

INOCULACION CON *BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM* Y MICORRIZAS SEGÚN ANTICIPACIÓN DEL TRATAMIENTO Y USO DE FUNGICIDAS CURASEMILAS. EFECTOS SOBRE LA NODULACIÓN, EL RENDIMIENTO Y SU INTERACCIÓN CON LA FERTILIZACIÓN FOSFORO-AZUFRADA

Proyecto Regional Agrícola. Campaña 2008/09
INTA EEA Pergamino

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 Nitrógeno (N) es el elemento que presenta mayor demanda por parte del cultivo de soja. Como sucede con otros nutrientes, los requerimientos y el índice de cosecha son más altos en esta especie que en el resto de los cultivos sembrados en la Región Pampeana (Tabla 1). Al ser su grano eminentemente proteico, los requerimientos unitarios de N en soja son tan elevados que la demanda total supera aún a la de otras especies de mayor rendimiento, como el maíz.

Tabla 1: *Requerimientos nutricionales de la soja, índice de cosecha y demanda total para un nivel de rendimiento determinado, en comparación con otras especies cultivadas. (Adaptado de Ciampitti y García, 2007).*

Cultivo	Requerimientos kgN :ton grano ⁻¹	Índice de cosecha	Rendimiento (kg/ha)	Requerimiento total (kg/ha) *
Soja	75	0,73	4000	262
Girasol	40	0,60	3000	120
Trigo	30	0,69	4000	120
Maíz	22	0,68	10000	220

* *Requerimientos nutricionales expresados sobre base seca (0% de humedad). Para el cálculo de los requerimientos totales se definió un rendimiento arbitrario, considerado alto y deseable.*

El rendimiento de soja 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 de N (FBN) atmosférico, de la absorción del N inorgánico del suelo y, eventualmente, del aportado mediante fertilizantes. Si bien durante las primeras etapas del ciclo 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. Una de las formas de mejorar la eficacia del proceso de FBN es la utilización conjunta de microorganismos con capacidad para solubilizar nutrientes y ejercer un efecto promotor del crecimiento. Esto posibilita establecer sinergismos entre poblaciones beneficiosas, redundando en un mejor estado nutricional de las plantas. Con este fin, en los últimos años han surgido nuevos inoculantes que requieren ser evaluados.

Los objetivos de este trabajo fueron 1) Comparar el efecto sobre la nodulación y el rendimiento de un inoculante comercial conteniendo Micorrizas en su formulación y 2) Estudiar la interacción con otras prácticas de cultivo como la fertilización fósforo-azufrada. Hipotetizamos que formulaciones conteniendo *Bradyrhizobium japonicum* junto a otros microorganismos tienen la capacidad para optimizar la FBN y el rendimiento, en comparación con las prácticas tradicionales y con testigos no

inoculados. Esta mejora se hace más notable cuando el estado nutricional del cultivo es mejorado por otras vías como la 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 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-S12) -. 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 2008/09.*

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

El inoculante conteniendo *Bradyrhizobium japonicum* y Micorrizas se denomina Crinigan Soja, de Crinigan SA. 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	S-SO4 ppm
0-20	2,58	3,58	5,4	0,130	14,9	5,0

Se realizaron dos determinaciones 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.

Condiciones ambientales en el sitio experimental

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones y evapotranspiración del cultivo, así como el balance hídrico decádico. Se registró un prolongado período de déficit hídrico desde enero hasta mediados de febrero, que acumulado alcanzó a 161 mm. Esta singular condición ambiental disminuyó los rendimientos, y muy probablemente interactuó con las prácticas de cultivo evaluadas.

