



Proyecto Regional Agrícola Desarrollo Rural

Estación Experimental Agropecuaria Pergamino "Ing. Agr. Walter Kugler"

INOCULACIÓN DE SOJA EN EL NORTE, CENTRO Y OESTE DE BUENOS AIRES. Resultados de experiencias y prácticas de manejo para mejorar su eficiencia.

* *Ings. Agrs. (MSc) Gustavo N. Ferraris*
nferraris@pergamino.inta.gov.ar

** *Ing. Agr. Fernando Mousegne*
fmousegne@pergamino.inta.gov.ar

La Región norte, centro y oeste de Buenos Aires ocupa 40 partidos con una superficie total de 9 millones de has. Suelos del tipo molisoles, en un gradiente textural sudoeste – noreste desde Hapludoles énticos hasta Argiudoles vérticos. El contenido de materia orgánica oscila entre 1,5 a 3,5 % en suelos agrícolas. El régimen de lluvias anuales va desde los 700 a 1000 mm anuales, con prevalencia en otoño y primavera, ocurriendo fenómenos de déficit hídrico desde leve a severo en invierno y verano.

El 70 % tierras son aptas para cultivos extensivos, variando entre 45 a 80 % según partido. La ganadería está confinada a suelos de menor aptitud, mayormente clase de uso V o VI. Los cultivos de soja, trigo, maíz, girasol y cebada ocupan el 90 % del área siendo menos importantes avena, arveja, manzanilla, sorgo, colza y forrajeras para semilla. Más del 50 % de la tierra agrícola está ocupada con soja y, a la vez, el 60 a 80 % de la superficie se trabaja bajo contratos anuales de alquiler, por lo general valuado en kg de soja ha⁻¹. La siembra directa y el uso de materiales resistentes a glifosato (Roundup Ready) son los pilares básicos de la producción. Los suelos suelen ser deficitarios en nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S).

Importancia del nitrógeno en soja. Aportes del suelo, la fijación biológica y la fertilización.

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 para obtención de grano (Tabla 1). Al ser un cultivo 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.

(*) Técnico de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino

(**) Técnico de la Agencia de Extensión Rural San Antonio de Areco INTA EEA Pergamino

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
Colza	60	0,60	1800	108
Girasol	40	0,60	3000	120
Trigo	30	0,69	4000	120
Cebada	26	0,57	4000	105
Sorgo	30	0,66	7000	210
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. Esto fue confirmado por Salvagiotti et al., (2008), quienes sobre la base de 637 ensayos realizados principalmente en EEUU entre los años 1966 y 2006, observaron un incremento en los rendimientos de 13 kg grano por kg N acumulado en biomasa aérea.

La soja, como otras especies de la familia de las Leguminosas, cubre sus requerimientos de N a través de la fijación simbiótica del nitrógeno (FBN) atmosférico, de la absorción del nitrógeno 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 (Figura 1). Aunque la FBN alcanzaría a cubrir un 50 a 60 % de la demanda total (Salvagiotti et al., 2008), resulta todavía insuficiente para cubrir la extracción de N a través de los granos cosechados.

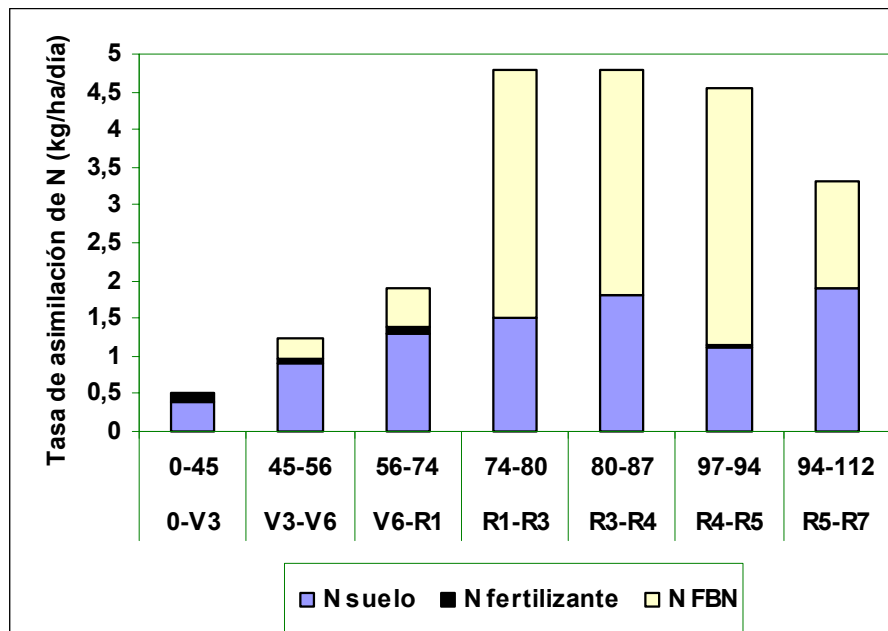


Figura 1: Contribución del suelo, la fijación biológica (FBN) y los fertilizantes a la demanda total de nitrógeno en soja, en función de los días de ciclo y las etapas fenológicas del cultivo. Adaptado de Zapata et al., 1987.

El proceso de FBN es altamente demandante en energía (16 a 18 moléculas de ATP por molécula de N fijado) y carbohidratos (3 a 6 g por g N). Por este motivo, en presencia de alternativas la soja utiliza el N proveniente de los fertilizantes o del suelo como fuente de abastecimiento (Figura 2). Altos niveles de nitratos en el suelo pueden inhibir tanto la

formación de nuevos nódulos como la actividad de los nódulos ya formados (Zhang y Smith, 2002) (Figura 2).

