

# Evaluación de estrategias de inoculación en soja

Proyecto Regional Agrícola,  
Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino  
SOJA CAMPAÑA 2006-07

**Ings. Agrs. Gustavo Ferraris y Lucrecia Couretot.**

## **Introducción**

El nitrógeno (N) es el elemento requerido en mayor cuantía por todos los cultivos. Deficiencias de este nutriente reducen severamente los rendimientos, al restringir la expansión foliar durante las primeras etapas del ciclo, y afectar la fijación de granos en el período reproductivo. La soja, lejos de escapar a esta tendencia, es una de las especies que mayores cantidades de N necesita acumular durante su ciclo, ya que se trata de un cultivo proteico por excelencia. La bibliografía menciona requerimientos que oscilan entre 60 y 80 kg N por tonelada de grano (Andrade et al., 1996; Ciampitti y García, 2007; EMBRAPA, 1993; Ferraris, 2001; González, 2000; Scheiner et al., 1999). Para cubrir tal demanda, además de la absorción del nutriente desde el suelo, ésta y otras especies de la familia de las Leguminosas han desarrollado el mecanismo de la fijación biológica de N (FBN), a partir de la asociación con bacterias del suelo pertenecientes a la familia de las Rhizobiáceas (Racca, 2002), en el caso de la Soja *Bradyrhizobium japonicum*.

La práctica más recomendable para lograr que la FBN sea una fuente importante de N para el cultivo es la inoculación con cepas de *Bradyrhizobium japonicum* incorporadas por medio de inoculantes de alta calidad. La respuesta a la inoculación es mayor cuando los lotes no cuentan con antecedente de Soja. No obstante, también se ha observado respuesta a la reinoculación en lotes con historia sojera previa (Diaz Zorita et al., 2004). El proceso es altamente demandante de hidratos de carbono y energía, por lo tanto requiere de una alta tasa fotosintética. En consecuencia, aquellas condiciones que favorecen el crecimiento del cultivo contribuyen a aumentar la tasa de fijación. Entre ellas, se podría mencionar la adecuada disponibilidad de agua y nutrientes esenciales como fósforo (P), azufre (S), cobalto (Co) y molibdeno (Mo). En los últimos años, la difusión de ensayos con respuesta positivas en rendimiento y el desarrollo de nuevas prácticas de inoculación sumado a productos comerciales de alta calidad ha favorecido la adopción por parte de los productores, estimándose hoy que más del 70 % de la superficie de soja es inoculada. Sin embargo, el proceso no se detiene y es posible observar nuevas tecnologías de inoculación, ya sea en cuanto a procesos (inoculación en surco, preinoculado) como en cuanto a la formulación de los mismos (agregado de otros microorganismos favorables, micronutrientes o factores que inducen la nodulación).

Los objetivos de este ensayo fueron 1. Evaluar el efecto sobre la nodulación y el rendimiento de diferentes estrategias de inoculación en el surco o sobre la semilla. 2. Estudiar la incidencia de protectores bacterianos y fungicidas como acompañantes del inoculante sobre las variables estudiadas. Hipotetizamos que nuevas estrategias y metodologías de inoculación tienen un gran potencial para hacer más eficiente la FBN e incrementar el rendimiento con relación a las prácticas tradicionales.

## **Materiales y métodos:**

El ensayo se implantó el día 29 de noviembre de 2006 en SD, en una siembra de segunda sobre trigo. El sitio experimental registra una rotación agrícola continua con varios cultivos de soja en la secuencia. La variedad sembrada fue Don Mario 4800 RR, en parcelas de 6 surcos-0,52 cm x 10 m de longitud. El ensayo fue fertilizado con 100 kg /ha de Mezcla Física (0-30-0-7 S) localizados en bandas al costado de la línea de siembra, y se mantuvo libre de malezas e insectos.

