

EN QUE MEDIDA CONTRIBUYEN LA FERTILIZACIÓN FÓSFORO-AZUFRADE, LA INOCULACIÓN CON BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM Y PGPR, EL USO DE FERTILIZANTES FOLIARES Y FUNGICIDAS A LOS RENDIMIENTOS DE SOJA?

Proyecto Regional Agrícola. Campaña 2009/10

Ings. Agrs. Gustavo Ferraris y Lucrecia Couretot

Proyecto Regional Agrícola-CERBAN. Area 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*, el uso de fungicidas y la fertilización foliar. 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 manejos y procesos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la contribución de diferentes prácticas de manejo – fertilización fósforo-azufrada, inoculación, fertilización foliar y uso de fungicidas- al rendimiento del cultivo de soja. Hipotetizamos que estas tecnologías permiten de manera aditiva superar limitantes a la productividad, que se traducen en crecientes aumentos en los rendimientos del cultivo.

Materiales y métodos:

El ensayo se implantó en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino 1, fase ligeramente erosionada, el día 12 de noviembre de 2009 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 fue en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron tratamientos de inoculación, que fueron combinados en un arreglo factorial con prácticas de fertilización –testigo y fertilizado con 160 kg ha⁻¹ de mezcla compuesta por SPS (50%) y SPT (50%) siendo la composición final media (0-14,5-0-S6). Los tratamientos evaluados se detallan en la Tabla 2. Los inoculantes utilizados se denominan Nitroene Premium (*Bradyrhizobium japonicum*) y Degfertil PGPR Soja (*Bradyrhizobium japonicum*, *Azospirillum brasiliense* y *Pseudomonas fluorescens*). A todos los tratamientos se agregó un fungicida curasemillas. Como fertilizante foliar se usó Fertideg Max, de laboratorios Degser SRL. El fungicida foliar aplicado fue una mezcla de Tebuconazole (43 %) más Azoxistrobina (25%).

Tabla 2: Tratamientos evaluados en el ensayo. Tecnologías para el cultivo de soja. Pergamino, campaña 2009/10.

Tratamiento	Factor 1: Tratamientos Tecnológicos	Denominación	Dosis de aplicación	Factor 2: Estrategia fertilización
T1F1	Control	Control	-----	PS 0 (Testigo)
T2F1	Bradyrhizobium	Nitroene Premium	1 ml kg ⁻¹ semilla	PS 0 (Testigo)
T3F1	Bradyrhizobium + Azospirillum + Pseudomonas	Degfertil PGPR Soja	3 ml kg ⁻¹ semilla	PS 0 (Testigo)
T4F1	T3 + Fertilizante foliar	Degfertil PGPR Soja + Fertideg Max	3 ml kg ⁻¹ semilla 6000 ml	PS 0 (Testigo)
T5F1	T3 + Fertilizante foliar + fungicida	Degfertil PGPR Soja + Fertideg Max + Tebucon + Azoxistrobina	3 ml kg ⁻¹ semilla 6000 ml 450 ml + 250 ml	PS 0 (Testigo)
T1F2	Control	Control	-----	PS 160 kg/ha
T2F2	Bradyrhizobium	Nitroene Premium	1 ml kg ⁻¹ semilla	PS 160 kg/ha
T3F2	Bradyrhizobium + Azospirillum + Pseudomonas	Degfertil PGPR Soja	3 ml kg ⁻¹ semilla	PS 160 kg/ha
T4F2	T3 + Fertilizante foliar	Degfertil PGPR Soja + Fertideg Max	3 ml kg ⁻¹ semilla 6000 ml	PS 160 kg/ha
T5F2	T3 + Fertilizante foliar + fungicida	Degfertil PGPR Soja + Fertideg Max + Tebucon + Azoxistrobina	3 ml kg ⁻¹ semilla 6000 ml 450 ml + 250 ml	PS 160 kg/ha

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	2,98	0,008	5,4	0,149	22,8	46,1	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 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, el cual determina la intensidad de verde mediante una lectura adimensional no destructiva. Se evaluó la cobertura del cultivo sobre el suelo durante el período crítico, mediante la toma y procesamiento de imágenes digitales. 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.

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 922 mm. No

se registró déficit hídrico 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. Por lo tanto puede decirse que la evaluación de tecnologías se realizó en un ambiente climático cercano al potencial.

