

Nuevas estrategias de producción para alcanzar los rendimientos potenciales 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; EMBRAPA, 1993; Ferraris, 2001; García, 2000; 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 hoy 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).

Por otra parte, en los últimos años han aparecido en el mercado fungicidas que, al permitir el control de enfermedades foliares, prolongan el período reproductivo aumentando así el peso de los granos y con ello el rendimiento. Es probable que bajo condiciones optimizadas de producción, sin limitaciones nutricionales, las expectativas de respuesta se incrementen como consecuencia de una mayor potencialidad de rendimiento.

Los objetivos de este ensayo fueron 1. Evaluar el efecto sobre la nodulación y el rendimiento de un inoculante comercial con agregado de factores nod que anticipan el proceso de nodulación 2. Estudiar el efecto del agregado complementario de Co y Mo a este inoculante 3. Evaluar el efecto de un fungicida sobre el rendimiento bajo dos condiciones de inoculación (testigo e inoculado) y 4. Explorar la potencialidad de rendimiento a campo, bajo condiciones de fertilización, inoculación y uso de fungicidas.

Materiales y métodos:

El ensayo se implantó el día 14 de noviembre de 2006 en SD, con antecesor soja de primera. El sitio experimental registra una rotación agrícola continua con varios cultivos de soja en la secuencia. La variedad sembrada fue Don Mario 4200 RR, en parcelas de 5 surcos-0,52 cm x 10 m de longitud. El ensayo fue

fertilizado con 80 kg /ha de Mezcla Física (0-28,50-4 S) al voleo al momento de la siembra, y se mantuvo libre de malezas e insectos.

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

Tabla 1: Tratamientos evaluados

T1- Testigo sin inocular
T1b- Testigo sin inoculación + fungicida (Opera 0,5 l ha ⁻¹ en R3)
T2- Inoculante (Optimize full 3 ml kg ⁻¹ de semilla + fungicida + potenciador)
T3- Inoculante + CoMo (2 ml kg ⁻¹ de semilla)
T3b- Optimize full + CoMo + Opera

Los tratamientos de semilla se realizaron al momento de la siembra, y el fungicida Opera fue aplicado en R3

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	5,35	0,28	3,00	0,150	22	14

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 por planta y el peso seco de los nódulos, y se realizó una evaluación cualitativa de su morfología y efectividad. En este mismo estado 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 3m², y sobre ella se determinó el rendimiento de grano y sus componentes, peso y número de los granos.

Resultados y discusión

Los tratamientos difirieron significativamente (P=0,000) en el porcentaje de infectividad en V3 (Figura 1), siendo los que recibieron CoMo junto al inoculante los que presentaron mayor porcentaje de plantas noduladas. Hacia R2, la totalidad de las plantas de todos los tratamientos estaban noduladas.

En el estado reproductivo, el tratamiento con inoculante + CoMo continuó destacándose sobre el resto, especialmente en lo que hace a Peso seco de nódulos (Figura 2). Los valores de nodulación observados en este ensayo son superiores a los que pueden deducirse de Smith y Ellis (1980), Thao et al, (2002), Medina et al., (2002) y de ensayos anteriores conducidos por nuestro grupo de trabajo (Ferraris y Couretot, 2005). Este comportamiento podría atribuirse en parte a las excelentes condiciones hídricas que atravesó el cultivo durante todo su ciclo.