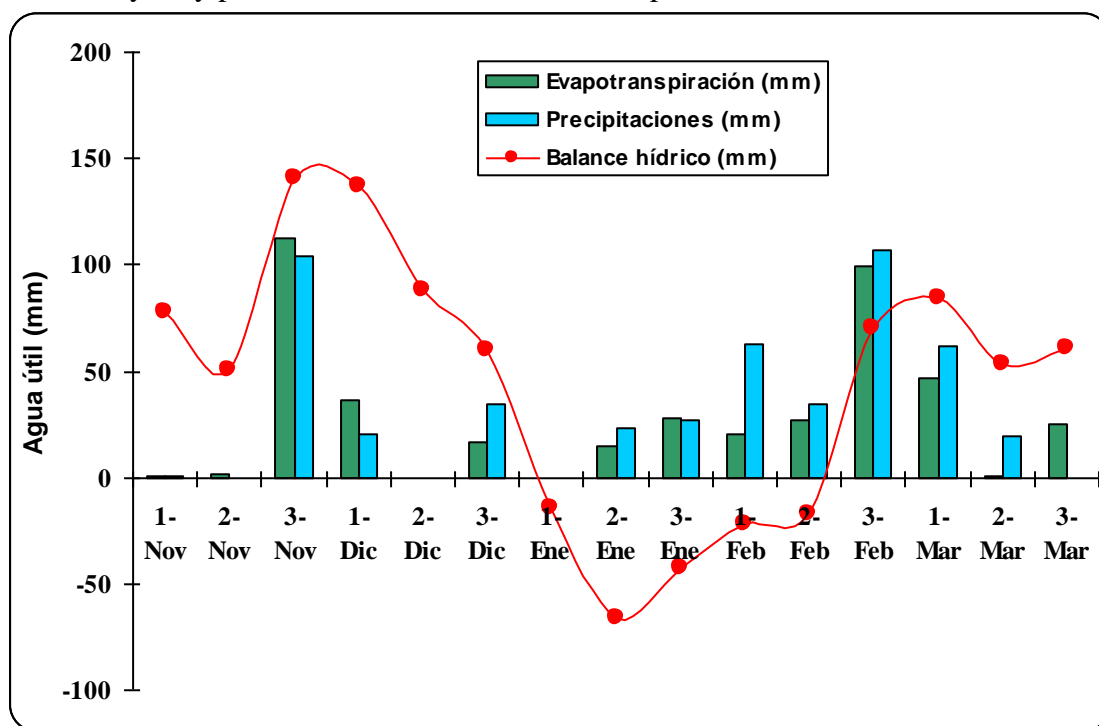


Figura 1: Precipitaciones decádicas acumuladas (mm) en el sitio experimental. Pergamino, Bs As, campaña 2008/09. Déficit (evapotranspiración potencial – evapotranspiración real) 161 mm.

Resultados y discusión

No se observó un patrón de emergencia que reflejara efecto de tratamiento. Todos presentaron infectividad plena en V3 (Tabla 4), aun los testigos, evidenciando una alta población bacteriana naturalizada en el lote. El estado general de las plantas, caracterizado por el índice de vigor en un estado temprano (V3, 30 dds) y durante el período crítico (R4) fue afectado por la fertilización fósforo azufrada, y favorecido por los tratamientos de inoculación (Tabla 4).

Para cada medida relacionada con la magnitud de la nodulación, en la Tabla 5 se señalan los 3 mejores tratamientos. De esta manera, se aprecia que aquellos fertilizados con PS se destacaron sobre los testigos en todos los parámetros evaluados. A su vez, la inoculación incrementó la magnitud de estas variables. El curasemillas Thiram-Carbendazin (T6) pareciera deprimir la nodulación de las plantas (Tabla 5, Figura 2).

Tabla 4: 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. Integración de tecnologías: Inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* - Micorrizas 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	46,5	100	3,3	3,2	45,1
	Maxim	35,9	100	3,5	3,3	45,8
	Br + Micorrizas siembra	42,2	100	3,5	3,5	46,4
	Br + Micorrizas preinoculado	43,8	100	3,9	3,6	47,2
	Br + Micorrizas pre + Maxim	44,5	100	4,0	3,7	46,1
	Br + Micorrizas pre + Th-Carb	34,4	100	4,0	3,8	46,8
SPS 160 kg	Testigo	33,2	100	3,4	3,4	45,6
	Maxim	42,2	100	3,5	3,5	44,1
	Br + Micorrizas siembra	31,3	100	3,6	3,7	46,9
	Br + Micorrizas preinoculado	39,8	100	4,0	3,5	47,0
	Br + Micorrizas pre + Maxim	45,3	100	4,0	3,8	47,5
	Br + Micorrizas pre + Th-Carb	33,6	100	4,2	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 5: 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. Integración de tecnologías: Inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* - Micorrizas 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	84,7
	Maxim	14,2	18,4	1,84	2,76	104,0	44,2
	Br + Micorrizas siembra	2,4	9,8	0,92	0,92	95,7	19,2
	Br + Micorrizas preinoculado	4,4	7,2	0,92	0,92	119,6	15,4
	Br + Micorrizas pre + Maxim	9,2	8,0	1,84	0,92	94,8	29,1
	Br + Micorrizas pre + Th-Carb	6,8	6,6	1,84	0,92	84,6	32,6
SPS 160 kg	Testigo	13,6	21,6	3,68	3,68	122,4	60,2
	Maxim	4,6	4,2	0,92	0,92	123,3	14,9
	Br + Micorrizas siembra	22,2	32,4	2,76	3,68	146,3	44,0
	Br + Micorrizas preinoculado	35,0	37,6	6,44	4,60	115,0	96,0
	Br + Micorrizas pre + Maxim	25,6	21,0	3,68	3,68	122,4	60,2
	Br + Micorrizas pre + Th-Carb	12,6	18,2	1,84	2,76	96,6	47,6

