

APLICACIÓN FOLIAR DE NITRÓGENO Y AZUFRE EN EL CULTIVO DE SOJA (GLYCINE MAX (L.) MERR.) EN EL SUDESTE BONAERENSE

WINGEYER, ANA¹; ECHEVERRÍA, HERNÁN²; SAINZ ROZAS, HERNÁN³

RESUMEN

En la región pampeana, se han reportado respuestas a la fertilización con nitrógeno (N) y azufre (S) en numerosos cultivos. Con el objetivo de evaluar el crecimiento, la acumulación de N y el rendimiento del cultivo de soja por la aplicación de dosis y formas de N junto con la adición de S foliar en estadios reproductivos, se realizó un ensayo de fertilización en soja bajo riego durante dos campañas, 2002/2003 y 2003/2004, en el sudeste bonaerense. Se evaluó la aplicación en R1 o R4 de urea al voleo (Us), urea líquida (Ul) y urea líquida más tiosulfato de amonio asperjados al follaje a las dosis de 0, 20 y 40 kg N ha⁻¹ y 0, 6.25 y 12.5 kg S ha⁻¹. La aplicación de fertilizantes foliares (Ul y Ul+S) produjo quemado del follaje con reducciones en la intercepción de la radiación (durante 6 y 18 días, en R1 y 4 y 6 días en R4, en 2002/2003 y 2003/2004, respectivamente) y el rendimiento del cultivo con respecto a la fuente sólida (5 y 15% promedio de R1 y R4 en 2002/2003 y 2003/2004, respectivamente). No se determinó respuesta en rendimiento, concentración o acumulación de N en grano por el agregado de N. La aplicación de S foliar no incrementó el rendimiento, probablemente asociado al efecto fitotóxico de ésta. Para cultivos de soja adecuadamente nodulados en suelos sometidos a prolonga-

¹Becaria UNMP-FCA, Balcarce. CC 53 (7000) Tandil, Argentina. anitawingeyer@yahoo.com.ar

²Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, CC 276 (7620) Balcarce, Argentina.

hecheverr@balcarce.inta.gov.ar

³INTA Balcarce, CC 276 (7620) Balcarce, Argentina. hsainzrozas@hotmail.com

RIA, 34 (2): 33-47, Agosto 2005. INTA, Argentina

da historia agrícola del sudeste bonaerense, se concluye que la FBN, el N mineral y el N mineralizado durante el ciclo fueron suficientes como para cubrir los requerimientos de cultivos de hasta 4500 kg ha⁻¹.

Palabras clave: soja, nitrógeno, azufre, fertilización foliar, momento de fertilización.

SUMMARY

FOLIAR NITROGEN AND SULFUR FERTILIZATION IN SOYBEAN (GLICINE MAX (L.) MERR.) IN THE SOUTHEAST OF BUENOS AIRES PROVINCE

Soybean yield has showed effect from nitrogen (N) and sulphur (S) fertilization in north of Pampas. The objective of this experiment was to determinate the effect of late-season N and S fertilization in soybean under irrigation on growth, plant N accumulation and seed yield. This research was conducted over 2-years period (2002/2003 and 2003/2004) in Balcarce, Argentina. The trial consisted of three N-urea rates (0, 20 and 40 Kg. N ha⁻¹) as broadcasted solid urea (Us), sprinkling dissolved urea (UI), and UI plus ammonium-sulphate (UI+S), all at two application times. Thus, the last fertilizer treatment supplied three S rates (0, 6.25 and 12.5 kg S ha⁻¹). Both UI and UI+S applications burned the foliage at R1 and R4, even though for the lowest rate. This fact caused reductions in height (19% in 2003/04), intercepted radiation (during 6 and 18 days, at R1 and 4 and 6 days at R4, for the 2002/3 and 2003/4 growing seasons, respectively) and crop yield compared to Us (5 and 15%, average of N rates, for the 2002/2003 and 2003/2004 growing seasons, respectively). The S application did not increase yield, which could be due to foliage damage caused by fertilizer. Our results suggest that symbiotic N₂ fixation and soil N availability were enough to supply soybeans N requirements well nodulated, even when high yields were achieved.

Key words: Soybean, nitrogen, sulphur, foliar application, fertilization time.

INTRODUCCIÓN

El alto contenido de proteína de los granos de soja determina que la demanda de nutrientes por tonelada sea mayor que la de otros cultivos (Sinclair y De Wit, 1975). En la región pampeana, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el azufre (S) son los nutrientes que más limitan el rendimiento de este cultivo (Ferraris et al., 2002; Díaz-Zorita, 2001; Echeverría et al.,

2001; Melgar y Lavandera, 1999). Cultivos de soja con manejo tecnológico adecuado, bien nodulados y bajo condiciones hídricas potenciales permitirían obtener rendimientos cercanos a los 5000 kg ha⁻¹ en el sudeste bonaerense (González et al., 1997), determinando mayor demanda de nutrientes.

