

NUEVAS ESTRATEGIAS DE INOCULACIÓN EN SOJA. EFECTOS SOBRE LA NODULACIÓN, EL RENDIMIENTO Y SU INTERACCIÓN CON PRÁCTICAS DE MANEJO

Proyecto Regional Agrícola. Campaña 2008/09

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

El objetivo de este ensayo fue estudiar el efecto sobre la nodulación y el rendimiento en soja de diferentes estrategias de inoculación, que incluyeron el uso de promotores de crecimiento vegetal, microelementos como cobalto (Co) y molibdeno (Mo) y la inoculación en el surco de siembra. Hipotetizamos que nuevas estrategias tienen la capacidad para mejorar la nodulación y con ello el rendimiento del cultivo, en comparación con un testigo no inoculado y con las prácticas tradicionales.

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 fue en bloques completos al azar con dos repeticiones. Se evaluaron tratamientos de inoculación, que fueron combinados en una arreglo factorial con prácticas de fertilización –testigo y fertilizado con 160 kgha⁻¹ de SPS (0-9-0-S12). Los tratamientos evaluados se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados en el ensayo. Tecnologías de inoculación y fertilización en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.*

Denominación	Factor 1: Tratamientos de inoculación				Factor 2: Prácticas de manejo
	Inoculante <i>B. japonicum</i>	Fungicida Metalaxil + Fluodioxinil	Protector	Tecnología utilizada	
T1: Testigo					PS 0 (Testigo)
T2: Maxim		1 ml/kg sem		Semilla a la siembra	
T3: Prepack Max	2 ml/kg sem	1 ml/kg sem	1 ml/kg sem	Semilla a la siembra	SPS 160 kg/ha
T4: Prepack Max + Bacteria 4	2 ml/kg sem	1 ml/kg sem	1 ml/kg sem	Semilla a la siembra + Promotor	
T5: Prepack Max + Rizo Micro	2 ml/kg sem	1 ml/kg sem	1 ml/kg sem	Semilla a la siembra + CoMo	
T6: Rizoliq surco	400 ml/ha		70 ml /ha	Surco	

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. (cm)	MO (%)	CE CE dS m ⁻¹	pH	Ntotal	P Bray ppm	S-SO ₄ ppm
0-20	2,58	3,58	5,4	0,130	14,9	5,0

Se realizaron dos evaluaciones del índice de vigor durante el ciclo de cultivo. 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 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 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 durante el período crítico (R4) fue marcadamente afectado por la fertilización fósforo azufrada, y favorecida por los tratamientos de inoculación. Esto sucedió en especial cuando la inoculación se complementó con la utilización de la Bacteria 4 (B4), Co-Mo y, sobre todo por la inoculación en el surco (Tabla 3).

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 (Tabla 4 y Figura 1). Generalizando, se mantuvo la tendencia observada con el índice de vigor. Los tratamientos con agregado de B4, Co-Mo e inoculado en el surco registraron los valores más altos en parámetros asociados a la nodulación. El primero de ellos se destacó en los tratamientos fertilizados o no con PS, mientras que los dos restantes lo hicieron en los fertilizados. Cuando no se utilizó inoculante, la magnitud de la nodulación se vió restringida. (Tabla 3).

Tabla 3: Número de plantas emergidas, Infectividad en V3, índice de vigor en V3 y R4 e índice de verdor determinado mediante lecturas Spad en R4. Los cuadros verdes señalan los tres mejores tratamientos para cada variable cuantificada. Tecnologías de inoculación y fertilización en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Denominación	Plantas x m ²	Infectividad V3	IVigor V3	IVigor R4	Unidades Spad
Testigo PS 0	Testigo	33,2	100	3,6	3,3	45,6
	Maxim	42,2	100	3,9	3,2	44,1
	Prepack Max	31,3	100	3,6	3,4	45,3
	Prepack Max + Bacteria 4	39,8	100	3,9	3,8	44,3
	Prepack Max + Rizo Micro	45,3	100	4,4	3,4	45,0
	Rizoliq surco	33,6	100	4,2	3,8	45,5
SPS 160 kg	Testigo	46,5	100	3,7	3,5	45,1
	Maxim	35,9	100	4,0	3,4	45,8
	Prepack Max	42,2	100	3,7	3,6	45,7
	Prepack Max + Bacteria 4	43,8	100	4,0	4,0	46,0
	Prepack Max + Rizo Micro	44,5	100	4,5	3,6	46,3
	Rizoliq surco	34,4	100	4,3	4,0	45,8