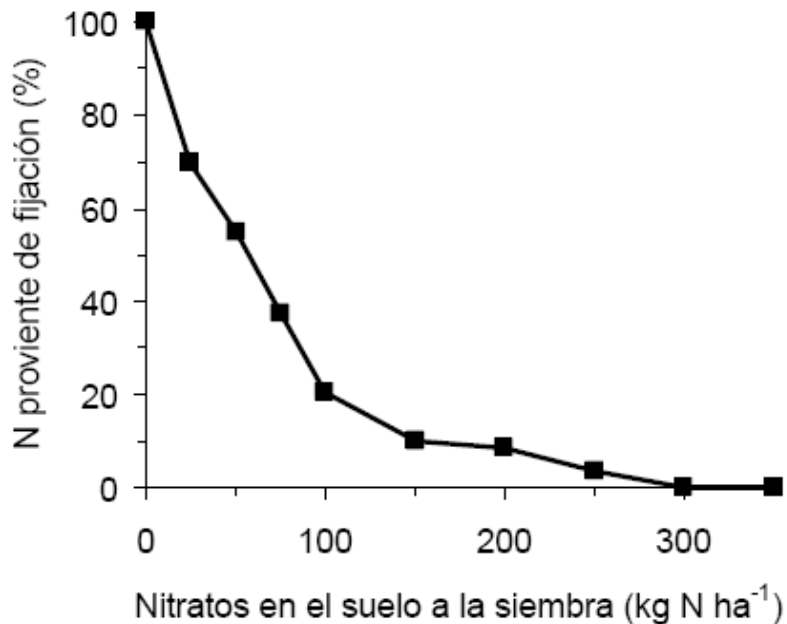


Figura 2: Importancia relativa de la fijación de nitrógeno en soja en función de la disponibilidad inicial en el suelo. (Herridge et al, 2001).

En numerosas ocasiones se ha evaluado suministrar N a la planta durante las etapas en que la FBN alcanza sus tasas más bajas. Estas serían durante el período vegetativo, hasta unos 15 días después de la infección, o durante el llenado de los granos, cuando la FBN cae por competencia de los nódulos con los destinos en formación. En líneas generales, la fertilización nitrogenada aplicada a la siembra del cultivo produce una sustitución del nitrógeno fijado por el aportado por el fertilizante, sin un aumento neto en la asimilación de nitrógeno (Deibert et al., 1979; Ghelfi et al., 1984). Varias experiencias realizadas en EEUU no mostraron mejoras en los rendimientos, cuando se utilizó N a la siembra del cultivo (Bharati et al., 1986, , Starling et al., 1998, Whitney & Gordon, 1999). Similares resultados se observaron en nuestro país, en el sur de Santa Fe (Bodrero et al., 1985), Entre Ríos (Barbagelata et al., 2001), centro de Buenos Aires (Gutiérrez Boem et al., 2002,), o el norte de esta provincia (Ferraris et al., 2001.a; Ferraris y Couretot, 2007.b), aún cuando la dotación de inicial de N fuese muy baja, de no más de 15 kg ha⁻¹ de N-NO₃ en los primeros 60 cm de suelo (Scheiner et al., 2000, Gutiérrez Boem et al., 2002). Estos resultados se obtuvieron en suelos agrícolas con al menos 2 cultivos de soja previa, donde la población naturalizada de rizobios en el suelo puede complementar el aporte realizado por medio de inoculantes. Aún cuando se observaran resultados levemente positivos, la eficiencia de uso del nitrógeno aportada fue muy baja, de 8 kg grano kg N⁻¹, considerablemente menor a la observada en cereales (Ferraris y Couretot, 2007.b).

De igual manera, un gran número de experiencias no ha mostrado respuesta a la aplicación de N en etapas tardías en la región sojera de EEUU. (Maddux, 1998; Haq y Mallarino, 2000; Schmitt et al., 2001; Barker y Sawyer, 2005), Brasil (Hungria et al., 2005 a; b; 2006) y Argentina (Enrico et al., 2003; Cordone et al., 2003; Bodrero et al., 2004; Ferraris y Couretot; 2004; Gutiérrez Boem et al., 2004; Wingeyer et al., 2004). Los sitios con respuesta se observaron en general bajo condiciones optimizadas de productividad, con rendimientos superiores a 4500 kg ha⁻¹ (Salvagiotti et al., 2008).

Experiencias conducidas en el norte y noreste de la región.

Queda claro entonces que el manejo más apropiado de N en soja consiste en asegurar un eficiente proceso de nodulación y FBN. Una práctica segura y económica con este objetivo es la inoculación con bacterias de *Bradyrhizobium japonicum* de probada infectividad, eficiencia y efectividad. En el marco del Proyecto Regional Agrícola (INTA-CERBAN), con la colaboración del Proyecto Inocular (INTA-IMYZA) y de productores, técnicos y empresas del sector, se condujeron en los últimos años 37 ensayos de evaluación y caracterización de respuesta a la inoculación en soja (Tabla 2). En un grupo de 25 ensayos realizados por nuestro grupo de trabajo durante las campañas 2005/06, 2006/07 y 2007/08 en las localidades de Pergamino, Colón, (Buenos Aires) y Wheelwright (Santa Fe) se logró obtener una respuesta media de 8 % por sobre el testigo no inoculado. En 10 de estos 25 sitios se observó respuesta significativa a la inoculación ($P < 0,10$). La magnitud de la respuesta se incrementó levemente cuando se utilizaron tecnologías complementarias que mejoran la eficiencia del proceso, como el uso de protectores bacterianos, micronutrientes específicos, o mediante la inoculación en el surco de siembra (Figura 3.a). Por su parte, en una serie de 12 ensayos conducidos en San Antonio de Areco, la respuesta media fue mayor a la observada en el área anterior, alcanzando al 12 %. Lo mismo sucedió con el uso adicional de curasemillas o protectores bacterianos (Figura 3.b). El 40 % de los ensayos conducido en San Antonio de Areco respondió incrementando significativamente los rendimientos por el uso de inoculantes, proporción similar a la observada en el área de Pergamino.