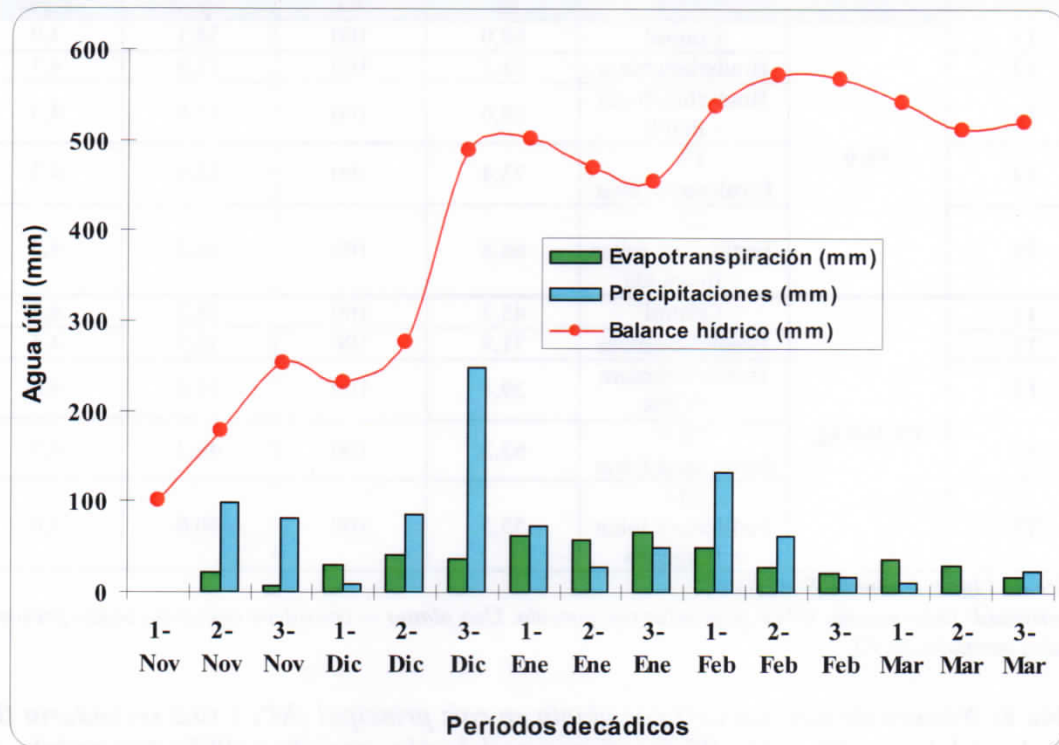


Figura 1: Balance hídrico, evapotranspiración y precipitaciones decádicas acumuladas (mm) en el sitio experimental. Pergamino, Bs As, campaña 2009/10. Precipitaciones totales durante el ciclo 922 mm.

Resultados y discusión

La emergencia de plantas fue levemente superior en los testigos, aunque estas no fueron significativas y no se atribuyen a un efecto de tratamiento. Todos presentaron infectividad plena en V3 (Tabla 4), aun los testigos, evidenciando una buena población bacteriana naturalizada en el lote. Con leves diferencias, el índice de verdor evaluado en Unidades Spad fue mayor en los tratamientos inoculados y, sobre todo, con uso de fungicidas. Esta medida ha mostrado correlación con el contenido de clorofila y, de manera indirecta, con el contenido foliar de N. Lo mismo sucedió con la cobertura en máximo tamaño de vainas y el vigor de la planta. En estas variables se observaron diferencias entre tratamientos de inoculación, en general a favor de aquel que contiene PGPR. Sin embargo, la fertilización fósforo azufrada al mejorar el crecimiento de las plantas fue la variable de mayor impacto sobre vigor y cobertura.

En la Tabla 5 se señala el mejor tratamiento para cada variable relacionada con la calidad de nodulación. De acuerdo a los datos registrados, se observa una clara tendencia central: Los parámetros relacionados con la nodulación mejoran y alcanzan su máximo valor cuando se combinó la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y PGPR.

Tabla 4: Número de plantas emergidas, infectividad en V3, índice de vigor en R3, intensidad de verde determinado mediante lecturas Spad en R4 y cobertura del cultivo sobre la superficie en R4. Ensayo de tecnologías en soja. Pergamino, campaña 2009/10.