El diseño del ensayo fue en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos evaluados se detallan a continuación:

**Tabla 1: Tratamientos evaluados**

Tratamiento	Fungicida	Dosis	Inoculante	Dosis	Protector	Dosis	CoMo	Dosis
		ml/ 100 kg semilla		ml/ 100 kg semilla		ml/ 100 kg semilla		ml/ 100 kg semilla
T1. Testigo Absoluto.								
T2. Testigo con Maxim (100 cc/100 kg de semilla).	Maxim	100						
T3. Prepack Max.	Maxim	100	Rizoliq max	140	Premax	90		
T4. Inoculante experimental con semilla tratada con Maxim.	Maxim	100	Experimental	150				
T5. Rizopac Carb	Ritiram Carb	300	Rizopac	85				
T6. Prepack max + CoMo	Maxim	100	Rizoliq max	140	Premax	90		125
T7. Rizoliq Max en el surco (Triple dosis)			Rizoliq Max	420				
T8. Manejo del Productor (Prepack Carb NF) preinoculado 7 d.a.s	Ritiram Carb	300	Rizoliq max	163	Premax	90		

Previo a la siembra se realizó un análisis químico de suelo por bloque, cuyos resultados promediados se expresan en la Tabla 2.

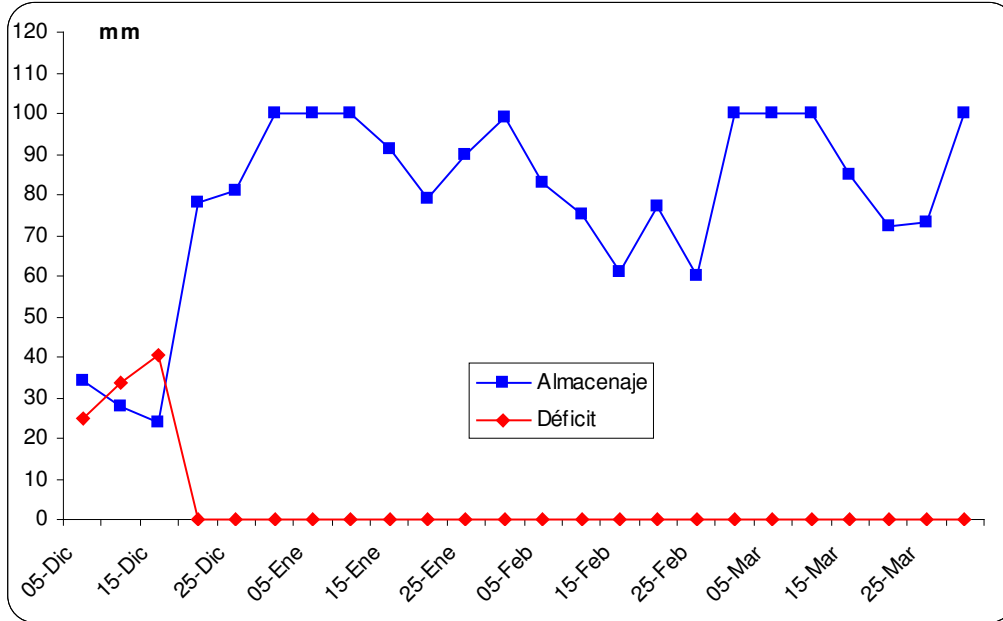
**Tabla 2: Análisis de suelo al momento de la siembra**

Prof	pH	Conductividad (Ds/m)	Materia Orgánica	N total	Fósforo disponible	S-Sulfatos
	agua 1:2,5		%		Ppm	ppm
0-20	5,9	0,120	2,81	0,141	13	12

En el estado V3 se realizó una evaluación de infectividad del *Rhizhobium*, considerando infectivas aquellas plantas con más de tres nódulos. En R4 se cuantificó el número de nódulos efectivos y se cuantificó su peso. En este mismo estado fenológico se realizó una estimación indirecta de la dotación de N a través de la evaluación de la intensidad de verdor por medio del medidor de clorofila Minolta "Spad 502". En madurez de cosecha se recolectó una muestra de 3m<sup>2</sup>, y sobre ella se determinó el rendimiento de grano y sus componentes, peso y número de los granos.