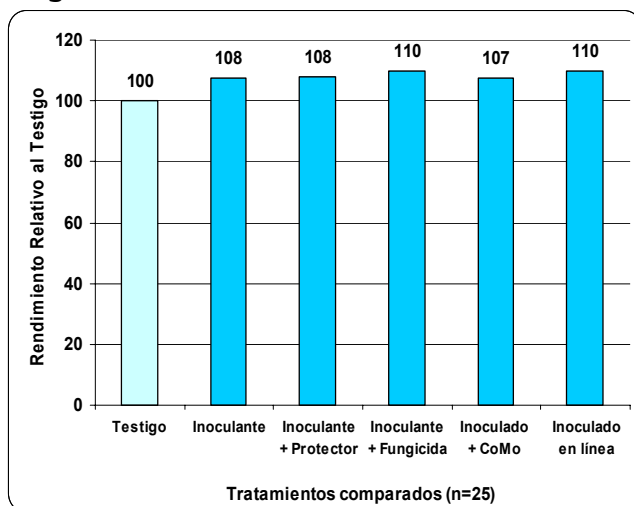


Figura 3.a

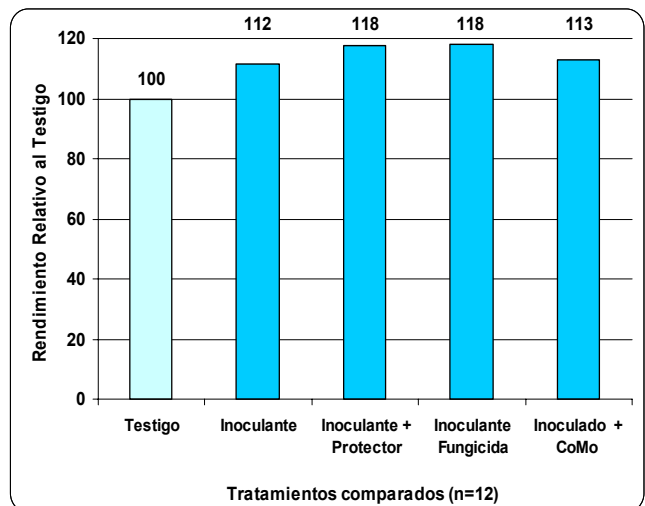


Figura 3.b

Figura 3: Rendimiento relativo al testigo (testigo=100) de diferentes estrategias de inoculación en las localidades de a) Pergamino, Colón y Wheelwright (n=25, campañas 2004-05 a 2007-08) y b) San Antonio de Areco (n=12, campañas 2001/02 a 2005/06).

En todos los casos, los ensayos fueron conducidos con diseño estadístico y 3-4 repeticiones. Para ambas regiones de ensayo, la práctica demostró un comportamiento estable, al punto de hallarse muy escasas situaciones de respuesta negativa a nula (Tabla 2). Los resultados individuales de los experimentos han sido publicados (Ferraris y Couretot, 2004; Ferraris y Couretot, 2005 a; b; Ferraris y Couretot 2007. a; b; c, Ferraris y Couretot 2008 a; b; Mousegne y Paganini, 2003; Mousegne et al., 2005; Mousegne y Paganini, 2005, Mousegne y Paganini, 2006).

Tabla 2: Descripción de sitio, campaña, respuesta absoluta y relativa, significancia estadística y tecnologías adicionales evaluadas en cada uno de los ensayos de la región norte y noreste.

A) Región norte: Localidades de Wheelwright (Ww), Colón (Co), y Pergamino

Sitio	Campaña	Diferencia media (kg/ha)	Respuesta Relativa media	Significancia estadística	Tecnologías evaluadas
Ww 1.1	2004/05	240,0	105,2	n.s.	pr
Co 1.1	2004/05	252,0	105,7	n.s.	pr
Pe 1.3	2004/05	-5,0	99,8	n.s.	pr
Ww 2.1	2005/06	162,5	105,2	0,06	fc, pr
Ww 2.2	2005/06	761,8	124,3	0,009	fc, pr
Ww 2.3	2005/06	-79,3	97,5	0,08	dd, pr, pgpr
Pe 2.1	2005/06	947,4	130,2	0,05	fc, como
Pe 2.2	2005/06	619,6	119,7	n.s.	fc, pr, pgpr, como
Pe 3.1	2006/07	511,8	113,3	n.s.	fc, pr, como
Pe 3.2	2006/07	216,0	104,8	n.s.	pgpr
Pe 3.3	2006/07	192,8	104,3	n.s.	pr fc, fgf
Pe 3.4	2006/07	424,5	109,5	n.s.	Micros
Pe 3.5	2006/07	258,0	106,9	n.s.	pgpr,ff
Pe 3.6	2006/07	176,0	104,7	n.s.	pgpr,ff
Pe 3.7	2006/07	161,0	107,1	n.s.	como
Ww 3.1	2006/07	223,0	105,4	0,01	fc, pr, pgpr,como
Ww 3.2	2006/07	400,0	109,7	0,01	fc, pr, pgpr
Pe 4.1	2007/08	78,8	102,4	n.s.	como,micros
Pe 4.2	2007/08	226,4	107,0	n.s.	como,micros
Pe 4.3	2007/08	160,5	105,1	n.s.	fc,pr,como, ia
Pe 4.4	2007/08	207,6	106,3	n.s.	fc, pgpr
Pe 4.5	2007/08	368,3	111,3	n.s.	fc, pgpr, ia
Pe 4.6	2007/08	22,0	100,6	0,001	pgpr, ff, fgf
Pe 4.7	2007/08	300,9	108,4	0,001	pgpr, ff, fgf
Pe 4.8	2007/08	238,8	107,7	n.s.	fc
Ww 4.1	2007/08	485,0	117,2	0,025	fc, pr, pgpr
Ww 4.2	2007/08	170,0	105,1	n.s.	fc, pr
Ww 4.3	2007/08	215,8	106,5	0,070	dd, s, fc, pr, ia

B) Región noreste: San Antonio de Areco (SAdA).

Sitio	Campaña	Diferencia media (kg/ha)	Respuesta Relativa media	Significancia estadística	tecnologías evaluadas
SAdA 1.1	2001/02	307,7	138,6	P<0,05	dd,fc,pr
SAdA 2.1	2004/05	548,5	115,8	P<0,05	pr,como
SAdA 2.2	2004/05	511,9	117,5	P>0,10	fc,pr
SAdA 2.3	2004/05	193,8	105,7	P<0,05	dd,fc,pr,pgpr,como
SAdA 2.4	2004/05	296,5	109,7	P<0,05	fc, pr, como, micros
SAdA 2.5	2004/05	257,0	108,7	P>0,10	fert
SAdA 2.6	2004/05	107,0	103,7	P>0,10	fc, fgf, ff
SAdA 3.1	2005/06	688,0	118,2	P>0,10	fc, pr, como
SAdA 3.2	2005/06	117,5	103,1	P>0,10	fc,pgpr
SAdA 3.3	2005/06	537,0	114,2	franjás	
SAdA 3.4	2005/06	515,0	113,2	franjás	pgpr
SAdA 3.5	2005/06	137,7	103,4	P>0,10	dd,pr,pgpr

Tecnologías adicionales evaluadas en el ensayo: **fc**: fungicida curasemilla, **dd**: doble dosis, **pr**: protector bacteriano, **pgpr**: microorganismos con efecto promotor del crecimiento como acompañante de *Bradyrhizobium: Azospirillum brasiliense, Pseudomonas fluorescens, Bacillus subtilis* o *Micorrizas*; **como**: Cobalto y Molibdeno, **micros**: micronutrientes diferentes de Co-Mo, **ia**: inoculación anticipada, **ff**: fertilizante foliar, **fgf**: fungicida de aplicación foliar, **fert**: respuesta a fósforo a la siembra.

