

PERSPECTIVAS DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN CULTIVOS DE SOJA

M. L. Bodrero (1), R. A. Martignone (2), F. Nakayama (2) y L. Macor (1)

Recibido: 19/7/84

Aceptado: 4/2/85

RESUMEN

Se analizaron los resultados de varios ensayos de fertilización nitrogenada en soja (*Glycine max*) realizados durante las campañas agrícolas 1976/77; 77/78; 80/81 y 81/82. Las dosis de nitrógeno, aplicadas al suelo, fueron de 0; 50; 100 y 200 kg/ha. La fertilización fue a la siembra o a la floración en lotes cuyos número de cultivos previos de soja nodulada varió entre 0 y 3, dependiendo de los ensayos. El suelo fue un Argiudol con capacidad de uso clase I.

Sólo se observaron incrementos del rendimiento en lotes que tuvieron menos de dos cultivos previos de soja, independientemente del año y cultivar utilizado.

La ausencia de respuesta a la fertilización después de dos cultivos de soja nodulada se debió a una adecuada población de rizobios naturalizada en el suelo. Esta produjo una eficiente nodulación que proveyó una cantidad suficiente de compuestos nitrogenados requeridos para el crecimiento y desarrollo del cultivo. En esta situación, las perspectivas de una respuesta a la fertilización nitrogenada son remotas.

OUTLOOK ON NITROGEN FERTILIZATION IN SOYBEAN CROPS

SUMMARY

A 4-year field study was conducted on an Argiudol class I soil to determine the effect of soil nitrogen fertilization upon soybean (*Glycine max*) seed yield. Nitrogen rates were 0; 50; 100 and 200 kg/ha. Fertilization was at sowing or at the flowering stage in experimental areas in which previous nodulated soybean crops varied from 0 to 3, depending on the trials.

Seed yield increases were only observed in experimental areas having less than previous soybean crops, independently of the year and cultivar.

The lack of response to fertilization after two nodulated soybean crops was due to a suitable naturalized rhizobia population in the soil. It caused an efficient nodulation that provided enough nitrogen compounds needed for crop growth and development. In this situation, the outlook of nitrogen fertilization response is unlikely.

- 1) Estación Experimental Agropecuaria Oliveros INTA, Casilla de Correo 4, (2206) Oliveros, Santa Fe, Argentina.
- 2) Cátedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe 2051, (2000) Rosario, Santa Fe, Argentina.

INTRODUCCION

La soja (*Glycine max*) tiene la facultad de utilizar nitrógeno atmosférico para su crecimiento, por lo que la fertilización nitrogenada sería innecesaria. No obstante, numerosos trabajos realizados en diversas partes del mundo muestran aumentos del rendimiento con la aplicación de esta técnica. Una explicación de este incremento sería la suplementariedad del fertilizante adicionado respecto del nitrógeno natural del suelo y del de origen simbiótico (Harper, 1974).

La actividad simbiótica comienza a las pocas semanas desde la germinación, pero no observa una importante masa de nódulos hasta las 5-6 semanas (Thibodeau y Jaworski, 1975). La máxima tasa de fijación se produce a mediados de floración o principios de fructificación y declina marcadamente durante el llenado de las semillas (Harper, 1974; Lawn y Brun, 1974; Thibodeau y Jaworski, 1975). Esta dinámica de la asimilación del nitrógeno atmosférico muestra que la fertilización nitrogenada debe efectuarse de modo tal que suplemente a la fijación simbiótica cuando es baja.

Debido a la importante brecha que existe entre los rendimientos promedios y su potencial, resulta importante conocer las perspectivas que pueda tener la fertilización nitrogenada.

MATERIALES Y METODOS

Los ensayos se realizaron en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario en Zavalla y en la Estación Experimental Agropecuaria Oliveros del INTA en Oliveros, localidades cercanas a Rosario, Provincia de Santa Fe. Comprendieron las campañas agrícolas 1976/77; 77/78; 80/81 y 81/82.