### Condiciones climáticas de la campaña

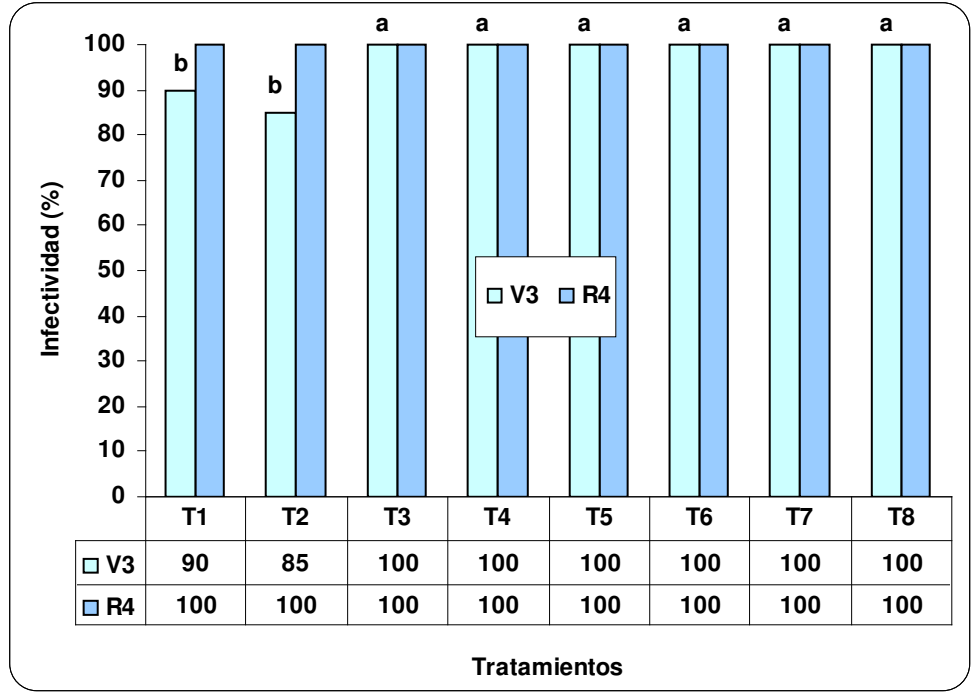
Caracterizó a la campaña 2006/07 una buena frecuencia y cantidad de precipitaciones que favoreció al cultivo de soja en todas sus etapas (Figura 1.a), prácticamente sin ocurrencias de déficit hídrico a excepción de un breve período hacia mediados de diciembre (Figura 1.b), que *a posteriori* no afectaría los rendimientos.



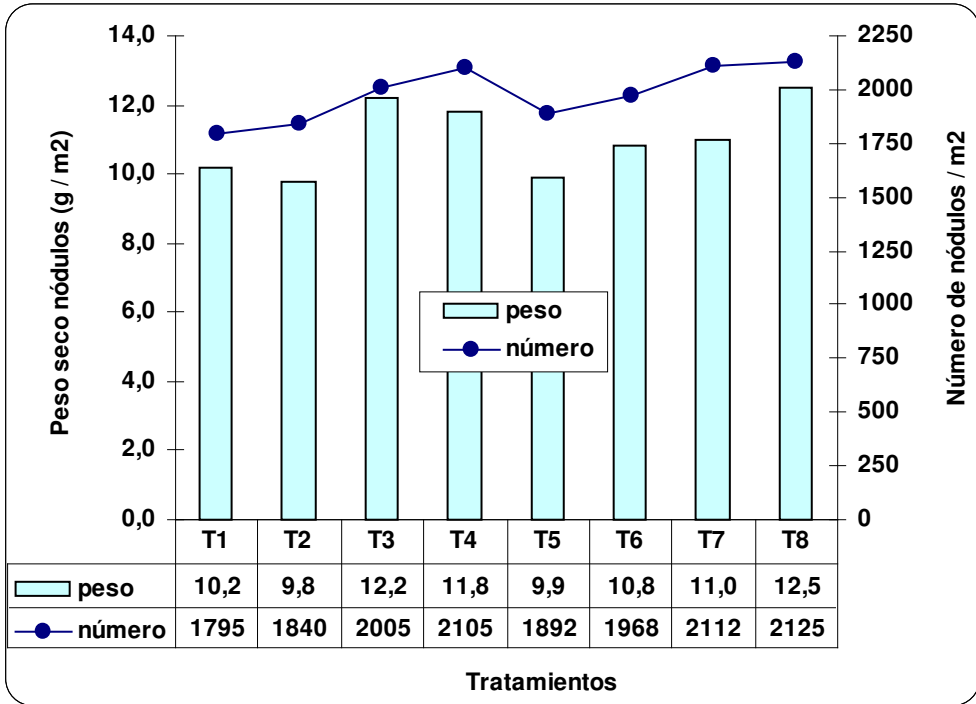
**Figura 1:** Almacenaje y déficit expresados como lámina de agua útil en mm. Valores acumulados cada 5 días en mm. Los valores son para la localidad de Pergamino, campaña 2006/07.