Tratamiento	Fertilización	Inoculación	Plantas x m ²	Infectividad V3	Unidades Spad	Índice de Vigor	Cobertura R4
T1	PS 0	Control	68,0	100	38,1	3,9	89,1
T2		Bradyrhizobium	61,7	100	37,9	4,1	92,5
T3		Bradyrhizobium + PGPR	58,6	100	37,8	4,3	89,2
T4		T3 + Fertilizante foliar	73,4	100	35,9	4,3	89,1
T5		T3 + Fertilizante foliar + fungicida	64,8	100	38,2	4,3	87,2
T1	PS 160 kg	Control	45,3	100	38,3	4,3	87,2
T2		Bradyrhizobium	71,9	100	39,5	4,5	89,6
T3		Bradyrhizobium + PGPR	39,1	100	37,6	4,6	92,6
T4		T3 + Fertilizante foliar	63,3	100	40,2	4,7	93,8
T5		T3 + Fertilizante foliar + fungicida	55,5	100	40,0	4,6	93,9

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 (Nº) por planta en raíz principal (RP) y raíz secundaria (RS), 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 señala el mejor tratamiento para cada variable cuantificada. Ensayo de tecnologías en soja. Pergamino, campaña 2009/10.

Tratamiento	Fertilización	Inoculación	Nº RP	Nº RS	PS Raíz (g/m ²)	PS x raíz (g)	PSE (mg nódulo / g raíz)
T1	Promedio ambas dosis	Control	11	15,5	30,4	76,8	0,40
T2		Bradyrhizobium	7	16,5	18,4	62,4	0,29
T3		Bradyrhizobium + PGPR	12	17,5	38,4	61,6	0,62

No se determinó interacción significativa para rendimiento entre los tratamientos de inoculación y fertilización ($P=0,556$, $CV=7,1$ %), así como tampoco efectos individuales de la fertilización ($P=0,89$) ni de nivel tecnológico ($P=0,58$). Sin embargo, en términos cuantitativos los incrementos son importantes, considerando que el cultivo de soja registra menor respuesta relativa en relación a otras especies.

Con relación al testigo sin agregado de tecnologías, la mejora global fue notoriamente superior cuando se realizó en presencia de fertilización fósforo azufrada (21,7 %) que en ausencia de esta (13,3 %). Es evidente que estos elementos, y sobre todo P, permite una mejora global en la captura de recursos gracias a los efectos favorables de este nutriente sobre el crecimiento de la planta y el metabolismo energético. Sin uso de PS, la contribución de la inoculación con Bradyrhizobium, PGPR, Fertilización foliar y uso de fungicidas fue de 6,2; 2,2; 5 y -3,9 %, respectivamente (Figura 3.a). Con agregado de PS, los incrementos alcanzaron para la misma secuencia de prácticas a 9,8; 2,1; 4,7 y 5,1% siendo más pronunciados y mostrando una tendencia más lineal y uniforme (Figura 3.b). La

diferencia media entre tratamientos con PS y testigos fue de 6,3 %. Si sumamos esto al máximo incremento logrado por la suma de las restantes tecnologías (21,7 %) se puede concluir que en una campaña sin limitaciones hídricas es factible alcanzar incrementos de hasta un 28% por contribución tecnológica, cuando esta es aplicada de manera optimizada y se superan las limitantes a la productividad.

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

Trat	Denominación	Fertilización	Rendimiento (kg ha^{-1})	Dif con control (Tn-T1) (kg ha^{-1})	Rendimiento (kg ha^{-1})	Dif con control (Tn-T1) (kg ha^{-1})
T1	Control	PS 0	3985		3985	
T2	Bradyrhizobium		4234	276	4234	276
T3	Bradyrhizobium + PGPR		4318	360	4318	360
T4	T3 + Fertilizante foliar		4519	561	4519	561
T5	T3 + Fertilizante foliar + fungicida		4363	405	4363	405
T1	Control	SPS 160 kg	4440		4440	
T2	Bradyrhizobium		4375	-65	4375	-65
T3	Bradyrhizobium + PGPR		4459	19	4459	19
T4	T3 + Fertilizante foliar		4645	205	4645	205
T5	T3 + Fertilizante foliar + fungicida		4751	311	4751	311
Niveles tecnológicos			0,581		0,581	
Fertilización			0,896		0,896	
Int Inoc x fert			0,556		0,556	
CV=			7,1 %		7,1 %	