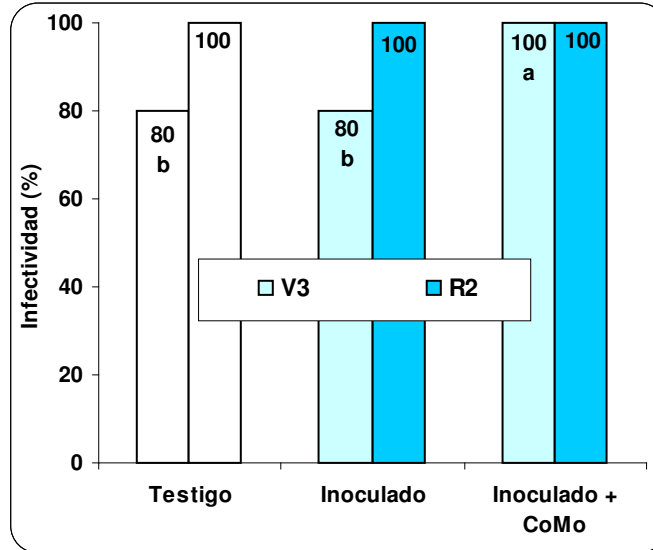


Figura 1: *Infectividad expresada como porcentaje de plantas con más de tres nódulos en los estadios V3 y R2. Los tratamientos con fungicidas no se incluyen, ya que su aplicación fue posterior a la evaluación. Inoculación y potencialidad en soja, Pergamino, campaña 2006/07.*

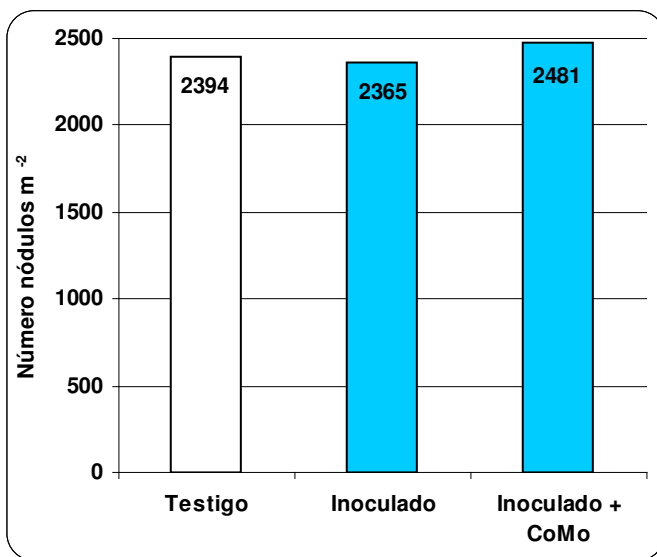


Figura 2.a

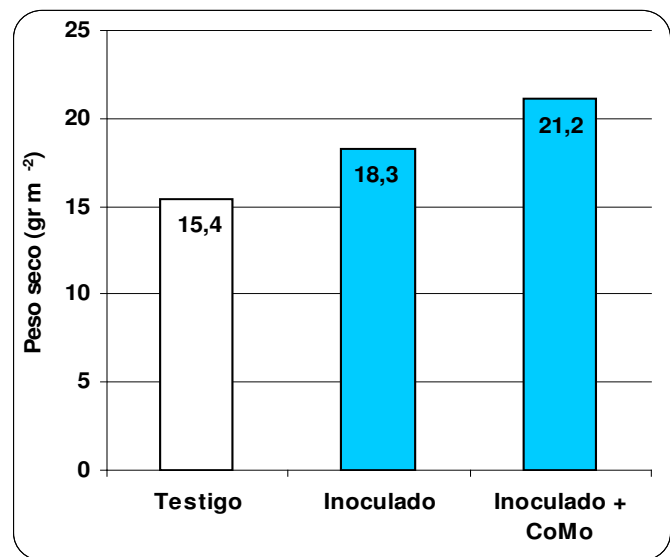


Figura 2.b

Figura 2: *Número (2.a) y peso seco (2.b) de nódulos en el estadio R4 como resultado de diferentes tratamientos de inoculación en soja. Los tratamientos con fungicidas no se incluyen, ya que su aplicación fue muy cercana a la fecha de evaluación. Pergamino, campaña 2006/07.*

El medidor de clorofila Minolta Spad 502 permite cuantificar diferencias de intensidad de verdor entre tratamientos. En ausencia de limitaciones hídricas y de otros nutrientes, cambios en la coloración podrían ser atribuidos a diferencias en la nutrición nitrogenada. En el presente ensayo, no se observaron diferencias de coloración ($P>0,10$), que coinciden con la ausencia de diferencias visuales entre tratamientos (Figura 3).