### Resultados y discusión

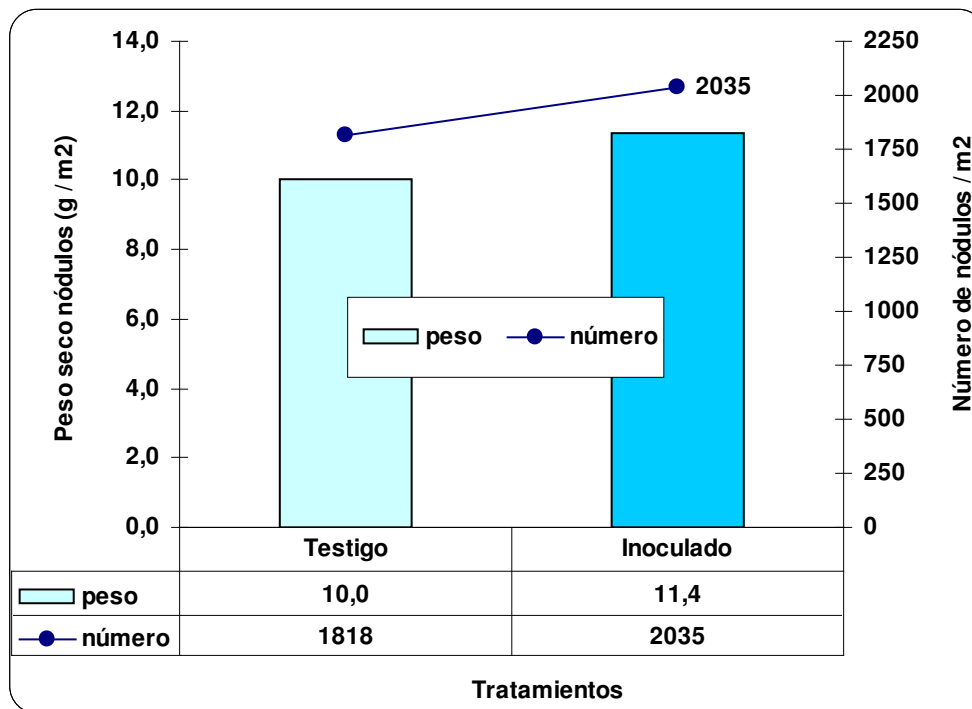
Los tratamientos difirieron significativamente ( $P=0,000$ ) en el porcentaje de infectividad en V3 (Figura 2). Hacia R2, la totalidad de las plantas de todos los tratamientos estaban plenamente noduladas. La tendencia de mejor nodulación en los tratamientos inoculados se mantuvo en R4 (Figura 3). Si bien las mediciones de peso y número de nódulos tienen una gran variabilidad, como tendencia central se observa un buen comportamiento en el establecimiento de nódulos en los tratamientos con preinoculado (T3, T6 y T8) y en el de inoculación en el surco (T7). Si se contrastan los tratamientos inoculados (T3 a T8) vs aquellos de infección natural, sin inoculante (T1, T2), los primeros superan a los segundos en peso y número de nódulos (Figura 4). Esta es la conclusión más contundente, ya que la variabilidad de estos parámetros dificulta una comparación tratamiento por tratamiento.