Nuevas prácticas que mejoran la eficiencia de los inoculantes.

En el área de estudio, la práctica de la inoculación es frecuentemente acompañada por el uso de fungicidas curasemillas. Actualmente, algunos productores han optado por el uso de micronutrientes y microorganismos promotores del crecimiento (PGPR, por su sigla en inglés, Plant growth promoting rhizobacteria). Sin embargo, es probable que las prácticas con mayor impacto y difusión reciente fueran el uso de protectores bacterianos y la inoculación en la línea de siembra. Los protectores bacterianos son sustancias, por lo general hidratos de carbono, que nutren a la bacteria y la protegen de la desecación en el período que transcurre desde el tratamiento hasta la llegada de la semilla al suelo (Ferraris et al., 2006). La inoculación en línea en cambio, consiste en aplicar un flujo levemente presurizado de inoculante directamente en el interior del surco abierto por la sembradora. De esta manera, se evita que los cotiledones de la semilla conduzcan al inoculante afuera del suelo durante el proceso de germinación.

Los protectores bacterianos y la inoculación en línea parecen ser especialmente útiles bajo condiciones agresivas para la bacteria, como sequía, altas temperaturas durante la implantación o presencia de fertilizantes en cercanías de la semilla. En estos casos, disminuiría la mortandad de los microorganismos, y se lograrían mejores parámetros de nodulación (Tabla 3), que redundarían en mejores rendimientos. Efectivamente, si consideramos los ensayos conducidos en el área norte de la región, la diferencia por el uso de protector bacteriano vs inoculante sólo fue mayor en una campaña de bajas precipitaciones como 2005/06, en relación con el ciclo húmedo 2006/07 (Figura 4). Resultados análogos fueron obtenidos en ensayos de la AER 9 de Julio por la aplicación de inoculantes chorreados sobre el surco de siembra (Ventimiglia y Torrens Baudrix, 2008).

Tabla 3: Infectividad en V3, número de nódulos por planta en tallo principal (TP) y tallo secundario (TS), peso seco (PS) total de nódulos por planta, peso seco (PS) de raíces, nodulación específica (mg nódulo / mg raíz) e intensidad de verde (unidades Spad) de los tratamientos evaluados en el ensayo. Evaluación de estrategias de inoculación en Soja. Wheelwright, campaña 2007/08.

Tratamientos	Infectividad V3	Nº Nódulos x planta RP	Nº Nódulos x planta RS	PS nod x planta *	PS x raíz *	g nódulo / g de raíz *	Unidades Spad
T1- Testigo	100	14,3	30,5	1,40	2,8	0,506	45,3
T2- Inoculado Dosis simple	100	16,5	15,3	0,90	2,3	0,397	46,2
T3- Inoculado Dosis doble	100	15,7	33,4	1,30	3,0	0,438	47,2
T4- Inoculado +Curasemilla	100	16,3	31,8	1,30	2,4	0,549	45,9
T5- Inoculado+ Curasemilla + Protector	100	19,3	39,5	1,60	3,7	0,436	47,0
T6- Preinoculado + Curasemilla + Protector	100	22,7	25,5	1,10	2,3	0,478	45,9
T7- Inoculado en línea	100	30,0	34,0	1,10	2,4	0,458	46,4
Valor de P	1,00	0,248 n.s.	0,306 n.s.				0,083
CV (%)	0 %	43,6 %	42,3 %				1,7 %

* Determinados en el bloque 1

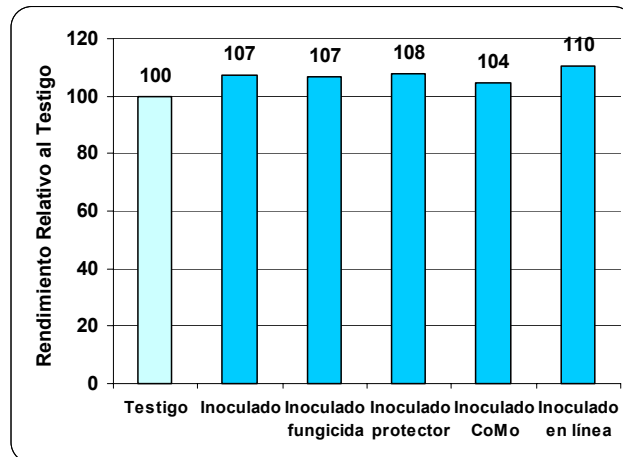
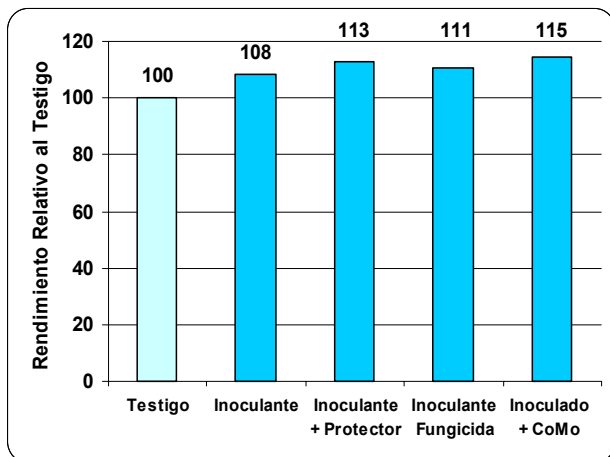


Figura 4.a

Figura 4.b

Figura 4: Rendimiento relativo al testigo de diferentes estrategias de inoculación en soja en dos campañas contrastantes, a) ciclo seco 2005/06 (n=5) y b) ciclo húmedo 2006/07 (n=9). Ensayos conducidos en las localidades de Pergamino, Colón y Wheelwright.

Se ha señalado que la respuesta a la inoculación en línea podría estar asociada a un efecto de mayor dosis, empleado para compensar la dilución que se produce al aplicar la solución directamente sobre el suelo. Pero este efecto fue observado también con el incremento de la dosis aplicada sobre semilla. En 6 ensayos realizados en Wheelwright, Pergamino y San Antonio de Areco, los rendimientos aumentaron en un 6 % cuando la dosis se duplicó respecto de la recomendada, aún cuando los sitios experimentales contaban con una larga tradición de siembra de soja (Figura 5).