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. Tecnologías de inoculación y fertilización 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 PS 0	Testigo	19,4	31,4	2,68	3,52	108,6	57,1
	Maxim	14,2	18,4	1,84	2,76	104,0	44,2
	Prepack Max	31,6	31,8	4,6	4,6	96,6	95,2
	Prepack Max + B4	28,0	50,8	3,68	6,44	148,1	68,3
	Prepack Max + RMicro	16,0	13,4	2,76	1,84	88,3	52,1
	Rizoliq surco	19,8	22,2	4,6	3,68	70,8	116,9
SPS 160 kg	Testigo	12,8	22,8	0,92	2,76	131,6	28,0
	Maxim	4,6	4,2	0,92	0,92	123,3	14,9
	Prepack Max	18,6	21,0	3,68	3,68	122,4	60,2
	Prepack Max + B4	29,6	31,6	8,28	6,44	120,5	122,1
	Prepack Max + RMicro	33,4	44,2	7,36	9,20	138,9	119,2
	Rizoliq surco	22,2	32,4	2,76	1,84	146,3	31,4

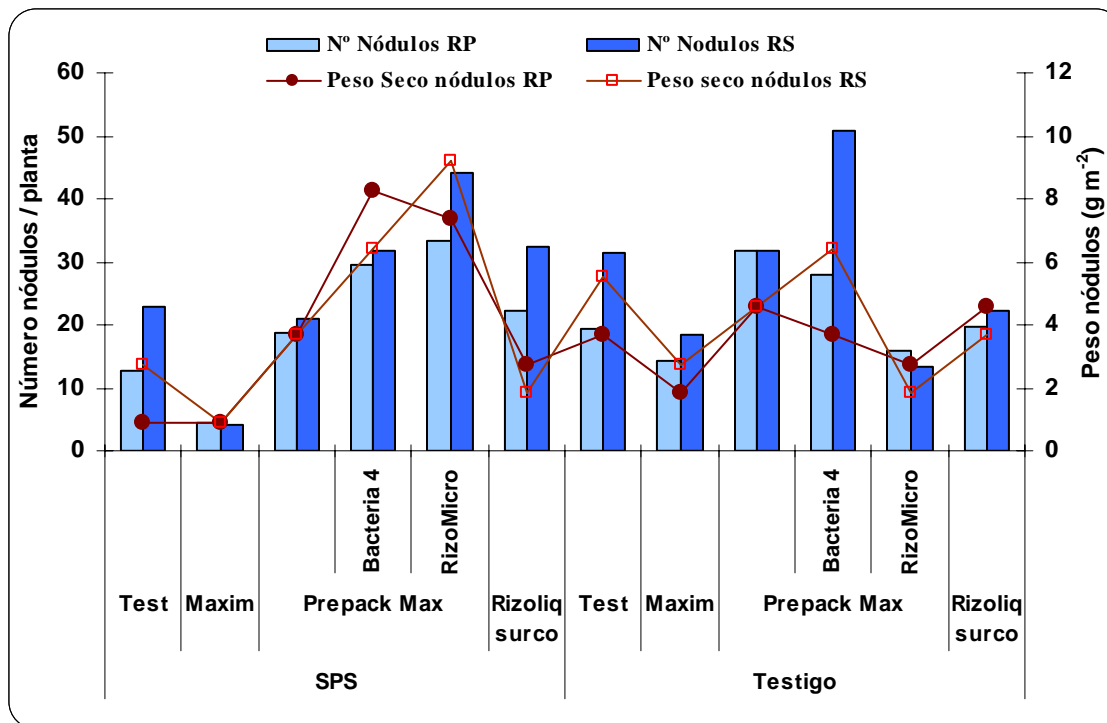


Figura 1: Número (N°) y peso seco (P_{seco}) de nódulos por planta en raíz principal (RP) y raíces secundarias (RS) como resultado de diferentes tecnologías de inoculación y uso de fertilizantes en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Los rendimientos del ensayo fueron modestos, y las diferencias entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas ($P > 0,10$, $CV = 11,8\%$). Sin dudas, la severidad del ambiente originó un comportamiento variable en los rendimientos que no permite expresar efectos significativos ni interacción entre los factores ensayados ($P > 0,10$). No obstante, en términos de magnitud algunos tratamientos mostraron diferencias de rendimiento estables sobre el resto (Tabla 5 y Figura 2). Como promedio, la respuesta a la