**Figura 2:** Infectividad expresada como porcentaje de plantas con más de tres nódulos en los estadios V3 (tres hojas) y R4 (floración plena). Letras distintas en las columnas de infectividad en V3 indican diferencias estadísticamente significativas. La descripción de los tratamientos se presenta en la Tabla 1. Inoculación en soja. Wheelwright, General López, campaña 2006/07.



**Figura 3:** Peso seco y número de nódulos efectivos en el estadio R4 (vainas de tamaño máximo) como resultado de diferentes estrategias de inoculación en soja. La descripción de los tratamientos se presenta en la Tabla 1. Inoculación en soja. Wheelwright, General López, campaña 2006/07.



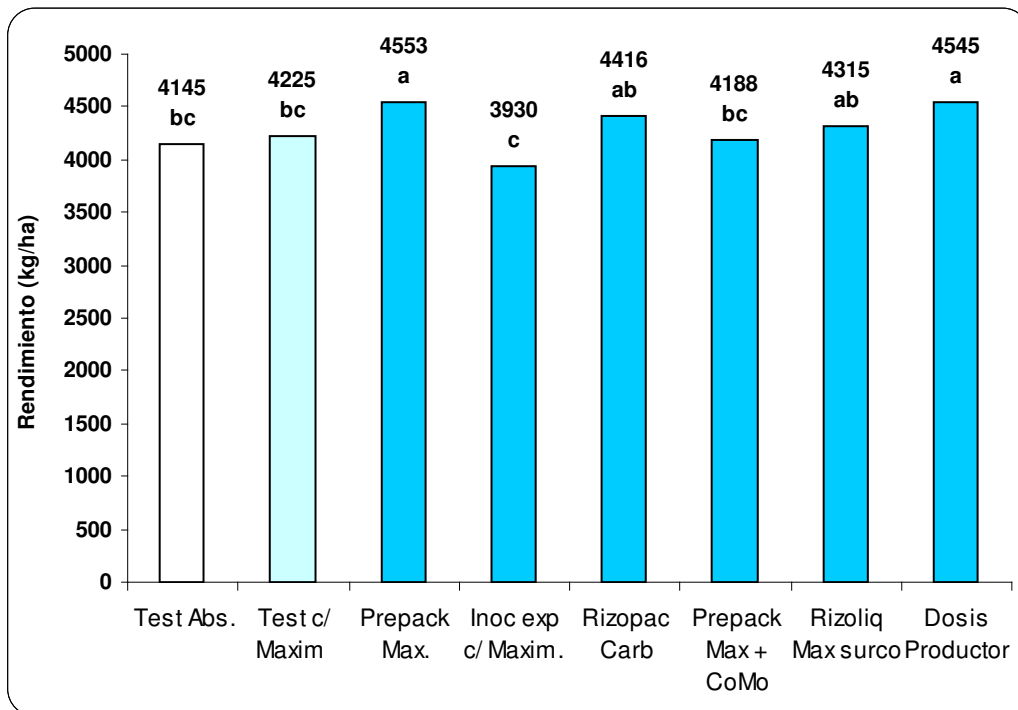
**Figura 4:** *Peso seco y número de nódulos efectivos de tratamientos inoculados (T3 a T8) y de sus testigos de infección natural (T1, T2. Inoculación en soja. Wheelwright, General López, campaña 2006/07.*

El medidor de clorofila Minolta Spad 502 permite, mediante una medición no destructiva, cuantificar diferencias de intensidad de verdor entre tratamientos, con mayor sensibilidad y objetividad que la del ojo humano. En el presente ensayo, no se observaron diferencias de intensidad de verde ( $P > 0,10$ , datos no presentados), lo cual coincide con lo sucedido en ensayos previos en los que después se observara una respuesta positiva a la inoculación.