Los suelos donde se realizaron los ensayos son Argiudol vértico en Zavalla y Argiudol típico ácuico en Oliveros, todos de clase I según su capacidad de uso.

En el Cuadro 1 se indican las precipitaciones registradas en las Estaciones Agrometeorológicas de los respectivos Campos Experimentales en los años de ensayo.

La ubicación de los ensayos, fechas de siembra, cultivares, número de cultivos previos de soja en cada lote y sus respectivas concentraciones de N, P, NO₃ y materia orgánica a la siembra de cada ensayo se detallan en el Cuadro 2. Las semillas se inocularon con productos comerciales. La fertilización se realizó con urea (46 por ciento de nitrógeno) al comienzo de la floración en las tres primeras campañas y a plena floración en la última, a razón de 0; 50; 100 y 200 kg N/ha. En todos los casos, excepto en el ensayo 5 (Halesoy 321 en 1980/81), el diseño experimental fue de bloques al azar con cua-

CUADRO 1: Precipitaciones (mm) registradas en los lugares donde se realizaron los ensayos.

Localidad	Años	Meses											
		J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J
Zavalla	76/77	7	122	24	105	117	231	91	323	101	21	33	53
	\bar{x} 5 años	39	51	61	88	72	122	122	166	110	51	58	64
Oliveros	77/78	16	14	63	126	90	145	299	60	355	13	13	36
	80/81	48	17	16	88	138	111	173	117	57	155	188	14
	81/82	56	1	8	101	143	58	67	186	58	28	57	19
	\bar{x} 22 años	48	35	55	112	103	126	132	105	176	91	54	45

CUADRO 2: Ubicación de los lotes, fechas de siembra, cultivares utilizados, número de cultivos previos de soja de cada lote y concentraciones de N (%), P (ppm), NO₃ (ppm) y materia orgánica (%) a la siembra de cada ensayo.

	Ubicación	Fecha de siembra	Cultivares	Nº de cultivos previos de soja	N (%)	P (ppm)	NO ₃ (ppm) ³	M. O. (%)
1	Zavalla	9-11-76	Halesoy 71	1	0,150	22	88	2,9
2	Zavalla	18-11-76	Hood	1	0,160	22	26	3,2
3	Zavalla	2-12-76	Clark 63	0	0,160	22	44	3,3
4	Oliveros	12-11-77	Halesoy 71	0	0,125	22	23	2,5
5	Oliveros	24-11-80	Halesoy 321	2	0,184	40	63	2,7
6	Oliveros	10-12-81	Hood C. Azul	1	0,132	30	34	2,9
7	Oliveros	12-12-81	Hood C. Azul	3	0,167	97	55	3,4
8	Oliveros	3-12-81	Bragg	3	0,136	40	64	2,9

tro repeticiones. El ensayo 5 contó además con otros tratamientos consistentes en las mismas dosis de urea, aplicadas antes de la siembra solamente. En éste, el diseño experimental fue de parcelas divididas dispuestas en cuatro bloques al azar, siendo la parcela principal los momentos de aplicación (a la siembra o a principios de la floración) y las subparcelas, las dosis de nitrógeno. En este ensayo se determinó a la madurez, además del rendimiento, la longitud del tallo principal y el peso de la parte aérea de muestras de 0,5 metros cuadrados de cada subparcela.

En los ensayos en los cuales se fertilizó a la floración, la urea se distribuyó al voleo, quedando en los entresurcos cubiertos por el follaje. Cuando se aplicó inmediatamente antes de la siembra, se dispersó al voleo y se incorporó con rastra de discos de doble acción.

Durante la floración se evaluó la eficiencia de la nodulación según Freire y Vidor (1974) que tienen en cuenta el estado de las plantas, la abundancia, tamaño, localización, color interno y tipo de superficie externa de los nódulos.

