

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE SOJA BAJO CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO

Proyecto Regional Agrícola. Campaña 2008/09

Ings. Agrs. Gustavo Ferraris y Lucrecia Couretot

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

Av Frondizi km 4,5 (2700) Pergamino

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

Los objetivos de este ensayo fueron 1. Cuantificar el efecto sobre la nodulación y el rendimiento de un inoculante formulado sobre la base de *Bradyrhizobium japonicum* 2. Comparar un inoculante conteniendo promotores de crecimiento -*Azopirillum brasiliense* y *Pseudomonas fluorescens*- con un testigo y un inoculante convencional y 3. Evaluar el efecto complementario del agregado de fertilizante foliar y fungicida en los tratamientos inoculados. Hipotetizamos que estas tecnologías tienen la capacidad para incrementar los rendimientos del cultivo, en una diversidad de ambientes y bajo distintas condiciones de producción. Las hipótesis fueron testeadas en dos niveles de fertilización fósforo.azufrada.

Materiales y métodos:

El ensayo se implantó en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino 1, fase ligeramente erosionada, el día 3 de diciembre de 2008 en SD. El sitio experimental registra una rotación agrícola continua, con varios cultivos de soja en la secuencia. La variedad sembrada fue Nidera A 4613 RG, en hileras espaciadas a 32 cm. El diseño del ensayo correspondió a bloques completos al azar con cuatro repeticiones y arreglo factorial de tratamientos. Se evaluaron tratamientos de inoculación, fertilización foliar y fungicidas, que fueron combinados en un arreglo factorial con prácticas de fertilización –testigo y fertilizado con 160 kg ha⁻¹ de SPS (0-9-0-S12). Los tratamientos evaluados se detallan en la Tabla 1. El inoculante utilizado en T2 se denomina Nitroene de Laboratorios Degser SRL. El inoculante conteniendo PGPR (*Azopirillum brasiliense* y *Pseudomonas fluorescens*) correspondiente a los tratamientos T3, T4 y T5 se denomina DEGfétil PGPR. El fertilizante foliar ensayado fue Fertideg Max, cuya composición se presenta en la Tabla 2. Los fungicidas utilizados fueron Tebuconazole Dg (Tebuconazole 43%), al igual que los anteriores perteneciente a Laboratorios Degser SRL, y Amistar Xtra (Azoxistrobina 25%) de Syngenta Agro SA.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados en el ensayo. Evaluación de tecnologías para la producción de soja. Pergamino, campaña 2008/09.*

Denominación	Factor 1: Tratamientos de inoculación						Factor 2: Fertilización
	Inoculante	Dosis	Fertilizante foliar	Dosis	Fungicida	Dosis	
		ml kg semilla ⁻¹		ml ha ⁻¹	4000	ml ha ⁻¹	
T1. Testigo							PS 0 (Testigo) SPS 160 kg/ha
T2. Inoculado	Inoculado Bradyrhizobium	2,5					PS 0 (Testigo) SPS 160 kg/ha
T3. Inoculado PGPR	Bradyrhizobium + PGPR	3,0	Fertilizante Foliar	4000			PS 0 (Testigo) SPS 160 kg/ha
T4. Inoculado PGPR + Foliar	Bradyrhizobium + PGPR	3,0	Fertilizante Foliar	4000			PS 0 (Testigo) SPS 160 kg/ha
T5. Inoculado PGPR + Foliar + Fungicida	Bradyrhizobium + PGPR	3,0	Fertilizante Foliar	4000	Tebuconazole 43 % + Azoxistrobin 25 %	500 + 300	PS 0 (Testigo) SPS 160 kg/ha

Tabla 2: *Composición química, expresada en porcentaje de nutrientes (p/v), de la fuente de fertilizante foliar utilizadas en el ensayo.*

Fertilizante	Nitrógeno	Azufre	Cobalto	Boro	Zinc	Cobre	Manganeso	Magnesio	Molibdeno	Hierro
Fertideg Max	23,1	15,85	0,00015	1,205	0,636	0,015	0,09	0,0366	0,0015	0,12