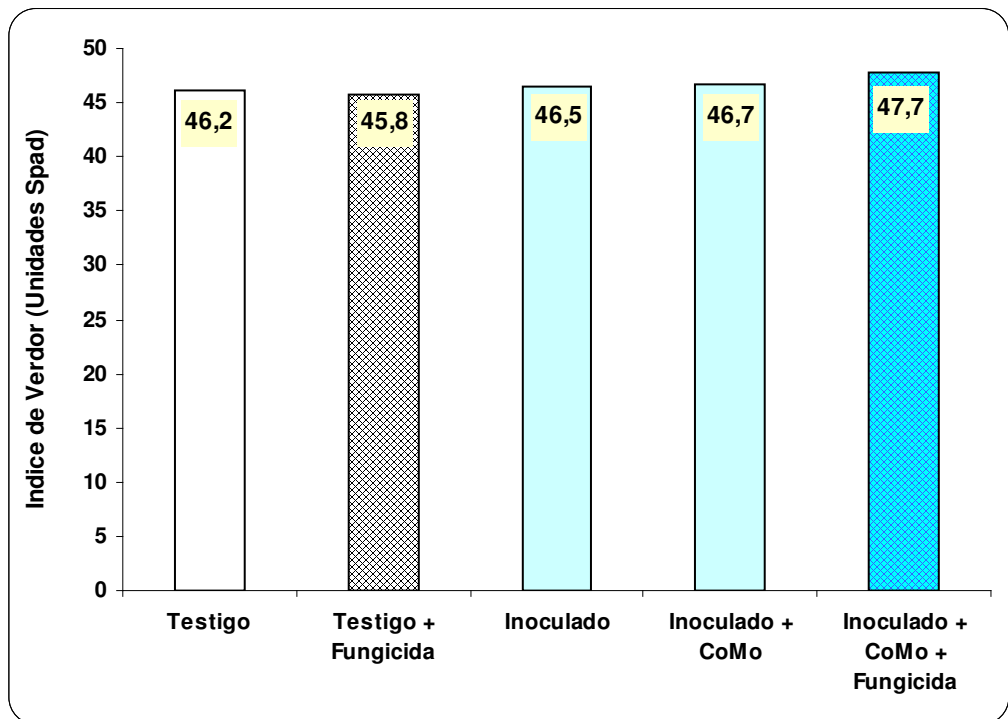


Figura 3: Índice de verdor en el estadio R5, determinado a través del medidor de clorofila Minolta Spad 502. Inoculación y potencialidad en soja, Pergamino, campaña 2006/07.

Los rendimientos de grano (Figura 4) no se vieron afectados por el número de plantas, que no difirió entre tratamientos ($P>0,10$, datos no presentados). Los rendimientos no difirieron significativamente entre tratamientos ($P=0,53$; $CV=9,86\%$), aunque los incrementos sobre el testigo fueron cuantitativamente importantes, en un rango de 147 a 542 $kg\ ha^{-1}$. En la Figura 5, se observa un comportamiento claramente aditivo, es decir, al sumar tecnologías se logra alcanzar una diferencia de rendimiento de hasta 542 $kg\ ha^{-1}$, lo que representa un 12% por sobre el Testigo. Esto significa que al aplicar una tecnología i.e. la inoculación, el cultivo está en condiciones de responder al agregado de CoMo, y lo mismo sucede cuando se agrega CoMo, favoreciendo las condiciones para la expresión de respuesta al fungicida.