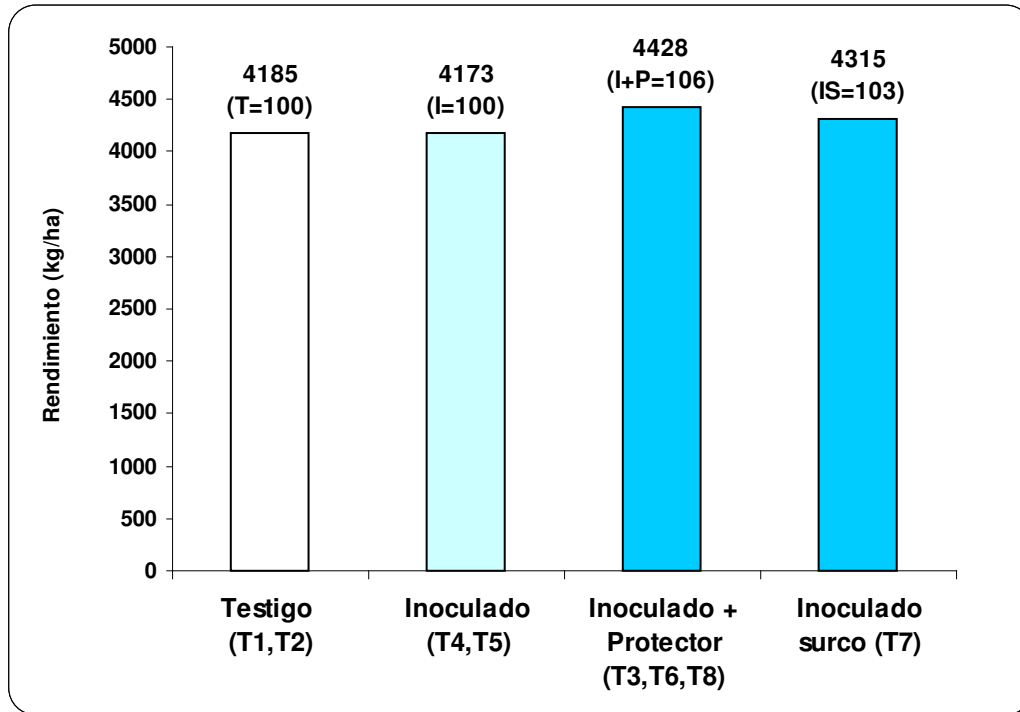
Los rendimientos fueron muy altos por para un cultivo de segunda, y difirieron significativamente entre tratamientos ( $P = 0,01$ ;  $CV = 4,1\%$ ). Los dos tratamientos que superaron significativamente al testigo correspondieron a formulaciones para preinoculado, con uso de protector, realizados a la siembra (T3) o siete días antes de la misma (T8). La inoculación en el surco mostró asimismo un buen comportamiento. Evidentemente, las tecnologías de preinoculado o inoculación en el surco aseguran una buena carga bacteriana sobre la semilla, que se refleja después en las evaluaciones de nodulación y rendimiento. El tratamiento T5, un esquema tradicional y muy utilizado, también presentó buenos resultados. Por último, el inoculante experimental (T4) y el agregado de CoMo (T6) no superaron a los testigos en ninguna de las variables estudiadas. El uso de estos micronutrientes demostró ser efectivo en varias experiencias realizadas por nuestro grupo de trabajo Ferraris y Couretot (2005), sin embargo, este comportamiento no se repitió en el presente ensayo. Por otra parte, si se comparan los gráficos de rendimiento (Figura 5) y de nodulación (Figura 3), se desprende que los tratamientos de mayor productividad presentaron buena cantidad y peso de nódulos efectivos. Si asociamos peso y número de nódulos con FBN, podría decirse que los tratamientos con mayor tasa de FBN fueron después los de mayor rendimiento.