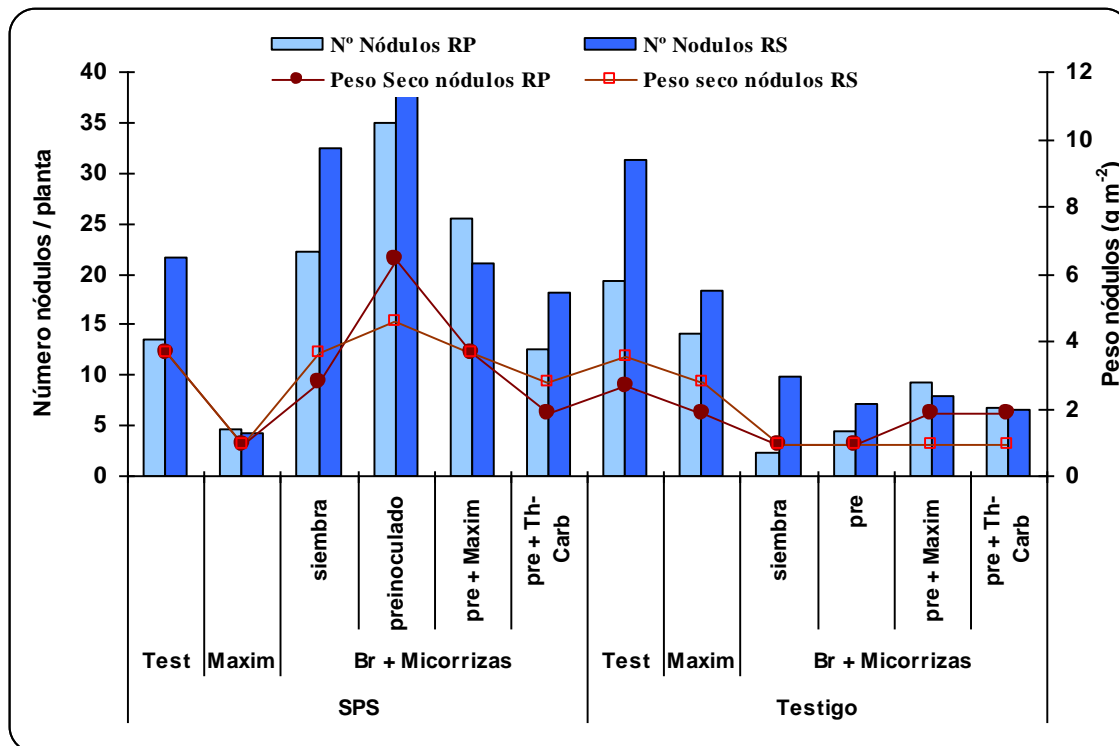


Figura 2: Número (N°) y peso seco de nódulos por planta en raíz principal (RP) y raíces secundarias (RS) como resultado de diferentes tratamientos de inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* - Micorrizas y uso de fertilizantes en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

No se determinó interacción significativa para rendimiento entre los tratamientos de inoculación y fertilización, ni efecto de la fertilización fosforo azufrada ($P > 0,10$, $CV = 11,4\%$). En cambio, se observó efecto significativo de la inoculación ($P = 0,08$) (Tabla 6 y Figura 3.a). La respuesta media a la inoculación, calculada como la diferencia media entre aquellos tratamientos que recibieron *Bradyrhizobium* + Micorrizas (T3, T4, T5 y T6) y sus testigos (T1, T2), alcanzó a 251 y 298 kg ha⁻¹ en ausencia o presencia de PS, respectivamente. La fertilización fósforo azufrada evidenció una sólida tendencia positiva, aumentando los rendimientos en 164 kg ha⁻¹ que sin embargo no fue suficiente para alcanzar la significancia estadística (Figura 3.b).