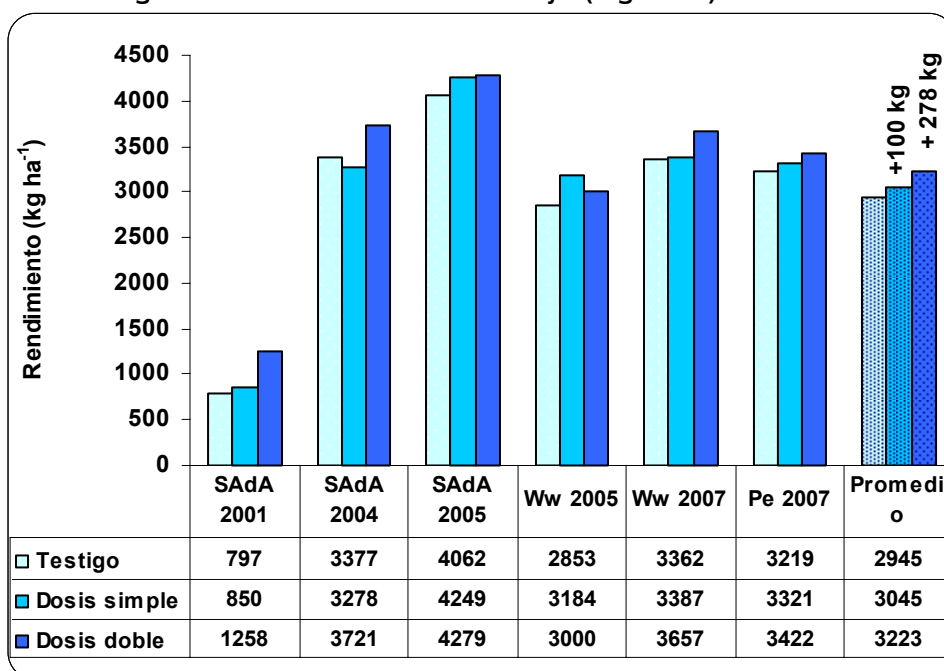


Figura 5: Rendimiento como resultado del uso de diferentes dosis de inoculantes sobre semilla en Soja, en las localidades de San Antonio de Areco (Sada), Wheelwright (Ww) y Pergamino (Pe). Los sitios contaban con antecedente de varios cultivos de Soja, y están incluidos en la base de datos de la tabla 2. En todos los casos se utilizaron inoculantes sin protector. La semilla fue tratada al momento de la siembra. La dosis simple corresponde a la recomendada en el marbete del producto comercial.

Antecedentes de respuesta a inoculación en soja en el norte, centro y oeste de Buenos Aires. Efectos del Tipo de suelo.

Los resultados presentados en la Tabla 3 y Figura 2 evidencian incrementos ligeramente superiores a los que mostraban ensayos previos. El Proyecto Inocular condujo y recopiló una larga serie de ensayos en las diferentes regiones sojeras argentinas. En la región norte, centro y oeste de Buenos Aires, se recopilaron 186 experiencias entre los años 1984 y 2006. La respuesta media a la inoculación en soja alcanzó a 214 kg ha^{-1} , representando un 6,1 % de incremento. Esta respuesta es similar en suelos Hapludoles énticos y típicos del centro y oeste de Buenos Aires, y Argiudoles vérticos y típicos del norte y noroeste de dicha provincia (Figura 6).

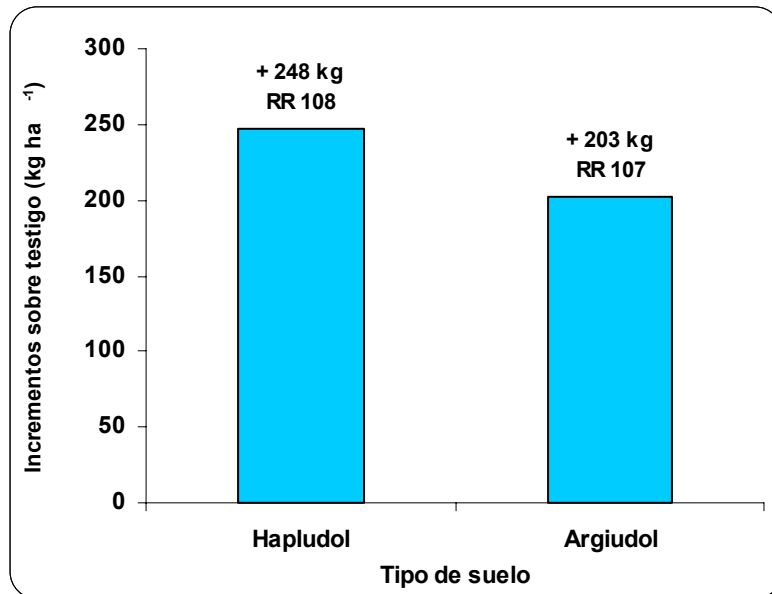


Figura 6: Respuesta a la inoculación de acuerdo con el Tipo de suelo del sitio experimental. Datos de 186 ensayos conducidos entre 1984 y 2006, en el norte, centro y oeste de Buenos Aires.

Efectos del ambiente y el manejo.

Si se relacionan los rendimientos de ambos tratamientos – testigo y tratado- con la media del sitio se observa una clara tendencia central. La pendiente de las parcelas tratadas es más pronunciada (Figura 7). Esto significa que, al aumentar el rendimiento del sitio producto de la mejora ambiental, la respuesta a la inoculación se incrementa. La explicación a este comportamiento reside en que los nódulos dependen de la fotosíntesis para su abastecimiento de carbohidratos. Es decir, al mejorar las condiciones de crecimiento, la fotosíntesis aumenta, lo que incrementa el flujo de carbohidratos a los nódulos. Esto a su vez aumenta las tasas de FBN, retroalimentando el proceso y posibilitando así un mejor crecimiento y rendimiento.