Agrupando tratamientos por tecnología de inoculación, se visualiza más claramente el efecto positivo del uso de protectores y de la inoculación en el surco (Figura 6). La inoculación tradicional no supera al testigo, si bien el índice promedio está muy influenciado por la baja performance del T5, inoculante

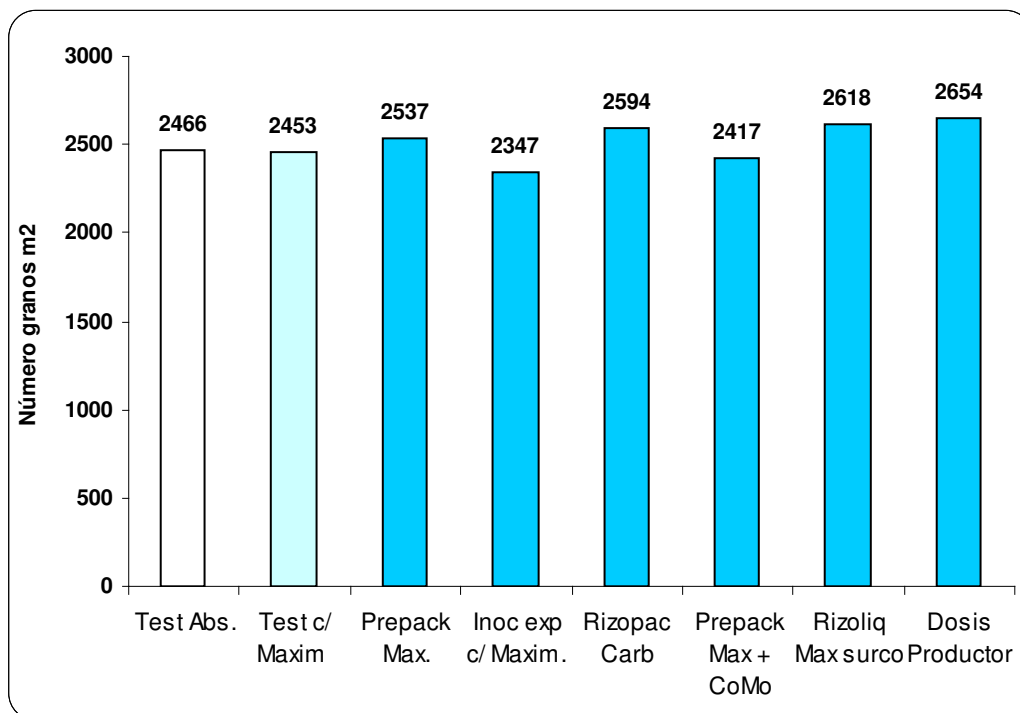
experimental. Las variaciones en rendimiento se deben fundamentalmente a cambios en el número de granos (Figura 7.a) y en menor medida al peso de los mismos (Figura 7.b).



**Figura 5:** Rendimiento de diferentes estrategias de inoculación en soja. Letras distintas representan diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Wheelwright, General López, campaña 2006/07.



**Figura 6:** Rendimiento de diferentes tecnologías de inoculación en soja, promedio de los tratamientos que las representan. Wheelwright, General López, campaña 2006/07.