En todos los ensayos, el tamaño de las

unidades experimentales fue de 4,9 m de ancho, 7 surcos a 0,7 m entre sí, por 10 m de largo, separadas por 1,4 m entre ellas. Las malezas se controlaron con herbicidas de presiembra y labores mecánicas y los insectos, con pulverizaciones periódicas. Se cosecharon 15 m² y el rendimiento se expresó en kg/ha con 13 por ciento de humedad. Sobre muestras de esas semillas, extraídas al azar, se determinó el peso de mil semillas y el porcentaje de proteínas según el método de Kjeldahl. En 10 plantas extraídas al azar, a la cosecha, se cuantificó el número de frutos por planta.

Los datos se sometieron al análisis de la variancia. Las diferencias entre medias se establecieron según el Test de Rangos Múltiples de Duncan al nivel del 5 por ciento de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

La lluvia caída durante los ensayos (Cuadro 1) fue abundante y bien distribuída, excepto en la última campaña que fue menor e

en diciembre, enero, marzo y abril, cuyos balances evapotranspiratorios presentaron un déficit hídrico de 84; 125; 40 y 34 mm respectivamente.

En el Cuadro 3 se observa que sólo en algunos ensayos hubo respuesta a la fertilización. Esta se produjo en lotes con ningún o un cultivo previo de soja, independientemente del año y del cultivar utilizado. Dentro de este grupo, los tres ensayos cuyos testigos produjeron menos (ensayos 2; 3 y 4), tuvieron la mayor respuesta a la fertilización, con

incrementos entre 31 y 64 por ciento para la dosis de 200 kg N/ha.

Los aumentos se debieron al mayor peso de mil semillas (Cuadro 4) y, en los ensayos 1 y 4, además, al mayor número de frutos por planta. En el ensayo 1 el número de frutos por planta fue de 34 para la dosis de 0 kg N/ha y de 55 con 200 kg N/ha y en el ensayo 4 de 53 y 63 para las respectivas dosis mencionadas. El contenido proteico de las semillas se incrementó únicamente en los ensayos 3 y 4 desde 37,9 hasta 93,6 por ciento

CUADRO 3: Rendimiento de semillas (kg/ha) de los ensayos del Cuadro 2, fertilización con 0; 50; 100 y 200 kg N/ha a principios de floración en los cinco primeros y a plena floración en los tres últimos.

	Cultivar	Dosis de nitrógeno (kg/ha)			
		0	50	100	200
1	Halesoy 71	3.121 a *	3.217 a	3.488 b	3.616 b
2	Hood	2.258 a	2.709 b	2.856 bc	2.958 c
3	Clark 63	1.812 a	2.094 b	2.431 c	2.386 c
4	Halesoy 71	2.196 a	2.502 b	2.915 c	3.599 d
5	Halesoy 321	3.440 a	3.361 a	3.396 a	3.369 a
6	Hood Cerro Azul	2.377 a	2.572 ab	2.605 ab	2.704 b
7	Hood Cerro Azul	2.962 a	3.054 a	2.939 a	3.027 a
8	Bragg	2.466 a	2.383 a	2.500 a	2.459 a

Promedios dentro de cada fila seguidos de igual letra no difieren al nivel del 5 % según Test de Duncan.

CUADRO 4: Peso de mil semillas (g) de los ensayos del Cuadro 2, fertilizados con 0; 50; 100 y 200 kg N/ha a principios de floración en los cinco primeros y a plena floración en los tres últimos.

	Cultivar	Dosis de nitrógeno (kg/ha)			
		0	50	100	200
1	Halesoy 71	149 a *	154 b	156 bc	164 c
2	Hood	126 a	142 b	161 c	172 c
3	Clark 63	124 a	137 b	174 c	156 d
4	Halesoy 71	130 a	136 a	144 b	150 b
5	Halesoy 321	154 a	150 a	152 a	152 a
6	Hood Cerro Azul	174 a	181 b	183 b	183 b
7	Hood Cerro Azul	169 a	175 a	169 a	171 a
8	Bragg	163 a	161 a	164 a	162 a

* Promedios dentro de cada fila seguidos de igual letra no difieren al nivel del 5 % según Test de Duncan.

en Clark 63 y desde 37,1 por ciento hasta 42,6 por ciento en Halesoy 71 para 0 y 200 kg N/ha, respectivamente.