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 (0-20 cm).*

Prof. (cm)	MO (%)	CE CE dS m ⁻¹	pH	Ntotal	P Bray ppm	S-SO4 ppm
0-20	2,58	0,54	5,4	0,130	14,9	5,0

En el estado V3 se realizó una evaluación de infectividad, considerando infectivas aquellas plantas con más de tres nódulos activos y morfológicamente normales. En cinco plantas por parcela de los tratamientos de inoculación inicial, 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). 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 no destructiva. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz. Sobre una muestra de grano se determinaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos.

Resultados y discusión

No se observaron diferencias claras en la emergencia de plantas. Todos los tratamientos presentaron infectividad plena en V3 (Tabla 4), aun los testigos, evidenciando una alta población bacteriana naturalizada en el lote. Hacia el estado reproductivo (R5), se advirtieron diferencias de vigor y estado general de la planta a favor de los tratamientos fertilizados con SPS 160, inoculados especialmente con PGPR, con uso de fertilizante foliar y muy particularmente, cuando se utilizaron

fungicidas. De igual modo, el índice de verdor, medida que podría correlacionarse con el contenido foliar de N, fue ligeramente incrementado en los tratamientos con agregado de tecnología en comparación con el testigo absoluto.

En la Tabla 5 se señala el mejor tratamiento para cada variable relacionada con la calidad de nodulación. La jerarquía de los tratamientos fue dispar según la variable considerada, sin que pudiera detectarse una tendencia central a favor de alguno de los tratamientos (Figura 1).

Tabla 4: Número de plantas emergidas, infectividad en V3, índice de vigor en R5 e índice de verdor determinado mediante lecturas Spad en R4. Evaluación de tecnologías para la producción de soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Inoculación	Plantas x m ²	Infectividad V3	IV Vigor R5	Unidades Spad
PS 0	Testigo	40,6	100	3,6	45,6
	Inoculado	32,8	100	3,8	46,0
	Inoculado PGPR	29,7	100	3,9	46,8
	Inoculado PGPR + Ffoliar	38,3	100	4,3	46,4
	Inoculado PGPR + Ffoliar + fungicida	46,9	100	4,4	46,4
SPS 160 kg	Testigo	50,8	100	3,5	45,9
	Inoculado	46,9	100	4,0	44,6
	Inoculado PGPR	48,4	100	4,3	46,0
	Inoculado PGPR + Ffoliar	44,5	100	4,5	47,1
	Inoculado PGPR + Ffoliar + fungicida	35,2	100	4,7	45,7

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), peso seco (PS) de nódulos en RP y RS, PS de raíces y nodulación específica (PSE) (mg nódulo / g raíz) de los tratamientos evaluados en el ensayo. El recuadro en verde señala el mejor tratamiento para cada variable cuantificada. Evaluación de tecnologías para la producción de soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Inoculación	N° RP	N° RS	PS RP (g/m ²)	PS RS (g/m ²)	PS x raíz (g)	PSE (mg nódulo / g raíz)
PS 0	Control	12,8	22,8	0,92	2,76	131,6	28,0
	Inoculado	26,8	26,8	3,68	3,68	101,2	72,7
	Inoculado PGPR	18,8	36,0	3,68	4,6	112,2	73,8
SPS 160 kg	Control	19,4	31,4	3,68	5,52	108,6	84,7
	Inoculado	19,6	20,6	4,6	3,68	108,6	76,3
	Inoculado PGPR	16,0	13,6	2,76	1,84	42,3	108,7