inoculación alcanzó a 188 y 184 kg ha^{-1} para tratamientos testigos y fertilizados con SPS 160 kg , respectivamente (Tabla 5). Los tratamientos con rendimientos más estables y mayor diferencia con el testigo no inoculado fueron los que, previamente, habían mostrado mejor estado general, vigor y nodulación. De ellos se destacan PrepackMax + B4 con 382 (PS0) y 373 kg ha^{-1} (SPS 160 kg) y Rizoliq surco con 369 (PS0) y 326 (SPS 160) kg ha^{-1} como respuesta sobre el testigo, respectivamente. Por su parte, la respuesta a la fertilización fósforo-azufrada fue de 65 kg ha^{-1} (Tabla 5)

Tabla 5: Rendimiento de grano (kg ha^{-1}), número, peso de los granos y respuesta a diferentes prácticas de manejo Tecnologías de inoculación y fertilización en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Denominación	Rendimiento (kg ha^{-1})	NG	P1000	Dif con testigo absoluto (kg ha^{-1})	Dif media (T3,T4,T5,T6 – T1,T2) (kg ha^{-1})	Dif media x fertilización (SPS 160 -PS 0)
Testigo PS 0	Testigo	2144	1572	136,4		188	
	Maxim	2478	1729	148,4	334		
	Prepack Max	2587	1772	146,0	443		
	Prepack Max + B4	2526	1730	146,0	382		
	Ppack Max + RMicro	2391	1625	147,2	247		
	Rizoliq surco	2513	1736	144,8	369		
SPS 160 kg	Testigo	2283	1617	141,2		184	65
	Maxim	2483	1947	132,0	200		
	Prepack Max	2441	1849	132,0	158		
	Prepack Max + B4	2656	1908	139,2	373		
	Ppack Max + RMicro	2648	1913	138,4	278		
	Rizoliq surco	2609	1924	135,6	326		
Valor de P	Manejo	0,521					
	Inoculación	0,508					
	Man x Inoc	0,948					
	CV (%)	11,8 %					

