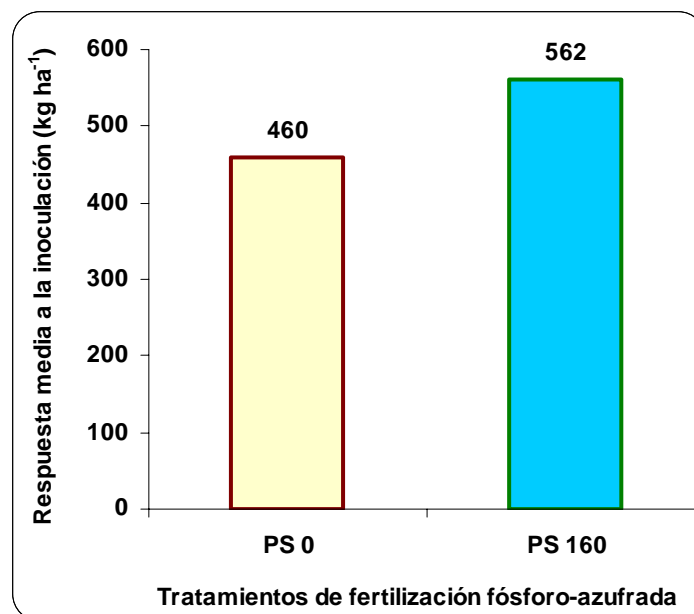


Figura 3: Respuesta a la inoculación en soja, media de todos los tratamientos, según dosis de fertilizante fósforo azufrado aplicado a la siembra. Pergamino, campaña 2009/10.

Los tratamientos de fertilización e inoculación mejoraron el crecimiento temprano de la planta incrementando el NG, variable que explicó con buen ajuste los rendimientos. El PG fue poco afectado (Tabla 6 y Figura 4).

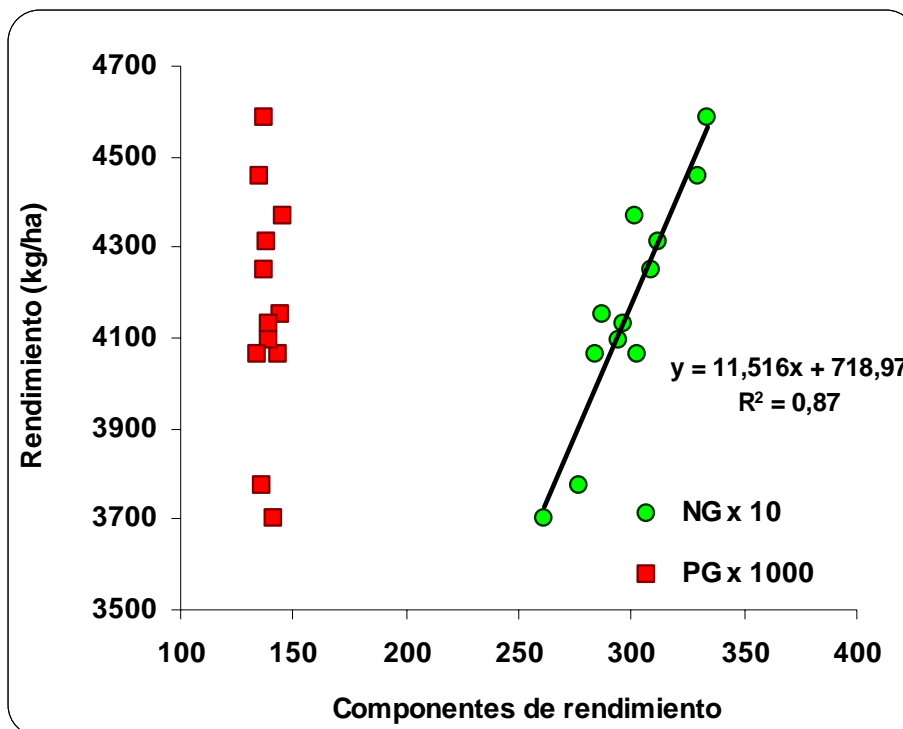


Figura 4: Relación entre los rendimientos y el número (círculos) o peso (cuadrados) de los granos.

Conclusiones

* Se determinaron diferencias significativas en los rendimientos. Los tratamientos de inoculación anticipada aventajaron al testigo, y se detectó un aporte favorable del uso de curasemillas sobre los rendimientos, sin que esto afecte la calidad de la nodulación. Por el contrario, el uso conjunto de un protector bacteriano mejoró el número y peso de nódulos, pero no sucedió lo mismo con los rendimientos.

* La fertilización fósforo azufrada fue otra práctica favorable con efecto positivo sobre los rendimientos, que permitió maximizar y hacer más estable la respuesta a los tratamientos de inoculación.

* El presente ensayo, además de mostrar los efectos favorables de la inoculación con *Bradyrhizobium* y otros organismos con efecto promotor del crecimiento, resalta la importancia de integrar factores de manejo y superar limitantes a la productividad como la nutrición y el control de enfermedades, con el fin de alcanzar los rendimientos potenciales del cultivo.