Aproximadamente, la mitad del N en los granos es provista por removilización desde los tejidos, y el resto es absorbido por la planta durante el llenado de estos (Imsande y Edwards, 1988). La soja aprovecha el N atmosférico por fijación biológica (FBN), no obstante, la tasa de asimilación por esta vía declina a partir de R5 (Zapata et al., 1987). Cultivos de altos rendimientos requerirían elevada disponibilidad de N durante las etapas reproductivas, la cual puede no ser abastecida por el suelo y la FBN (Wesley et al., 1998). Para complementar el aporte de la FBN, la aplicación de N debería realizarse durante el período de máxima demanda de la semilla donde la tasa de asimilación es elevada (Imsande, 1992).

García y Hanway (1976) sugirieron que la actividad de la raíz disminuye durante el llenado de granos y que la asimilación de nutrientes no es suficiente para cubrir la demanda de estos. Ellos obtuvieron incrementos de rendimiento entre 130 y 220 kg ha⁻¹ con la aplicación de fertilizantes foliares conteniendo N, potasio y S, en R4 y R5. Wesley et al. (1998) determinaron aumentos significativos de rendimiento con 20 y 40 kg N ha⁻¹, aplicados en R3 sobre testigos de 3726 kg ha⁻¹ en 6 de 8 ensayos bajo riego. Los autores informaron respuestas medias entre 440 y 470 kg ha⁻¹, presentando en todos los casos buena nodulación. Los sitios sin respuesta al agregado de N se asociaron a sitios de menores rendimientos (< 3360 kg ha⁻¹). Por otra parte, aunque estos autores no determinaron diferencias entre fuentes sólidas, como el nitrato de amonio (NA) y la urea (U), sí observaron un menor rendimiento para la aplicación de UAN (NA+U) debido al quemado de las hojas, principalmente cuando aplicaron 40 kg N ha⁻¹. En nuestro país, Melgar y Lupi (2002) determinaron mayor acumulación de N y rendimiento cuando se aplicaron 30 kg N ha⁻¹ en V4 o R3 como UAN chorreado y NA al voleo, sobre sojas bien noduladas.

La fotosíntesis y acumulación de N están asociadas a la acumulación de S. Durante el llenado de los granos, la acumulación de S en estos se asocia a la capacidad de absorción del nutriente (Sunarpi y Anderson, 1997), lo que depende de la disponibilidad de S y de la actividad de las raíces. En la región pampeana norte, en cultivos de soja sobre suelos de-

gradados, Martínez y Cordone (2000) determinaron incrementos en el rendimiento por aplicaciones de fertilizantes azufrados. En el mismo sentido, Scheiner et al. (1999), en el norte de la provincia de Buenos Aires, obtuvieron 200-400 kg ha⁻¹ de respuesta al agregado de S; y Melgar y Lavandera (1999) reportaron respuestas de 16 kg de soja kg⁻¹ de S aplicado. Se ha reportado que los ambientes con elevada probabilidad de respuesta a la aplicación de S presentan, en general, bajos contenidos de materia orgánica (MO), alto grado de erosión, monocultivo de soja y trigo-soja y altos rendimientos con adecuada fertilización de N o N-P (Martínez y Cordone, 2000). Díaz Zorita (2001) menciona, además, que en ambientes bajo SD, la posibilidad de encontrar respuesta al agregado de fertilizantes con S es mayor que en condiciones con remoción de suelo, porque se conjugan menores tasas de mineralización con mayor disponibilidad de agua. En el sudeste bonaerense, no se han determinado respuestas a la aplicación de S (Echeverría, 2002), así se puede inferir que el aporte de S, mediante el proceso de mineralización durante el ciclo del cultivo, contribuiría a la adecuada disponibilidad de dicho nutriente (Echeverría et al., 1996).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de formas de N y de S foliar en estadios reproductivos, sobre el crecimiento, la acumulación de N y el rendimiento de soja bajo riego en suelos sometidos a prolongada historia agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un ensayo de fertilización en soja durante las campañas 2002/2003 y 2003/2004 en la Unidad Integrada FCA-INTA Balcarce (37° 45' latitud sur y 58° 18' longitud oeste). En ambas campañas, se utilizaron lotes de producción comercial con prolongada historia agrícola. Los suelos corresponden a un complejo de Argiudol Típico y Paleudol Petrocálcico, sus características se presentan en la Tabla 1.

En la campaña 2002/2003, se sembró la variedad Don Mario 4800 el 10/11/2002 bajo labranza convencional, a 0,38 m entre surcos y con 18 semillas por metro lineal. En 2003/2004, se sembró la variedad Don Mario 3700 el 10/12/2003 bajo siembra directa, a 0,19 m entre surcos y con 21 semillas por metro lineal. En ambas campañas, se inocularon las semillas con *Bradyrhizobium japonicum* (ARBO® inoculante comercial líquido) y se aplicaron a la siembra 60 kg ha⁻¹ de superfosfato triple de calcio.