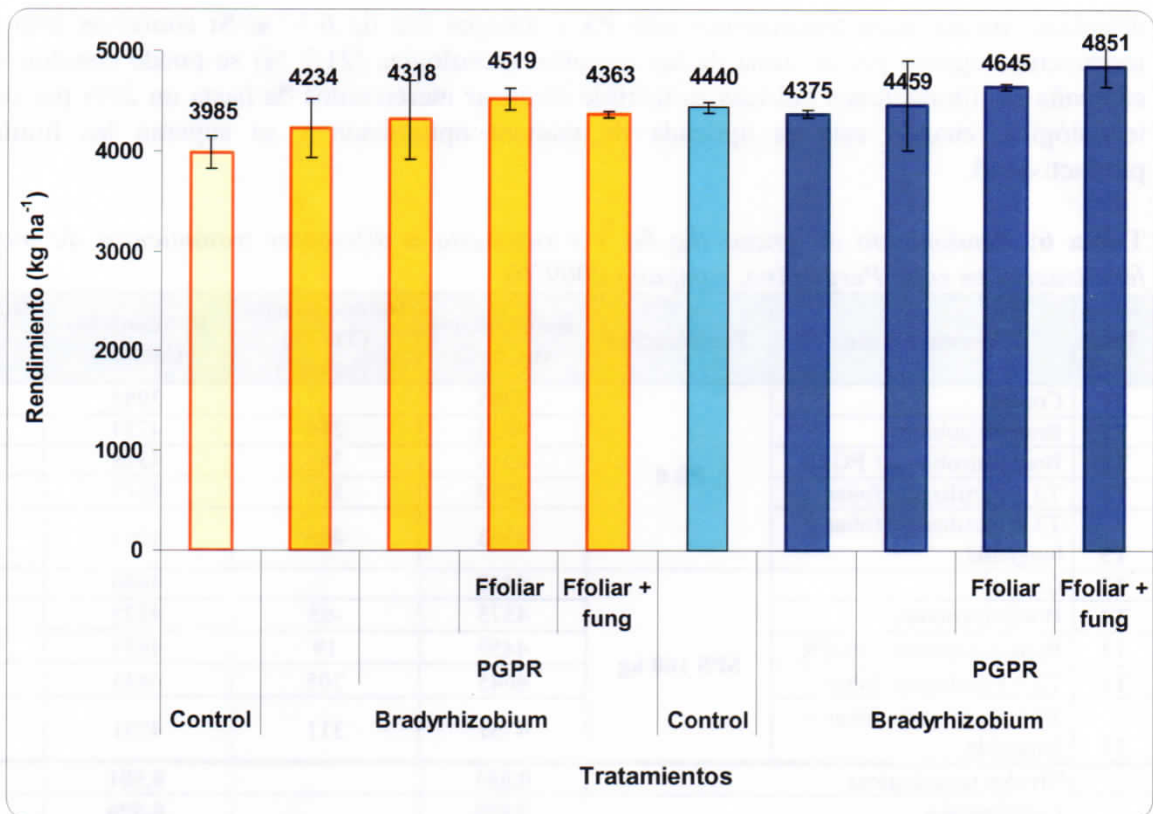


Figura 2: Rendimiento como resultado de la combinación de niveles crecientes de tecnología de insumos bajo dos niveles de fertilización fósforo-azufrada en soja. Pergamino, campaña 2009/10. Las líneas verticales representan la desviación Standard de la media.