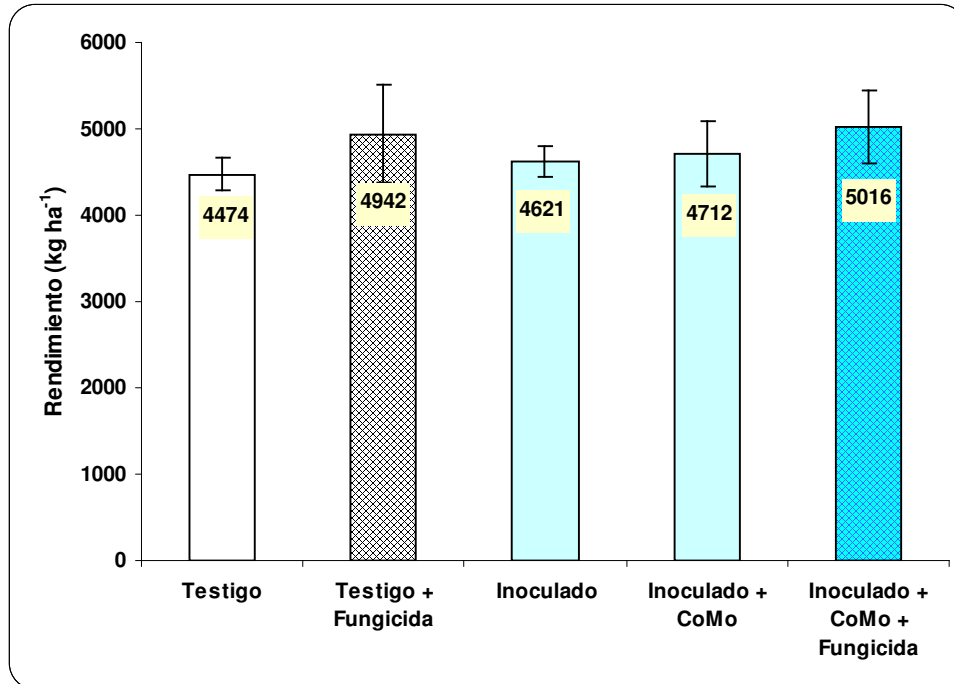


Figura 4: Rendimiento como resultado de diferentes estrategias de inoculación, uso de micronutrientes y fungicidas en soja. Pergamino, campaña 2006/07.

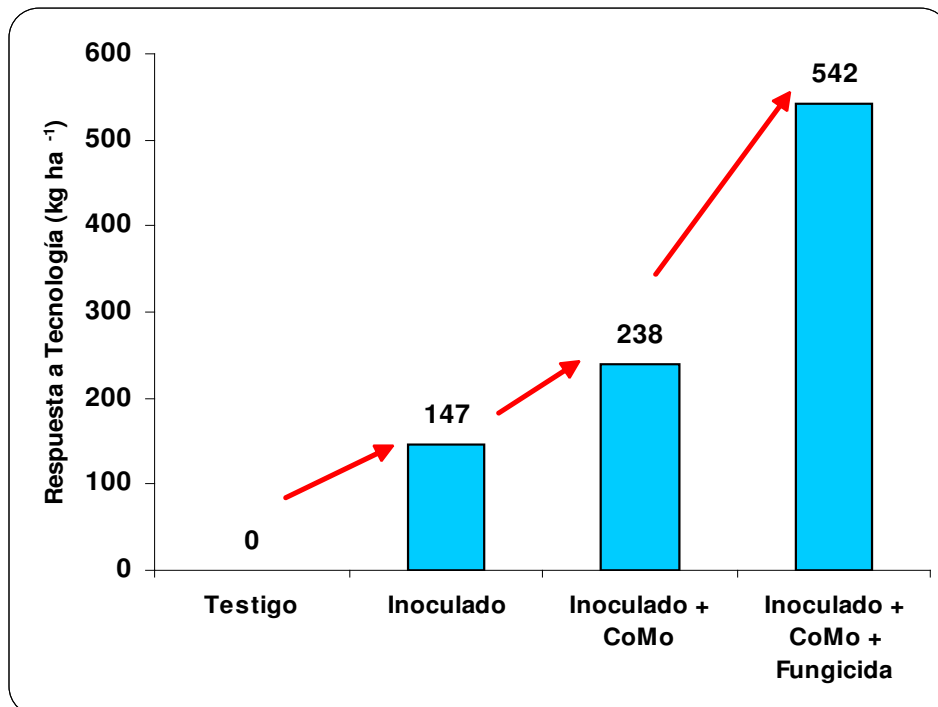


Figura 5: Incremento de rendimiento por sobre el testigo no inoculado como consecuencia del uso de tecnologías adicionales en soja. Pergamino, campaña 2006/07

Los rendimientos estuvieron asociados a un incremento en el número de granos (Figura 6.a), sin variaciones en su peso (Figura 6.b). Resulta llamativo que aún el fungicida afectara el rendimiento modificando el número de granos.