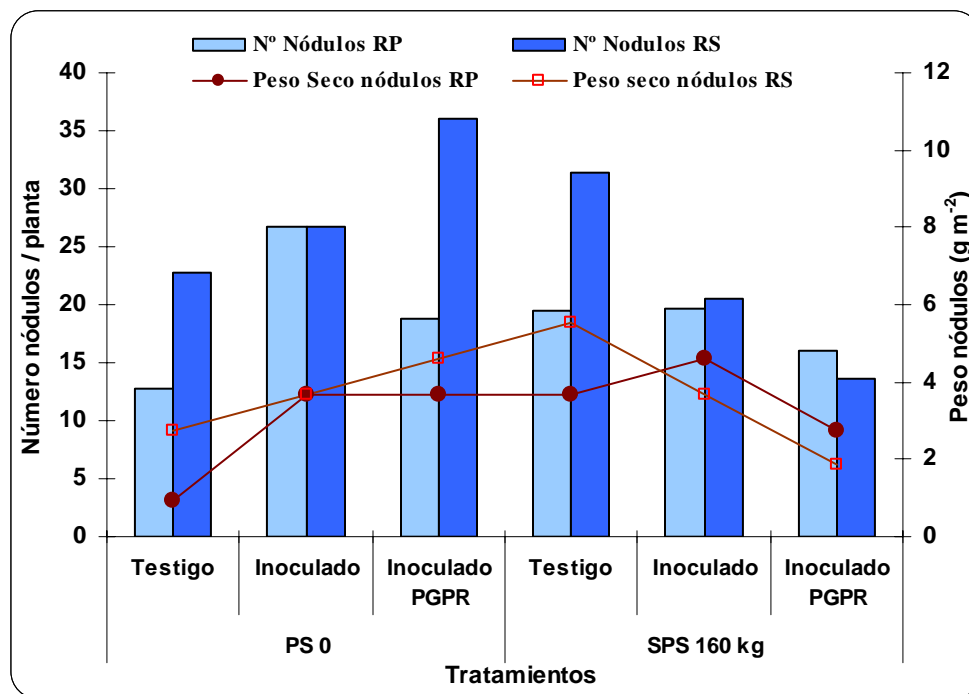


Figura 1: Número (N°) y peso seco (P_{seco}) de nódulos por planta de soja en raíz principal (RP) y raíces secundarias (RS) como resultado de diferentes tratamientos de inoculación (Control e inoculado con PGPR Soja) y uso de fertilizantes (Testigo y SPS 160). Pergamino, campaña 2008/09.

Se determinó efecto significativo de los tratamientos de inoculación, fertilización foliar y fungicidas ($P=0,09$) y de la fertilización fósforo-azufrada ($P=0,03$) (Tabla 6). La respuesta a las tecnologías de inoculación, fertilización foliar y uso de fungicida no fue modificada por la presencia o no de fertilización fósforo-azufrada ($P>0,10$, $CV=7,39\%$).

La suma de tecnologías permitió incrementos aditivos en los rendimientos, superando significativamente al testigo cuando se utilizó la inoculación con *Bradyrhizobium* – *Azospirillum-Pseudomonas* y la fertilización foliar de manera conjunta (Figura 2.a). De igual manera, el agregado de fósforo y azufre (SPS 160) permitió incrementar los rendimientos en 230 kg ha^{-1} , diferencia que fue estadísticamente significativa (Figura 2.b).

Tabla 6: Rendimiento de grano (kg ha^{-1}) número (NG), peso (P1000) de los granos y respuesta a diferentes prácticas de manejo. Evaluación de tecnologías para la producción de soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Denominación	Rendimiento (kg ha^{-1})	NG m^{-2}	P1000 (g)	Dif con control (kg ha^{-1})	Dif media (SPSn -PSf 0)
PS 0	Testigo	2526	1825	138,4		230
	Inoculado	2691	2122	126,8	165	
	Inoculado PGPR	2517	1879	134,0	-9	
	Inoculado PGPR + Ffoliar	3086	2282	135,2	560	
	Inoculado PGPR + Ffoliar + fungicida	2834	2154	131,6	308	
SPS 160 kg	Testigo	2773	2004	138,4		
	Inoculado	2826	2059	137,2	53	
	Inoculado PGPR	3034	2155	140,8	261	
	Inoculado PGPR + Ffoliar	3086	2198	140,4	313	
	Inoculado PGPR + Ffoliar + fungicida	3086	2173	142,0	313	
Inoculación		P=0,037				
Fertilización		P=0,095				
Int Inoc x fert		P=0,545				
CV=		7,39 %				