**Figura 7.a**

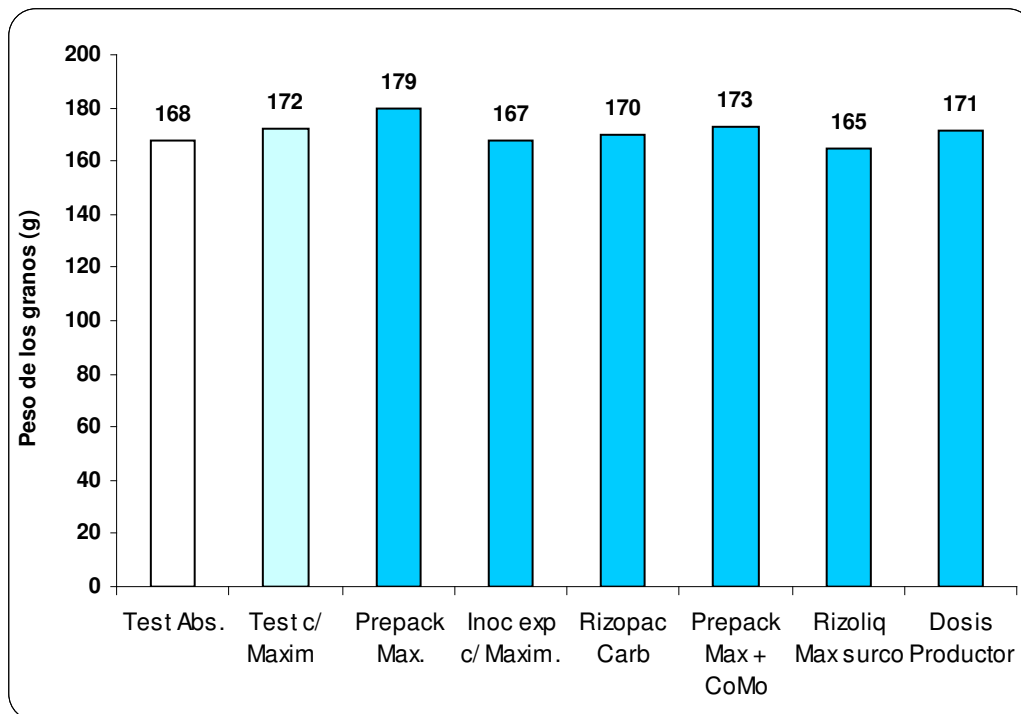


Figura 7.b

**Figura 7:** Número (7.a) y Peso (b) de los granos de diferentes estrategias de inoculación en soja. Wheelwright, General López, campaña 2006/07.

### Conclusiones:

- \* Los tratamientos inoculados superaron a los testigos en cuanto a infectividad temprana, y en el número y peso seco de nódulos en el estado reproductivo.
- \* Algunos tratamientos de inoculación incrementaron significativamente los rendimientos. Se destacan las estrategias con uso de protectores bacterianos, y en menor medida la inoculación en el surco. El uso de CoMo no mejoró los parámetros de nodulación ni el rendimiento de grano.
- \* Las estrategias de mayor rendimiento alcanzaron también las mejores mediciones de nodulación. Considerando estas medidas como una estimación de la FBN, puede afirmarse que en este ensayo los mejores rendimientos estuvieron asociados a altas tasas de FBN.

### Referencias:

- \* Andrade, F., H. Echeverría, N. González, S. Uhart, y N. Darwich. 1996. Requerimientos de Nitrógeno y Fósforo de los cultivos de Maíz, Girasol y Soja. Boletín técnico N° 134. INTA EEA Balcarce, 17 p.
- \* Diaz Zorita, M; R. Baliña y M. Fernández Canigia. 2004. Inoculación con *Bradhyrizobium japonicum* en cultivos de Soja. pp 7-12. En: Campaña 2003-04. Resumen de resultados de investigación y desarrollo aplicado. Nitragin Argentina S.A.
- \* EMBRAPA. 1993. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná. 1993/94. Londrina: OCEPAR/EMBRAPA - CNPSo, 128p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 62).
- \* Ferraris, G.N. 2001. Nutrición: La cosecha que se lleva el carretón del lote. Revista Fertilizar, VI(24): 28-29.
- \* Ferraris, G. y L. Couretot. 2005. Respuesta de la soja a la inoculación con *Bradhyrizobium japonicum* en lotes con antecedentes de soja previa. En: Soja. Resultados de Unidades demostrativas del Proyecto

Regional Agrícola, año 2005. CERBAN. Áreas de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas. pp 70-72.

- \* Ciampitti I. y F. García. 2007. Requerimientos Nutricionales. Absorción y Extracción de Macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, Oleaginosos e industriales.. Disponible on line. [www.ipni.net](http://www.ipni.net)
- \* González, N. 2000. Inoculación e inoculantes. Fertilizar, V (21): 18-21.
- \* Racca, R. 2002. Fijación biológica del nitrógeno. En: Actas 1er Simposio de Fertilidad de Suelos y Fertilización en Siembra Directa. X Congreso Nacional de AAPRESID. pp 197-208.
- \* Scheiner, J., R. Lavado y F. Gutiérrez Boem. 1999. Dinámica de la absorción de nutrientes en un cultivo de Soja. En: Mercosoja 99: Resumen de trabajos y conferencias presentadas, pp 6-8. Rosario.