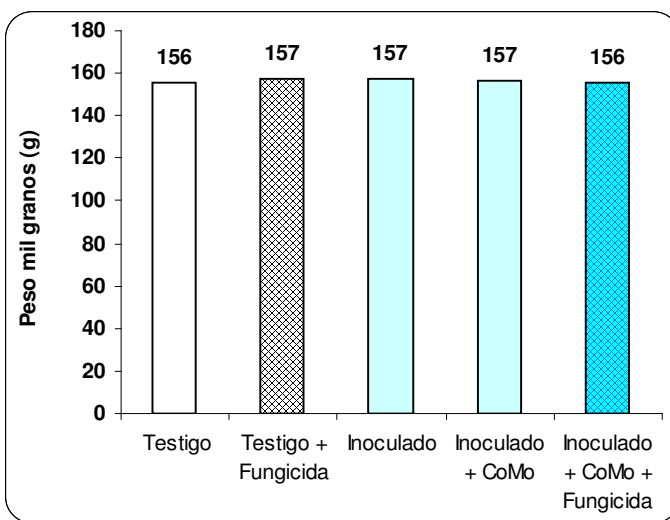
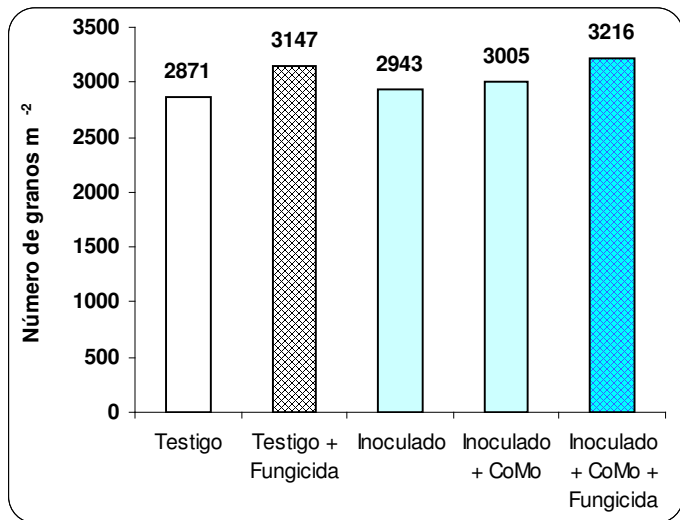


Figura 6.a

Figura 6.b

Figura 6: Número (6.a) y Peso (6.b) de los granos como resultado de diferentes estrategias de inoculación, uso de micronutrientes y fungicidas en soja. Pergamino, campaña 2006/07.

Conclusiones:

- * La inoculación impactó en la infectividad, número y peso seco de los nódulos, destacándose entre todos el tratamiento con uso de inoculante + CoMo
- * Aunque las diferencias en rendimiento no fueron estadísticamente significativas, el uso aditivo de inoculante, micronutrientes sobre semilla y fungicidas inoculantes permitió saltos de productividad de hasta 542 kg ha⁻¹, un 12 % sobre el testigo, aproximándose así al máximo rendimiento alcanzable para el ambiente de producción en el que se cultivara este ensayo.
- * Los tratamientos afectaron el rendimiento vía un incremento en el número de granos, sin modificar su peso.

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

- * González, N. 2000. Inoculación e inoculantes. *Fertilizar*, V (21): 18-21.
- * Medina, L., E. Medina, C. Orlando, M. Morandini y N. Colacelli. 2002. Efecto de la fertilización con azufre en la nodulación en el cultivo de soja (*Glycine max* (L) Merr) en Monte Redondo, Tucumán. En: Bellone, C. (ed.) *Manejo de Sistemas Microbianos para Optimizar la Producción Agrícola y Silvopastoril en algunas Areas del NOA*. FAZ Publicaciones, Tucumán. Argentina. pp. 163-165.
- * 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: Resúmen de trabajos y conferencias presentadas*, pp 6-8. Rosario.
- * Smith, R. and M. Ellis. 1980. Soybean nodulation as influenced by seedling vigor. *Agron. J.* 72:605-608.
- * Thao, T., P. Singleton and D. Herridge. 2002. Inoculation response of soybean and liquid inoculants as an alternative to peat-based inoculants. En *Herridge D. (ed.). Inoculants and Nitrogen Fixation of Legumes in Vietnam. ACIAR Proceeding 109e*. PK Editorial Service, Brisbane, Australia. Pp. 67-74