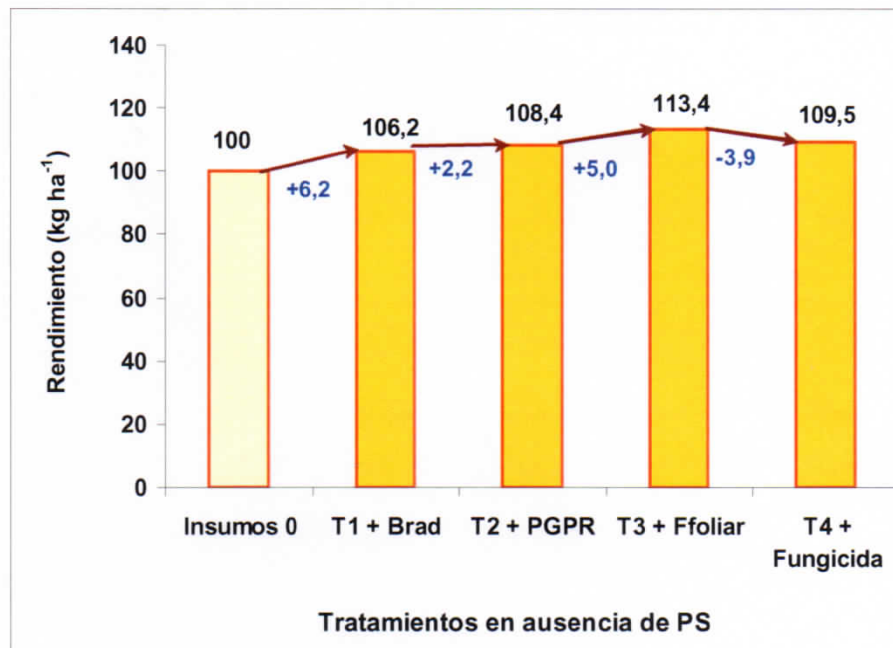


Figura 3.a

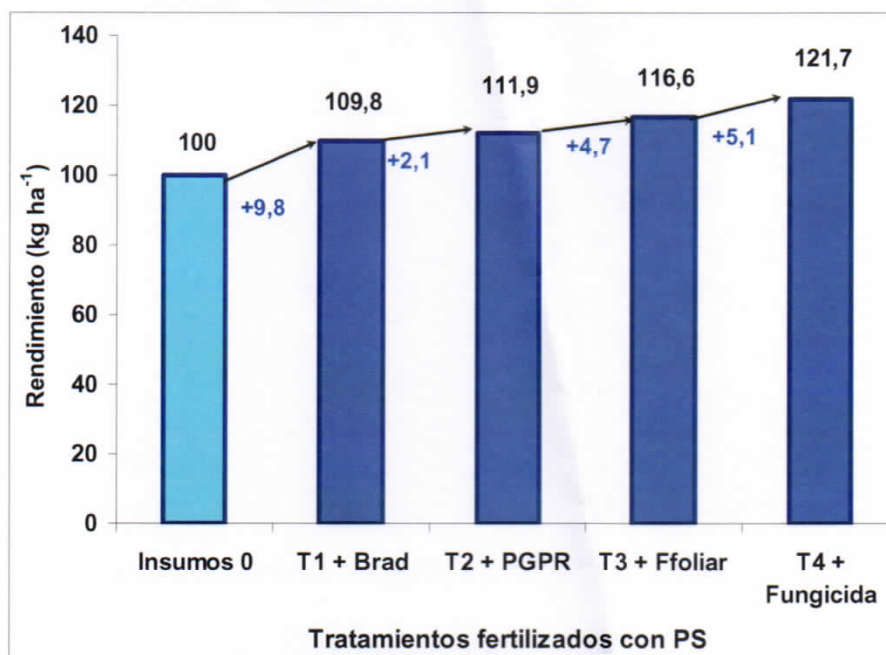


Figura 3.b

Figura 3: Contribución relativa de diferentes tecnologías a los rendimientos de soja, sin fertilización fósforo azufrada (Figura 3.a) o con agregados de PS 160 kg ha⁻¹ (Figura 3.b).

En la Tabla 7 se presenta la relación entre las variables de cultivo evaluadas en el ensayo y los rendimientos. El número de plantas correlacionó en forma inversa con los rendimientos, mientras que la cobertura del cultivo en formación de vainas y el NG se asociaron positivamente.

Tabla 7: Correlación estadística (R) entre el rendimiento y las variables evaluadas en el ensayo.

Tratamientos	Coefficiente de regresión (R ²)	Coefficiente de regresión (R ²)
Plantas x m2	-0,10	P>0,10 n.s.
Spad	0,09	P>0,10 n.s.
Índice de vigor	0,01	P>0,10 n.s.
Cobertura	0,60	P=0,060
NG	0,95	P=0,000
PG	0,37	P>0,10 n.s.

Conclusiones

*El agregado de tecnologías en forma aditiva logró incrementos de hasta un 28 % en el cultivo de soja. Dentro de ellas, la fertilización fósforo-azufrada (6,3 %) y la inoculación con *Bradyrhizobium* (6,2-9,8 %) fueron las prácticas de mayor contribución, mientras que el uso de PGPR en soja la de menor importancia (2,1-2,2%).

*Los efectos fueron más lineales y de mayor magnitud en presencia de fertilización fósforo azufrada, señalando a estos nutrientes como importantes estabilizadores de los rendimientos.

*La tecnología disponible, utilizada en base a criterios técnicos y con un abordaje integral del sistema, tiene una gran potencialidad para incrementar los rendimientos de Soja en el norte de Buenos Aires.