



Estación Experimental Agropecuaria Pergamino

"Ing. Agr. Walter Kugler"

Desarrollo Rural

Proyecto Regional Agrícola - CRBAN

**TECNOLOGÍA EN EL USO DE INOCULANTES PARA SOJA.
EFECTOS SOBRE LA NODULACIÓN, EL RENDIMIENTO Y SU
INTERACCIÓN CON PRÁCTICAS DE MANEJO**

** Ing. Agr. Ferraris, G. N.*

** Ing. Agr. L. A. Couretot*

*** Ing. Agr. M. Díaz Zorita*

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Resúmen:

Se realizó un ensayo en Pergamino bajo condiciones de sequía, destinado a evaluar diferentes formulaciones de inoculantes para soja, en combinación con prácticas de cultivo como la fertilización y la aplicación de fungicidas foliares. El uso de inoculantes mejoró la nodulación, vigor y rendimiento, especialmente cuando se usó un inoculante con inductores de la nodulación. Asimismo, la fertilización fósforo-azufrada aumentó el vigor temprano de la planta y el rendimiento del cultivo. Se observó una interacción positiva entre inoculación y otras prácticas de manejo, mostrando que la respuesta a la práctica se ve favorecida cuando se superan limitantes severas a la productividad, como enfermedades o carencias nutricionales.

Palabras clave:

Inoculación, soja, interacciones.

Introducción

El Nitrógeno (N) es el elemento que presenta mayor demanda por parte del cultivo de soja. El rendimiento de este cultivo se relaciona de manera positiva con la absorción de N por la planta. Como sucede con otras especies de la familia de las Leguminosas, la soja cubre sus requerimientos de N a través de la fijación simbiótica del nitrógeno (FBN) atmosférico, de la absorción del N inorgánico del suelo y, eventualmente, del aportado mediante fertilizantes. Si bien durante las primeras etapas del ciclo de cultivo el N proveniente del suelo es la principal vía de abastecimiento, poco tiempo después la FBN se convierte en la mayor fuente de provisión al sistema, motivo por el cual este proceso debe ser optimizado. Con este fin, en los últimos años han surgido nuevas formulaciones e inoculantes que requieren ser evaluados.

Los objetivos de este trabajo fueron 1) Comparar el efecto sobre la nodulación y el rendimiento de inoculantes comerciales y experimentales, a través de la combinación de formulaciones y la presencia o no de inductores de la nodulación (LQO) y 2) Estudiar la interacción con otras prácticas de cultivo como la fertilización fósforo-azufrada y el uso de fungicidas foliares. Hipotetizamos que nuevas formulaciones y mejores prácticas de cultivo tienen la capacidad para optimizar la nodulación y el rendimiento del cultivo, en comparación con las prácticas tradicionales.

* Técnicos de la AER 9 de Julio - Desarrollo Rural INTA Pergamino

** CONICET-FAUBA (Cátedra de cereales), DZD Agro y Merck CropBioscience Argentina S.A.

Materiales y métodos

El ensayo se implantó en la localidad de Pergamino, sobre un suelo Serie Pergamino 1, fase ligeramente erosionada. 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 dos 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 SPS (0-9-0-512) - y uso de fungicidas (testigo y tratado con Pyraclostrobyn + Epoxiconazole). Los tratamientos evaluados se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Tratamientos evaluados en el ensayo. Inoculación, fertilización y uso de fungicidas en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

	Factor 1: Tratamientos de inoculación			Factor 2: Prácticas de manejo
Denominación	Inoculante 3 ml kg ⁻¹	Fungicida 2 ml kg ⁻¹	Potenciador 0,7 + 0,7 ml kg ⁻¹	
Control	Control			PSf 0 (Testigo)
Optimize	Optimize NS1			
Cell Tech	Cell Tech NS7			
Full Action	Cell Tech NS7	Si	Si	SPS 160 kg/ha
Optimize Full	Optimize NS1	Si	Si	SPS 160 kg/ha + fungicida 500 ml ha ⁻¹
Optimize PW	Optimize NS1		Si	

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 2.

Tabla 2: Análisis de suelo a la siembra del ensayo.

Prof.	MO	CE	pH	Ntotal	P Bray	S-SO4
(cm)	(%)	CE dS m ⁻¹			ppm	ppm
0-20	2,58	3,58	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 R4 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 no destructiva. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz.

Resultados y discusión

El cultivo se desarrolló bajo condiciones de estrés hídrico severo, siendo el déficit de evapotranspiración acumulado de 161 mm. No se observaron diferencias en la emergencia de plantas. Todos los tratamientos presentaron infectividad plena en V3 (Tabla 3), aun los testigos, evidenciando una alta población bacteriana naturalizada en el lote. El crecimiento de las plantas, caracterizado por el índice de vigor en un estado temprano (V3, 30 dds) y al inicio del período

crítico (R3) fue marcadamente afectado por la fertilización fósforo azufrada, y favorecida por los tratamientos de inoculación, en especial cuando se utilizó Optimize (Tabla 3).

No se determinaron diferencias significativas ($P>0,10$) en el número de nódulos en RP y RS, afectado por la fuerte variabilidad que suelen presentar estos parámetros. Para cada medida relacionada con la magnitud de la nodulación, en la Tabla 4 se señalan los 3 mejores tratamientos. De esta manera, se aprecia que los tratamientos fertilizados con PS se destacaron sobre los testigos, especialmente en la nodulación sobre la raíz principal (Tabla 4). Asimismo, la inoculación con Optimize PW se integró entre los mejores tratamientos, en cinco y tres de los seis parámetros evaluados, según se considere parcelas con o sin agregado de fertilizante, respectivamente. Igualmente el tratamiento Optimize fertilizado manifestó un excelente desempeño. Las parcelas que no recibieron fungicida sobre semilla parecieran desarrollar mejor nodulación que sus similares tratadas. El efecto del fungicida foliar no se cuantificó en las variables descriptas en las Tablas 3 y 4, por cuanto su aplicación se realizó al momento de realizar estas determinaciones.