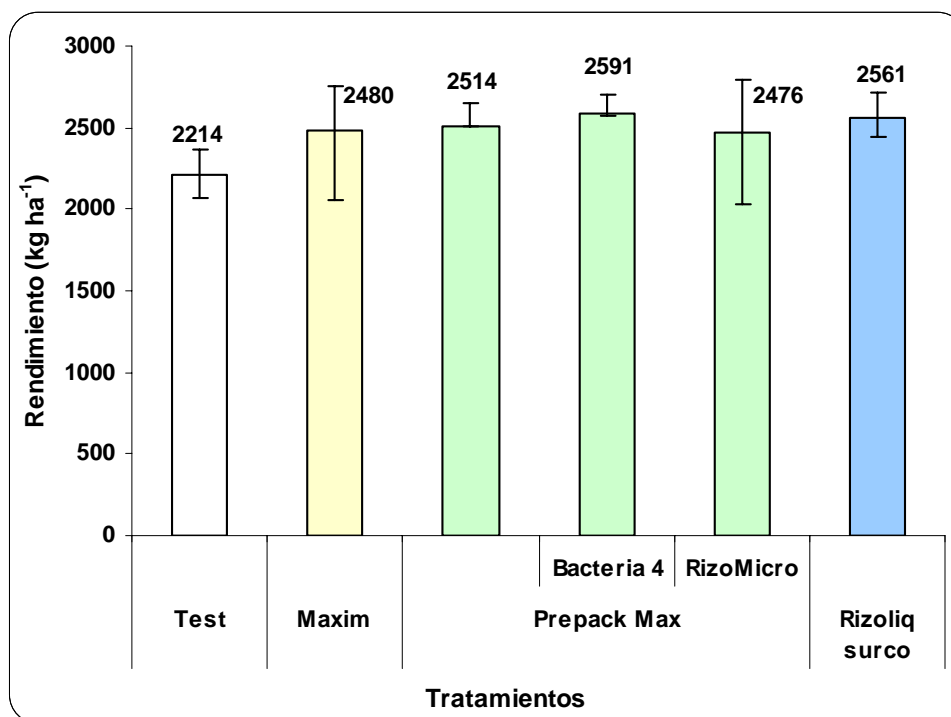


Figura 2.a

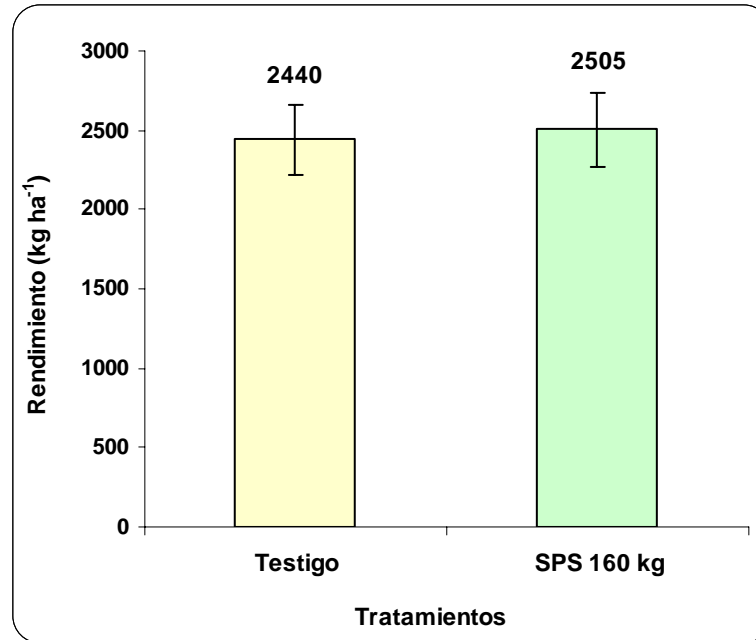


Figura 2.b

Figura 2: Rendimiento medio de Soja como resultado de a) seis tecnologías de inoculación y b) dos tratamientos de fertilización. Pergamino, campaña 2008/09.

Considerando las variables evaluadas en el ensayo, el NG fue la que correlacionó en mayor medida con los rendimientos (Tabla 6).

Tabla 6: Asociación estadística (R) entre el rendimiento y las variables evaluadas en el ensayo.

Tratamientos	Coefficiente de correlación (R)	Significancia estadística (P=)
Plantas x m ²	0,15	P>0,10 n.s.
Infectividad V3	sin variación	
Nº nódulos RP	0,37	P>0,10 n.s.
Nº nódulos RS	0,22	P>0,10 n.s.
PSeco nódulos RP	0,09	P>0,10 n.s.
PSeco nódulos RS	0,05	P>0,10 n.s.
PS x raíz (g)	0,18	P>0,10 n.s.
mg nódulo / g de raíz	0,02	P>0,10 n.s.
Unidades Spad	0,18	P>0,10 n.s.
NG	0,79	P=0,001
P 1000	0,11	P>0,10 n.s.

Conclusiones:

- * Las diferencias de rendimiento observadas entre tratamientos de inoculación y fertilización no alcanzaron la significancia estadística.
- * Sin embargo, en el ensayo se verificaron tratamientos de inoculación que, como tendencia central, mejoraron el vigor, la nodulación, índice verde y rendimiento con relación al testigo.
- * Con diferencias muy estrechas, los tratamientos más destacados parecieran ser T4 (Prepack Max + Bacteria 4) y T6 (Inoculación en el surco), alcanzando los rendimientos más altos pero también un mejor estado general durante todo el ciclo de cultivo.

* La fertilización con PS incrementó el crecimiento y vigor de la planta, pero la diferencias de rendimiento con relación al testigo fueron pequeñas, de 65 kg ha^{-1} . Es probable que limitaciones por estrés hídrico durante el llenado de granos dificultaras traducir diferencias de nodulación y crecimiento en rendimiento.

* El ensayo fue afectado por sequía. Este factor del ambiente restringió e introdujo variabilidad a la respuesta a diferentes tecnologías. Sin embargo, se identificaron variantes capaces de mejorar el comportamiento de testigos o tratamientos tradicionales. Estas nuevas formas de inoculación permitirán continuar el proceso de optimización de la fijación biológica de nitrógeno cuando se trasladen a nivel productivo.