Tabla 6: Rendimiento de grano (kg ha^{-1}) número (NG), peso (P1000) de los granos y respuesta a diferentes prácticas de manejo. Integración de tecnologías: Inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* - Micorrizas y fertilización en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Fertilización	Denominación	Rendimiento (kg ha^{-1})	NG	P1000	Dif con testigo no inoculado (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	2374	1741	136,4		251	
	Maxim	2565	1729	148,4	191		
	Br + Micorrizas siembra	2665	1840	144,8	291		
	Br + Micorrizas preinoculado	2995	2222	134,8	621		
	Br + Micorrizas pre + Maxim	2839	2125	133,6	465		
	Br + Micorrizas pre + Th-Carb	2383	1673	142,4	9		
SPS 160 kg	Testigo	2635	1866	141,2		298	+ 164 kg
	Maxim	2569	1947	132,0	-66		
	Br + Micorrizas siembra	2969	2103	141,2	334		
	Br + Micorrizas preinoculado	3220	2368	136,0	585		
	Br + Micorrizas pre + Maxim	2865	2138	134,0	230		
	Br + Micorrizas pre + Th-Carb	2548	1764	144,4	-87		
Valor de P	Fertilización	0,22					
	Inoculación	0,08					
	Fert x Inoc	0,97					
	CV (%)	11,4 %					

El mejor tratamiento correspondió al preinoculado sin uso de fungicida curasemilla (T4), el cual no difirió del preinoculado + Maxim (T5) o el tratamiento a la siembra (T2) (Figura 3.a). El preinoculado con *Bradyrhizobium* + Thiram-Carbendazim (T6) alcanzó un nivel de rendimiento inferior, similar al testigo, tratado o no con curasemillas (T1, T2). Esta tendencia había sido observada cuando se evaluó la magnitud de la nodulación (Tabla 5 y Figura 2). De acuerdo con estos resultados, si se utilizara este curasemilla el tratamiento debería realizarse al momento de la siembra. Por el contrario, si se privilegia la anticipación de la inoculación, debería suprimirse o cambiarse el principio activo.