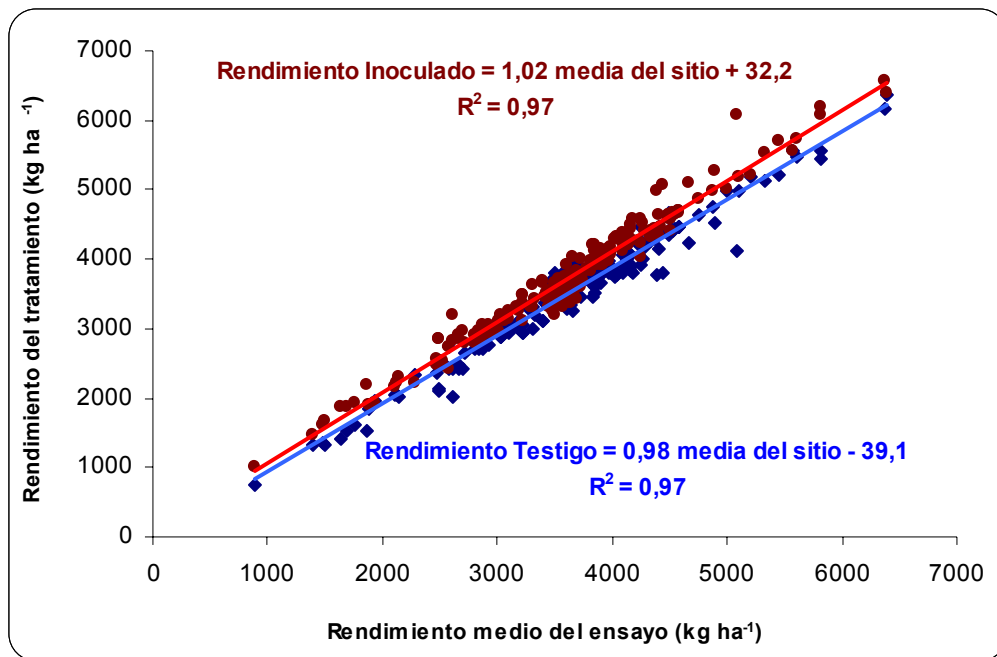


Figura 7: Relación entre el rendimiento de los tratamientos testigo e inoculado y el rendimiento medio del ensayo. Datos de 186 ensayos conducidos entre 1984 y 2006, en el norte, centro y oeste de Buenos Aires.

La respuesta observada estuvo influenciada por el grupo de maduración (GM). Los cultivares de mayor respuesta pertenecieron al GM III y IVc. Estos son los de mayor potencial de rendimiento en la región. Por su ciclo relativamente corto, deben alcanzar altas tasas de crecimiento en breves períodos de tiempo. Es decir, necesitan altas tasas de fotosíntesis y fijación. Los cultivares de ciclo muy corto (IIIc) o muy largo (VI), poco adaptados al área, son los de menor respuesta. Esto constituye una clara evidencia de que fotosíntesis y FBN son procesos íntimamente relacionados.

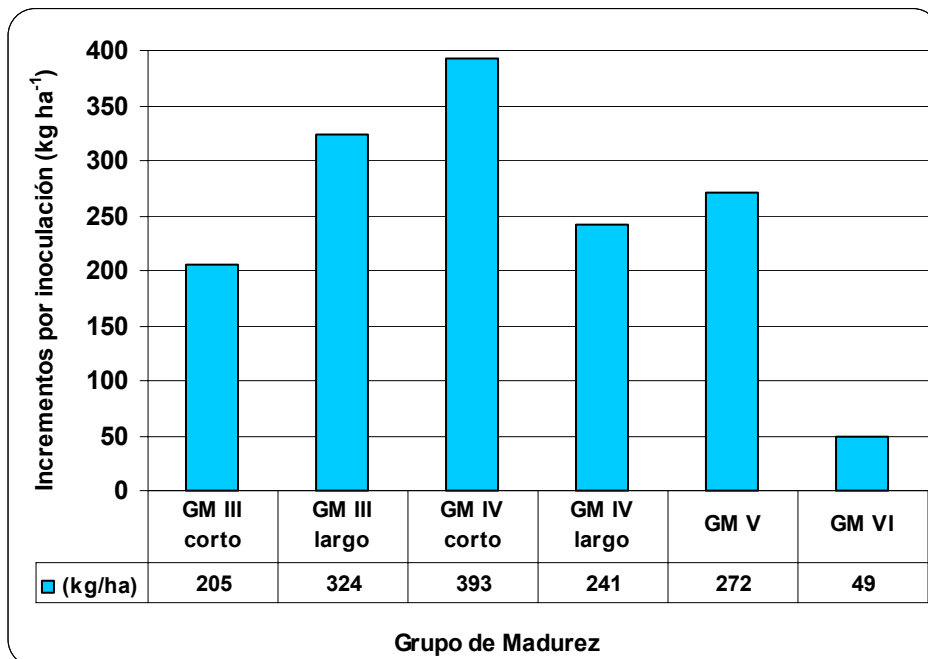


Figura 8: Respuesta a la inoculación clasificada por Grupo de Maduración. Datos de 186 ensayos conducidos entre 1984 y 2006, en el norte, centro y oeste de Buenos Aires.

Por último, la fertilidad de los suelos afecta la eficacia del proceso. Es evidente que suelos compactados o anegados resienten el flujo de oxígeno y con ello la actividad de raíces y nódulos. De igual modo, condiciones de salinidad, frecuentemente observadas en la porción norte de Buenos Aires, afectan severamente el proceso de FBN. Por el contrario, suelos profundos, con buen contenido de materia orgánica, cobertura de residuos en superficie y relaciones C/N elevadas en el suelo favorecen la fijación (Ferraris y González Anta, 2007). Cuanto más intensiva y con mayor proporción de gramíneas sea la rotación, una mayor cantidad del nutriente ciclará en las plantas y será más bajo el contenido de N del suelo, favoreciendo el proceso de infección.

El P, al afectar el crecimiento de las plantas e intervenir en el transporte de energía formando parte de la molécula de ATP, es sumamente necesario para que la FBN pueda ser maximizada. Por este motivo, suelos con buena disponibilidad de P o fertilizados suelen establecer un mayor número y peso de nódulos (Figura 9.a) (Ferraris et al., 2001.a). Lo mismo sucede con el azufre, al afectar la duración del área foliar y la eficiencia fotosintética (Figura 9.b) (Ferraris et al., 2001.b).