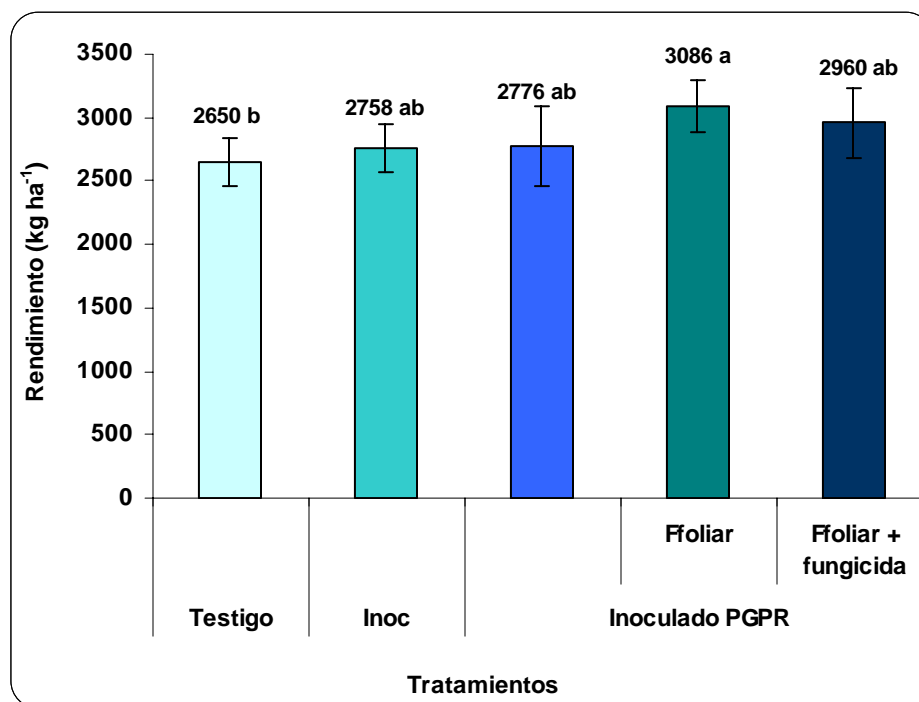


Figura 2.a

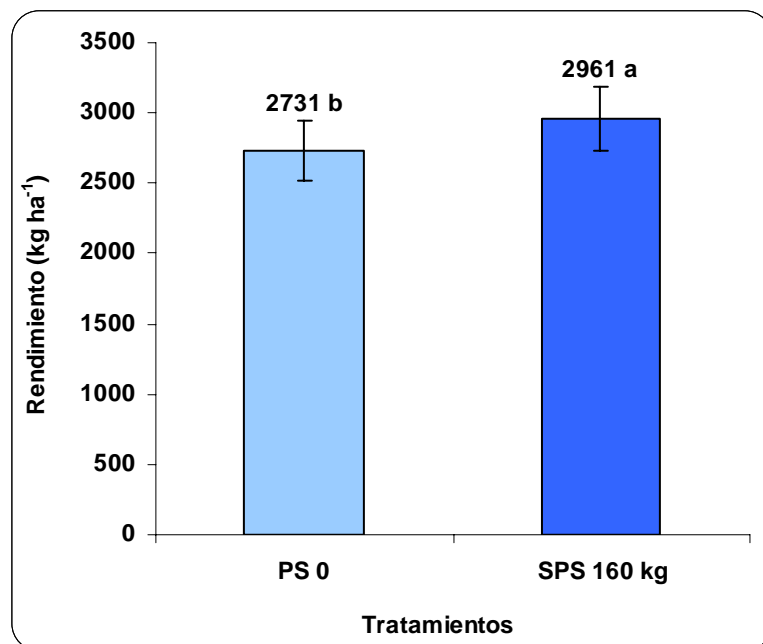


Figura 2.b

Figura 2: Rendimiento como resultado de la combinación de a)tratamientos de inoculación, fertilización foliar y uso de fungicidas en soja y b)fertilización fósforo-azufrada, en comparación con un testigo no fertilizado. Pergamino, campaña 2008/09. Las líneas verticales representan la desviación Standard de la media. Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media.