Cuando el número de cultivos previos fue de dos o más, el agregado de nitrógeno no incrementó los rendimientos (Cuadro 3).

Está comprobado que sucesivos cultivos nodulados aseguran una adecuada población de rizobios en el suelo y una eficiente fijación simbiótica, manifestándose con elevados rendimientos y ausencia de respuesta a la inoculación, aún con cepas más eficientes (Ham *et al.*, 1977). En la zona del experimento, este comportamiento quedó evidenciado en otros dos ensayos complementarios con cultivar Hood 75 sobre lotes con 2 y 3 cultivos previos de soja respectivamente en Oliveros. Se compararon tratamientos con semillas inoculadas con producto comercial de uso generalizado en la zona y tratamientos no inoculados. Los diseños experimentales fueron de bloques al azar con 4 repeticiones y las parcelas, de 4,9 m de ancho por 10 metros de largo, estuvieron separadas por 5 surcos de soja no inoculada. En el primero de ellos, sembrado el 3-12-82, no se obtuvo incrementos del rendimiento en las plantas inoculadas, respecto de las no inoculadas, ambas noduladas. Tampoco cuando las no inoculadas fueron fertilizadas en plena floración con urea. Los rendimientos fueron de 3.844; 3.820 y 3.927 kg/ha para los tratamientos inoculado, y no inoculados fertilizados con 0 y 200 kg N/ha respectivamente. En el otro ensayo, sembrado el 19-11-82 tampoco hubo respuesta significativa cuando se fertilizó foliarmente con soluciones de urea a razón de 0; 40 y 80 kg N/ha distribuidas en cuatro aplicaciones de 300 litros por hectárea cada una con intervalos de 5 días durante el crecimiento de las semillas. El tratamiento inoculado produjo 3.080 kg/ha y los no inoculados fertilizados con 0; 40 y 80 kg N/ha, 3.029; 3.242 y 3.244 kg/ha respectivamente. Evidentemente, la nodulación de las plantas producida por la infección con cepas de rizobios naturalizadas existentes en el

suelo fue eficiente y proveyó suficientemente de compuestos nitrogenados a las plantas.

Los resultados permiten inferir que la población de rizobios naturalizada en el suelo después de dos cultivos bien nodulados habría sido suficiente para lograr una adecuada provisión nitrogenada para el crecimiento de la planta y producción de semillas. Las plantas noduladas en estas condiciones habrían acumulado desde temprana edad, una importante cantidad de reservas en los tejidos vegetativos (Carr y Pate, 1967; Sinclair y de Wit, 1976). Estas fueron luego movilizadas en cantidad suficiente para satisfacer los destinos reproductivos preexistentes, en momentos de la declinación de la actividad nodular.

Por el contrario, en lotes con menos de dos cultivos previos, la respuesta a la fertilización indica que ésta complementó al nitrógeno proveniente de la simbiosis.

Este razonamiento permite explicar los incrementos del rendimiento con la fertilización obtenidos por Racca y Bodrero (1981) en un segundo cultivo de soja nodulada. En cambio, la falta de respuesta observada por Bodrero *et al.* (1984) se debió a que el ensayo se realizó en un lote con tres cultivos previos de soja nodulada.

Para comprobar el efecto de una fertilización temprana que cubriese el período previo a la nodulación, en ensayo 5 (Cuadro 2), contó con otros tratamientos con las mismas dosis de urea, aplicadas solamente antes de la siembra.

Se evaluó el crecimiento vegetativo y los componentes del rendimiento, observándose que no presentaron diferencias significativas entre las dosis de nitrógeno ni entre los momentos de aplicación. El Cuadro 5 resume los valores de la longitud del tallo principal, del peso de la parte aérea y del rendimiento en el momento de la cosecha final. Tampoco hubo diferencias en el vuelco a lo largo del ciclo del cultivo en ninguno de los tratamientos.