Tabla 3: Número de plantas emergidas, Infectividad en V3, Índice de vigor en V3 y R3 e índice de verdor determinado mediante lecturas Spad en R4. Los cuadros verdes señalan los tres mejores tratamientos para cada variable cuantificada. Tratamientos experimentales y comerciales de inoculación en combinación con el uso de fertilizantes en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Denominación	Plantas x m ²	Infectividad V3	IVigor 30 dds	IVigor R3	Unidades Spad
Testigo PSf 0	Control	30,5	100	3,0	2,5	44,9
	Optimize	39,0	100	3,0	3,0	45,7
	Cell Tech	39,5	100	3,0	2,5	44,3
	Full Action	31,0	100	3,5	3,0	46,5
	Optimize Full	35,5	100	3,0	3,0	45,5
	Optimize PW	31,0	100	4,0	3,0	45,6
SPS 160 kg	Control	34,5	100	4,0	3,0	45,2
	Optimize	41,0	100	4,5	3,5	45,7
	Cell Tech	39,5	100	4,0	3,0	47,0
	Full Action	34,5	100	3,5	3,0	46,3
	Optimize Full	38,5	100	4,0	3,5	45,9
	Optimize PW	31,0	100	4,5	4,0	46,7

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 4: Número de nódulos (Nº) 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. Los cuadros verdes señalan los tres mejores tratamientos para cada variable cuantificada. Tratamientos experimentales y comerciales de inoculación en combinación con el uso de fertilizantes en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Denominación	Nº RP	Nº RS	PS RP (g/m ²)	PS RS (g/m ²)	PS x raíz (g)	mg nódulo / g de raíz
Testigo PSf 0	Control	8,6	13,2	1,84	3,68	136,2	40,5
	Optimize	6,8	15,2	0,46	2,76	126,0	25,5
	Cell Tech	9,2	17,4	0,92	2,76	95,7	38,5
	Full Action	7,2	13,8	0,46	0,92	65,3	21,1
	Optimize Full	5,8	12,8	0,46	1,84	116,8	19,7
	Optimize PW	13,8	17,8	1,84	2,76	83,7	54,9
SPS 160 kg	Control	6,0	4,2	0,46	0,92	84,6	16,3
	Optimize	23,4	31,4	3,68	3,68	89,2	82,5
	Cell Tech	8,0	5,4	0,92	0,46	105,8	13,0

	Full Action	10,4	10,2	2,76	2,76	83,7	65,9
	Optimize Full	4,4	6,0	0,92	0,92	74,5	24,7
	Optimize PW	16,0	34,0	1,84	6,44	92,9	89,1
	Valor de P	0,238 n.s.	0,18 n.s.				
	CV (%)	53,0 %	81,5 %				

La materia seca evaluada en R6 presentó un comportamiento variable que no permite visualizar una tendencia clara (Tabla 5), sin que se manifestasen efectos significativos ni interacción entre los tratamientos ensayados ($P>0,10$). En cambio, se determinó interacción significativa para rendimiento entre los tratamientos de inoculación y las prácticas de manejo ($P=0,03$, $CV=9,3\%$), así como efecto significativo de la inoculación ($P=0,07$) y el manejo ($P=0,04$) tomados individualmente. La interacción se debería a la mayor respuesta a los tratamientos de inoculación cuando fue acompañada de otras prácticas de cultivo (Tabla 5).

Tabla 5: Materia seca acumulada en R6, rendimiento de grano (kg ha^{-1}) y respuesta a diferentes prácticas de manejo Tratamientos de inoculación, fertilización y uso de fungicidas en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Denominación	Materia Seca (kg ha^{-1})	Rendimiento (kg ha^{-1})	Dif con control no inoculado (kg ha^{-1})	Dif media (Trat n – Control) (kg ha^{-1})	Dif media (SPSn -PSf 0)
Testigo PSf 0	Control	7816	2101		233	
	Optimize	8166	2413	312		
	Cell Tech	7670	2501	400		
	Full Action	6680	2335	234		
	Optimize Full	9248	2250	149		
	Optimize PW	7980	2167	66		
SPS 160 kg	Control	8547	2023		560	195
	Optimize	7538	2454	431		
	Cell Tech	9953	2292	269		
	Full Action	6728	2352	329		
	Optimize Full	6478	2569	546		
	Optimize PW	12125	3247	1224		
SPS 160 kg+ fungicida	Control	8163	2179		398	216
	Optimize	9584	2509	330		
	Cell Tech	10269	2474	295		
	Full Action	10181	2153	-26		
	Optimize Full	8347	2691	512		
	Optimize PW	13244	3056	877		
Valor de P	Manejo	0,565	0,045			
	Inoculación	0,288	0,073			
	Man x Inoc	0,553	0,037			
	CV (%)	16,2 %	9,3 %			

Conclusiones:

* Los tratamientos de inoculación mejoraron la nodulación e incrementaron los rendimientos con relación al control.

* De manera general, la inclusión de Optimize como inoculante mejoró la performance del tratamiento, medida como vigor, nodulación y rendimiento.

* La fertilización con PS incrementó el crecimiento de la planta especialmente en los primeros estadios de crecimiento, aumentando la productividad del cultivo.

* Se registró interacción entre las variables evaluadas. Esto significa que la respuesta a los tratamientos de inoculación se vio favorecida por la inclusión de otras prácticas favorables, como la fertilización o el uso de fungicidas superando así potenciales limitantes a la expresión de respuesta como enfermedades o carencias nutricionales.