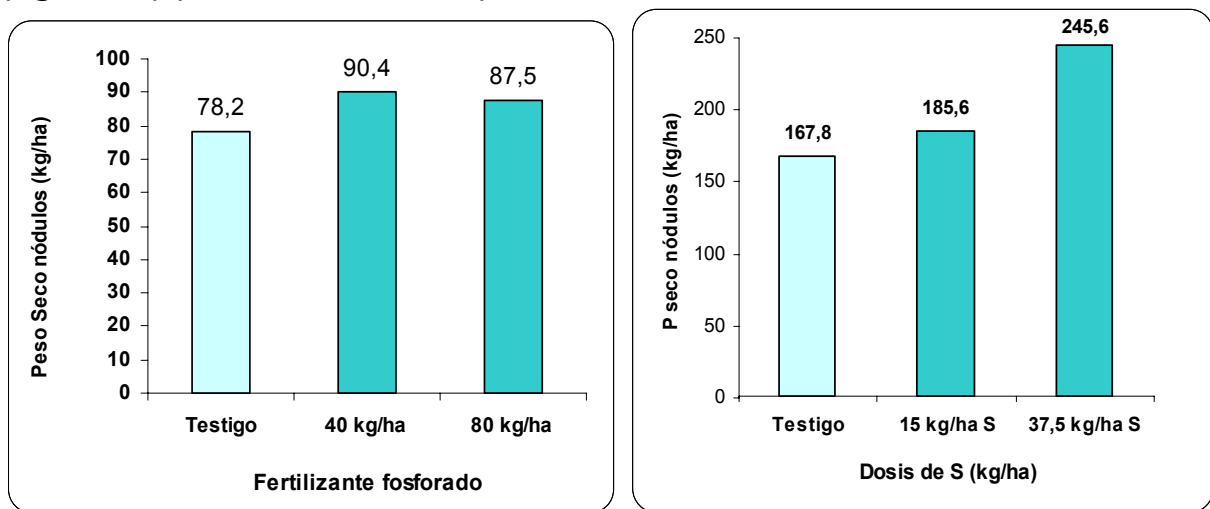


Figura 9: Peso seco de nódulos (kg ha^{-1}) como resultado de diferentes tratamientos de fertilización fosforada (a) y azufrada (b) en Soja. (Ferraris et al., 2001.a.b).

Conclusiones

- El N es el principal elemento para la soja. Dada su elevadísima demanda, no es posible proveerse de las cantidades necesaria desde el suelo, y sería antieconómico su agregado por fertilización. La FBN, la cual constituye la adaptación natural de la especie a una situación de carencia de N, permite sortear esta controversia. No se ha logrado una buena complementariedad entre la FBN y el agregado externo de N en estados fenológicos de baja fijación.
- En el norte de Buenos Aires y extremo sur de Santa Fe, una larga serie de datos indican respuestas medias de alrededor del 6%. Últimamente, con la mejora en las prácticas de cultivo, esta respuesta se ha ampliado hasta el 8 % a 12 % en el norte (Pergamino-Colón-Wheelwright) y noreste (San Antonio de Areco) de la región, respectivamente.
- El incremento en los rendimientos medios, la utilización de genotipos y GM adaptados y de alto rendimiento, y la fertilización con P y S, mejoraron la eficiencia de la nodulación y los rendimientos. Asimismo, aspectos relacionados con la tecnología de inoculación, como el uso de protectores bacterianos, inoculantes en línea de siembra y hasta el aumento de la dosis aplicada, mostraron buenos resultados especialmente bajo condiciones restrictivas para la supervivencia de la bacteria, y parecieran tener una notable proyección futura.

Literatura citada

Barbagelata, P.A., O.P. Caviglia, y O.F. Papparotti. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada y azufrada en el cultivo de soja en siembra directa con riego suplementario. INTA EEA Parana (disponible on-line en www.inta.gov.ar).

Barker, D.W., Sawyer, J.E., 2005. Nitrogen application to soybean at early reproductive development. *Agron. J.* 97, 615–619.

Bharati, M.P., Whigham, D.K., Voss, R.D., 1986. Soybean response to tillage and nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. *Agron. J.* 78, 947–950.

Bodrero, M., Salvagiotti, F., Enrico, J.M., Mendez, J.M., Trentino, N., 2004. Does nitrogen fertilization increase grain yield in high yielding systems in the south area of Santa Fe Province, Argentina? In: *Proceedings VII World Soybean Research Conference, IV International Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Brasileiro de Soja, Foz do Iguassu, PR, Brazil.*

Bodrero, M.L., Martignone, R.A., Nakayama, F., Macor, L., 1985. Outlook on Nitrogen Fertilization in Soybean Crops, vol. 6. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires*, pp. 39–44.

Ciampitti I.A. y F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción demacronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, oleaginosos e industriales. *Archivo Agronómico N° 11 Informaciones Agronómicas N° 33 Instituto Internacional de nutrición de Plantas. Programa Latinoamérica – Cono Sur.*

Cordone, G., F. Salvagiotti, M. Bodrero, J. Capurro, F. Martínez, J. Enrico, M. Turinetto, J. Mendez y N. Trentino. 2003. Respuesta de la soja de primera al agregado de nitrógeno en estado reproductivo. *Soja, para mejorar la producción*, no. 24, INTA EEA Oliveros, pp. 124-129.

Deibert, E.J., Bijeriego, M., Olson, R.A., 1979. Utilization of 15N fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines. *Agron. J.* 71, 717–723.

Enrico, J.M., F. Salvagiotti y M. Bodrero. 2003. Fertilización en soja de segunda. *Soja, para mejorar la producción* 24, INTA EEA Oliveros, pp. 113-115.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2004. Evaluación de la fertilización química nitrogenada en soja como complemento de la inoculación. *Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, IX (27):37-39.*

Ferraris, G. y L. Couretot. 2005. Hacia una mejora en la fijación biológica de nitrógeno (FBN). Evaluación de diferentes dosis de cobalto y molibdeno como tratamientos de semilla o foliar en soja de primera. En: *Soja. Resultados de Unidades demostrativas del Proyecto Regional Agrícola, año 2005. CERBAN. Áreas de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas.* pp 66-69.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2005. Respuesta de la soja a la inoculación con *Bradhyrhizobium 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.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2007. a. Evaluación de la aplicación de nutrientes y estrategias de fertilización alternativas en soja. *Agromercado. Cuadernillo Soja 2007.* 27 (141):142-143.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2007. b. Evaluación de nuevos desarrollos en inoculación en soja. *Campaña 2005/06. Proyecto Regional Agrícola. Pergamino/Gral.Villegas* pp.75-79.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2007. c. Nuevas estrategias de producción para alcanzar los rendimientos potenciales en Soja. *Agromercado. Cuadernillo Soja 2007.* 27 (141):18-20.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2008..a Estrategias de inoculación en soja. En: *Soja en Siembra Directa. ISSN 1850-0633. AAPRESID. Septiembre 2008.*