El incremento de la concentración de nitratos en el suelo debido a la fertilización

CUADRO 5: Efecto de la fertilización a la siembra con 0; 50; 100 y 200 kg N/ha, sobre el crecimiento y rendimiento de Halesoy 321.

	Dosis de Nitrógeno (kg/ha)			
	0	50	100	200
Longitud tallo principal (cm)	102,4	101,9	105,4	103,6
Peso seco aéreo (kg/ha)	11.008	10.969	11.526	11.581
Rendimiento de semillas (kg/ha)	3.440	3.597	3.452	3.371

desde el comienzo del ciclo, incidió negativamente sobre la nodulación, concordante con resultados previos (Bodrero *et al.*, 1981). Como el resto de los parámetros no difirieron entre los tratamientos, es evidente que existió una compensación entre las distintas fuentes de nitrógeno, similar a la citada por Alexander (1977). Las reservas nitrogenadas acumuladas, independientemente de las fuentes, satisficieron los requerimientos del crecimiento reproductivo, produciendo resultados similares a los obtenidos con la fertilización a la floración.

CONCLUSIONES

Los incrementos de rendimiento con la fertilización nitrogenada se produjeron solamente en lotes que contaron con menos de dos cultivos previos de soja nodulada. En estos casos, ni el aporte de N por parte de la población de rizobios naturalizadas ni el de la inoculación fueron suficientes para satisfacer los requerimientos de la planta. La fertilización suplementó las necesidades, incrementando los rendimientos. Cuando la nodulación fue abundante y eficiente la fijación simbiótica fue adecuada y una aplicación adicional en distintos momentos no incrementó los rendimientos ni promovió un mayor crecimiento vegetativo ni vuelco. Se infiere que la soja compensó la utilización del nitrógeno desde distintas fuentes a lo largo de su ciclo.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Alexander, M., 1977. Introduction to soil microbiology. 2º Ed. J. Willey & Sons, Inc. N. York. p. 321-322.
- 2) Bodrero, M.; L. Macor; R. Martignone y E. Leidi, 1981. Influencia de la fertilización con N sobre el cultivo de soja. *Resúmenes Reuniones Técnicas Nacionales VII de Soja y IV de Girasol*. Córdoba. p. 34.
- 3) Bodrero, M. L.; R. A. Martignone y L. Macor, 1984. Efecto de la fertilización nitrogenada en soja. *Ciencia del Suelo* 2: 212-214.
- 4) Carr, D. J. y J. S. Pate, 1967. Ageing in the whole plant. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 21: 559-599.
- 5) Freire, J. R. J. y C. Vidor, 1974. Fixação simbiótica do nitrogênio. En: Goepfert, C. F.; J. R. J. Freire y C. Vidor. *Nutrição da cultura de soja*. EMBRAPA, Porto Alegre, R. S. p. 17-30.
- 6) Ham, G. E.; V. B. Cardwell y H. W. Johnson, 1971. Evaluation of *Rhizobium japonicum* inoculants in soils containing naturalized populations of rhizobia. *Agron. J.* 63: 301-303.
- 7) Harper, J. E., 1974. Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. *Crop Sci.* 14: 255-260.
- 8) Lawn, R. J. y W. A. Brun, 1974. Symbiotic nitrogen fixation in soybeans. I. Effect of photosynthetic source-sink manipulations. *Crop Sci.* 14: 11-16.
- 9) Racca, R. W. y M. L. Bodrero, 1981. Influencia de la fertilización con N en soja nodulada cv. Halesoy 71. *Revista de Ciencias Agropecuarias* 2: 7-16.
- 10) Sinclair, T. R. y C. T. de Wit, 1976. Analysis of carbon nitrogen limitations to soybean yield. *Agron. J.* 68: 319-324.
- 11) Thibodeau, P. S. y E. G. Jaworski, 1975. Patterns of nitrogen utilization in the soybean. *Planta* 127: 133-147.