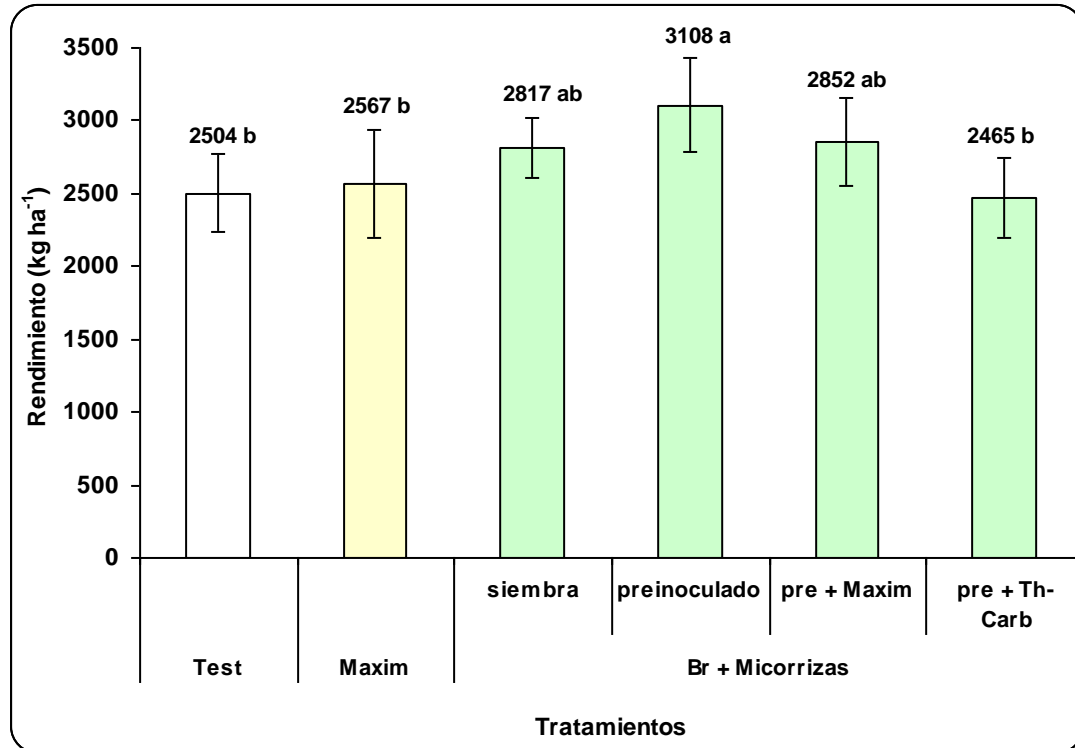


Figura 3.a

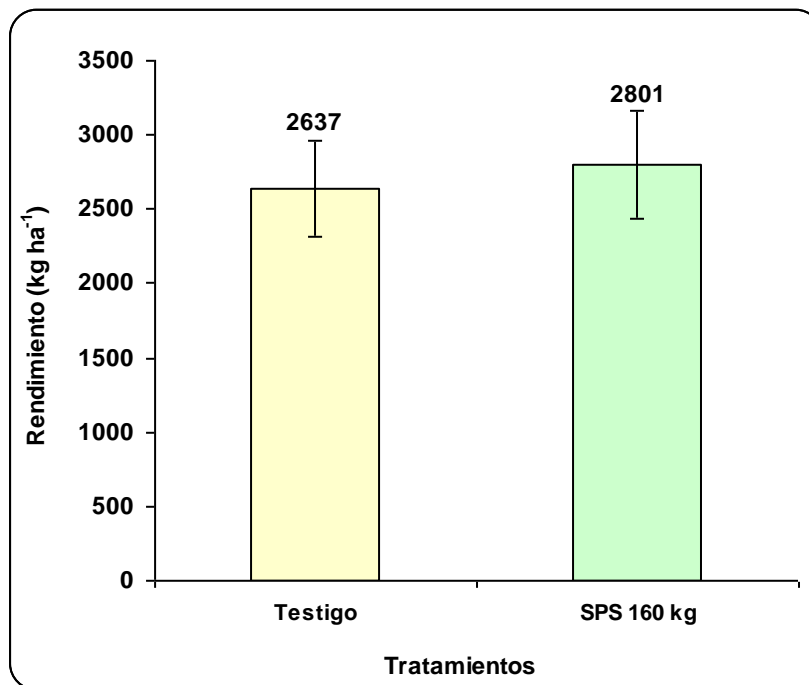


Figura 3.b

Figura 3: Rendimiento medio de Soja como resultado de a) seis tecnologías de inoculación y b) dos tratamientos de fertilización. Ensayo de integración de tecnologías: Inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* - Micorrizas y fertilización en Soja. Pergamino, campaña 2008/09.

Entre las variables evaluadas en el ensayo, el stand de plantas emergidas, las lecturas de Spad y el NG se asociaron de manera positiva y significativa a los rendimientos (Tabla 7)

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

Tratamientos	Coefficiente de correlación (R)	Significancia estadística (P=)
Plantas x m2	0,60	P=0,03
Infectividad V3	sin variación	
Nº nódulos RP	0,04	P>0,10 n.s.
Nº nódulos RS	-0,07	P>0,10 n.s.
PSeco nódulos RP	0,04	P>0,10 n.s.
PSeco nódulos RS	-0,21	P>0,10 n.s.
PS x raíz (g)	0,07	P>0,10 n.s.
mg nódulo / g de raíz	-0,13	P>0,10 n.s.
Unidades Spad	0,60	P=0,03
NG	0,95	P=0,000
P 1000	-0,36	P>0,10 n.s.

Conclusiones:

* Se determinó efecto significativo de la inoculación, pero no así de la fertilización fósforo-azufrada, ni tampoco interacción entre factores.

* Varios tratamientos de inoculación mejoraron parámetros relacionados con la nodulación e incrementaron los rendimientos con relación al testigo. La preinoculación fue una práctica viable, de similar eficacia con el tratamiento de siembra, siempre que se la hizo sola o utilizando el curasemilla Maxim. En cambio, la magnitud de la nodulación y el rendimiento disminuyó cuando se preinoculó junto al fungicida Thiram-Carbendazim.

* La fertilización con PS incrementó el crecimiento de la planta, vigor y nodulación, aumentando la productividad del cultivo. Sin embargo, las diferencias de rendimiento a causa de la fertilización no fueron significativas.

* El ensayo fue afectado por sequía. Este factor del ambiente restringió e introdujo variabilidad a la respuesta a diferentes tecnologías. No obstante, se identificaron variantes capaces de mejorar el comportamiento con relación a los testigos y a los 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.