Ferraris, G. y L. Couretot. 2008. b.Tecnologías alternativas para lograr rendimientos potenciales en soja. En: *Revista Agromercado. ISSN 1515-223x. Cuadernillo clásico Soja. Vol.28, N.157.*

Ferraris, G.; M. Ferrari y J. Ostojic. 2001. Experiencias de fertilización azufrada en soja y trigo/soja en Pergamino. *Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, VI(18): 16-19.*

Ferraris, G., M. Ferrari y J. Ostojic. 2001. Fertilización fosforada en soja: fitotoxicidad en aplicaciones localizadas a la siembra y efectos sobre el rendimiento. *Revista de Tecnología Agropecuaria, EEA INTA Pergamino, VI(18): 20-23.*

Ferraris, G. y G. González Anta. 2007. Contribución al nitrógeno orgánico y de la FBN a la nutrición nitrogenada de soja en Argentina. Proyecto Regional Agrícola. Pergamino/Gral.Villegas. p.80-96.

Ferraris G.; G. González Anta y M. Díaz Zorita. 2006. "Aportes actuales y futuros de tratamientos biológicos sobre la nutrición nitrogenada y producción de soja en el Cono Sur". En: Actas 3er Congreso Soja del MERCOSUR. Conferencias plenarias, Foros y Workshops. Pp 85-89.

Ghelfi, R.A., A. Bujan, M.C. Quitegui, y L.E.P. de Ghelfi. 1984. Determinación de N₂ atmosférico fijado por soja (*Glycine max* L.) mediante utilización de ¹⁵N en condiciones de campo. *Ciencia del Suelo* 2: 45-51.

Gutiérrez Boem, F.H., J.D. Scheiner, H. Rimski Korsakov y R.S. Lavado. 2004. Late season nitrogen fertilization of soybeans: effects on leaf senescence, yield and environment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68: 109-115.

Gutiérrez Boem, F.H., J.D. Scheiner, L. Martín, y R.S. Lavado. 2002. Respuesta del cultivo de soja a la fertilización fosforada y nitrogenada. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn, Abril 16-19.

Haq, M.U., Mallarino, A.P., 2000. Soybean yield and nutrient composition as affected by early season foliar fertilization. *Agron. J.* 92, 16–24.

Hungria, M., Franchini, J., Campo, R., Graham, P., 2005a. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: Werner, D., Newton, W. (Eds.), *Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment*. Springer, Netherlands, pp. 25–42.

Hungria, M., Franchini, J.C., Campo, R.J., Crispino, C.C., Moraes, J.Z., Sibaldelli, R.N.R., Mendes, I.C., Arihara, J., 2006. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. *Can. J. Plant Sci.* 86, 927–939.

Hungria, M., Loureiro, M., Mendes, I., Campo, R., Graham, P., 2005b. Inoculant preparation, production and application. In: Werner, D., Newton, W. (Eds.), *Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment*. Springer, Netherlands, pp. 223–253.

Maddux, L.D. 1998. Effects of application method, time, and rate of supplemental nitrogen on irrigated soybeans. p. 50-51. En *Kansas Fertilizer Research, Report of Progress 829*, Kansas State University, Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan (disponible on-line en www.oznet.ksu.edu/library/crpsl2/)

Mousegne, F y A. Paganini. 2003. Soja de Segunda: Uso de inoculantes. Campaña 2001/02. Resultados en Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola. Pergamino/Gral.Villegas pp.51-55.

Mousegne, F, A. Paganini. y D. Cozzetti. 2005. Inoculación: Evaluación de la respuesta del cultivo. Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola. Pergamino/Gral.Villegas pp.23-29.

Mousegne, F y A. Paganini. 2005. Inoculación y fungicidas. Evaluación de la respuesta del cultivo. Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola. Pergamino/Gral.Villegas pp.29-32.

Mousegne, F, M. López de Sabando, y A Paganini. 2006. Soja de Primera. Inoculación. Campaña 2005/06: Resultados de Unidades Demostrativas. Proyecto Regional Agrícola. Pergamino/Gral.Villegas pp.11-26.

Salvagiotti, F. et al., Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review, *Field Crops Res.* (2008), doi:10.1016/j.fcr.2008.03.001

Scheiner J.D., F.H. Gutiérrez Boem, J. Pirotta, y R.S. Lavado. 2000. Respuesta del cultivo de soja a la aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosforados en el norte de la Pcia. de Buenos Aires. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Comisión 3 no. 62. Mar del Plata. 11 al 14 de abril de 2000.

Starling, M.E., Wood, C.W., Weaver, D.B., 1998. Starter nitrogen and growth habit effects on late-planted soybean. *Agron. J.* 90, 658–662

Ventimiglia, L. y L. Torrens Baudrix. 2008. Inoculación chorreada en el fondo del surco versus la inoculación clásica en semilla utilizando diferentes dosis de inoculantes. E: Experimentación en campo de productores. Campaña 2007/08. pp 158-162. AER 9 de Julio, EEA Pergamino. INTA.

Whitney, D.A., y W.B. Gordon. 1999. Nitrogen source, rate, and application time for soybean. p. 97-98. En *Kansas Fertilizer Research, Report of Progress 829*, Kansas State University, Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Manhattan (disponible on-line en www.oznet.ksu.edu/library/crpsl2/).

Wingeyer, A.B., H. Echeverría y H. Sainz Rosas. 2004. Fertilización nitrogenada en soja de primera bajo condiciones hídricas variables. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, junio.

Zapata, F., Danso, S.K.A., Hardarson, G., Fried, M., 1987. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agron. J.* 79,

Zapata, F., S.K.A. Danso, G. Hardarson, y M. Fried. 1987. Time course of nitrógeno fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. *Agon. J.* 79: 173-176.

Zhang, F., y D.L. Smith. 2002. Interorganismal signaling in suboptimum environments: The legume-rhizobia symbiosis. *Adv. Agron.* 76: 125-161.