El comportamiento relativo de los tratamientos en esta campaña fue similar al observado en la campaña 2007/08, más favorable desde el punto de vista climático y con mejores rendimientos. En aquel ensayo, el mejor desempeño se observó por la combinación de tecnologías de inoculación, fertilización foliar y uso de fungicidas (Figura 3), tendencia similar a la observada en la presente campaña (Figura 2).

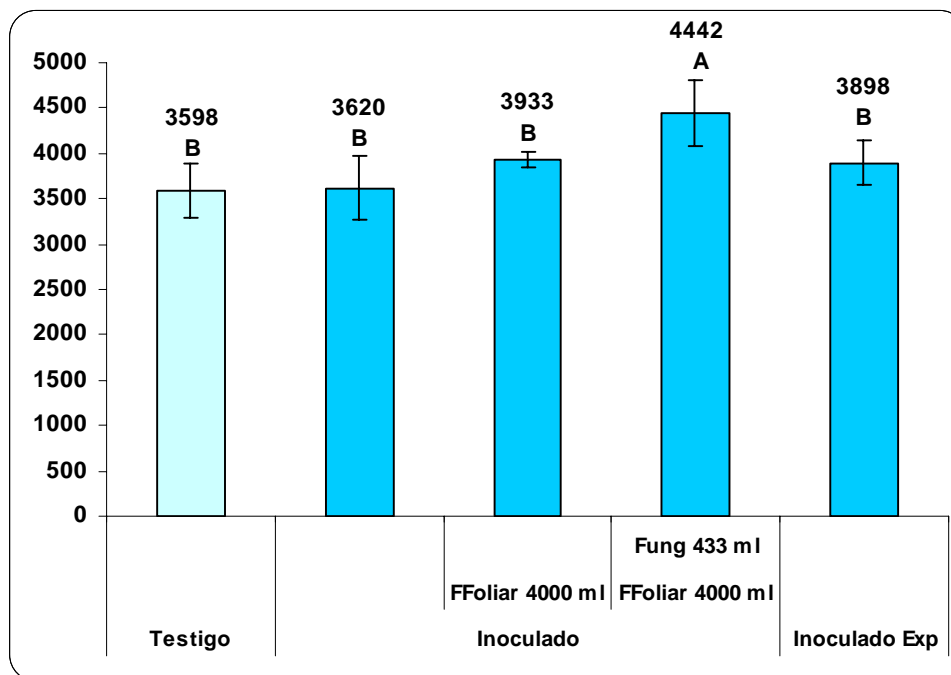


Figura 3: Rendimiento como resultado de diferentes tratamientos de inoculación, fertilización foliar y uso de fungicidas en soja. Pergamino, campaña 2007/08. Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media.

Conclusiones:

* Los rendimientos se incrementaron significativamente como resultado de la fertilización fósforo-azufrada y el uso de tecnologías complementarias. En este último caso, los mejores resultados se obtuvieron por la suma de prácticas de cultivo, alcanzando diferencias estadísticas cuando se combinaron el uso de un inoculante conteniendo PGPR y la fertilización foliar.

* Aún en campañas climáticamente contrastantes, la respuesta a la inoculación, fertilización foliar y uso de fungicidas se mantuvo proporcionalmente constante, evidenciando cierta estabilidad en los resultados. Esto permite posicionarlos como tecnologías apropiadas para mejorar la producción del cultivo, en forma complementaria a otras prácticas agronómicas como la fertilización fósforo-azufrada, la selección de genotipos y una mejora general del ambiente productivo.