Tabla 1. Caracterización del suelo y manejo en las campañas 2002/2003 y 2003/2004. Las determinaciones de pH, materia orgánica (MO), y fósforo (P) se efectuaron previo a la siembra, y la de N-NO₃⁻ se realizó previo a R1

Campaña	Antecesor	Profundidad	pH	MO g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	N-NO ₃ ⁻ mg kg ⁻¹
2002/3	Trigo	0-20	6,0	31,3	22,5	6,1
		20-40				4,0
2003/4	Maiz	0-20	6,3	53,5	20,4	6,8
		20-40				3,3

Se empleó un diseño en bloques completos aleatorizados con arreglo de tratamientos en parcelas sub-subdivididas con tres repeticiones en la campaña 2002/2003 y seis repeticiones en 2003/2004. La parcela principal correspondió al momento de fertilización: R1 (03/01 y 06/02, correspondiente a 54 y 48 días desde la siembra –dds–, para el 2002/03 y 2003/04, respectivamente) y R4 (27/1 y 24/02, correspondiente a 88 y 76 dds, para el 2002/03 y 2003/04, respectivamente). En las subparcelas, se evaluaron tres formas de fertilizante: urea sólida (Us), distribuida al voleo manualmente, urea disuelta en agua (UI) 190 g N kg⁻¹ y 10 g biuret kg⁻¹ (UI) y solución de urea con tiosulfato de amonio 160 g N kg⁻¹, 50 g S kg⁻¹ y 10 g biuret kg⁻¹ (UI+S). Las fuentes líquidas se asperjaron sobre el follaje mediante aspersores manuales. En las sub-subparcelas (unidad experimental, UE), se evaluaron las dosis de N 0, 20 y 40 kg N ha⁻¹ en la campaña 2002/2003; y 0 y 40 kg N ha⁻¹, en la campaña 2003/2004. En el tratamiento UI+S, se aplicaron, asimismo, 6,25 y 12,5 kg S ha⁻¹ con la dosis 20 y 40 kg N ha⁻¹, respectivamente. La UE abarcó 13,3 m² en la primera campaña y 10 m² en la segunda campaña. En ambas campañas, se efectuaron riegos durante la etapa reproductiva para mantener una condición hídrica potencial.

La fenología del cultivo se siguió mediante la escala de Ferh y Caviness (1977) en 5 plantas por UE sobre el surco central. En madurez fisiológica, se determinó la altura de las plantas de cada UE.

Se determinó la interceptación de radiación (IR) del cultivo con barra sensora de radiación Li-Cor® 191 SB (LICOR, EEUU), realizando una lectura sobre el canopeo (I_o) y tres lecturas por debajo del último estrato de hojas verdes en los surcos centrales de cada UE. La IR se calculó en forma porcentual relativa a I_o. Durante la campaña 2002/2003, se efectuaron

RIA, 34 (2): 33-47, Agosto 2005. INTA, Argentina

las determinaciones a los 53, 58, 65, 75, 82 y 91 dds. Para la campaña 2003/2004, se realizaron determinaciones a los 56, 60, 68, 75, 84 y 106 dds.

En los estadios R2 y R5, se determinó la acumulación de biomasa aérea (kg MS ha^{-1}) en cada UE. A partir de la biomasa acumulada y los días transcurridos entre los cortes, se calculó la tasa de crecimiento del cultivo (TCC, $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$). En R5, junto con la determinación de biomasa aérea, se realizó un muestreo de nódulos. Se tomaron muestras de suelo de 0,5 m lineales de surco por 0,2 m de profundidad, que se tamizaron para recoger los nódulos sueltos. Las raíces con los nódulos se lavaron sobre tamiz, luego se separaron los nódulos y se colocaron en estufa a 60°C hasta peso constante. Se calculó el peso de nódulos por unidad de superficie para cada UE.

Las UE se cosecharon ($4,8 \text{ m}^2$) con cosechadora automotriz de parcelas el 07/04/2003 (148 dds) y el 26/04/2004 (138 dds). El rendimiento se corrigió a $135 \text{ g agua kg}^{-1}$ (Rend). Se determinó el peso de mil granos (P1000) y se calculó el número de granos por unidad de superficie (Granos m^{-2}). Se determinó la concentración de N total (Nelson y Sommers, 1973) en la biomasa aérea en R2 y R5 y en los granos, y se calculó la acumulación de N (kg N ha^{-1}).

Los valores de cada variable se procesaron mediante análisis de varianza para cada campaña. Cuando el análisis indicó diferencias significativas empleando un $\alpha=0,05$, se realizó la comparación de medias con la prueba de diferencias mínimas significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ambas campañas, luego de la fertilización en R1, las parcelas con aplicaciones foliares sufrieron pérdida de follaje por fitotoxicidad, reduciéndose la IR como se observa en la Figura 1. En la primera campaña, se produjo una notable caída en la IR, pero el cultivo se recuperó rápidamente (a los 6-7 días para la dosis 20N y a los 10-12 días para la dosis 40N) retomando crecimiento el tallo principal. A los 65 dds (R2), todos los tratamientos interceptaron en promedio el 94% de la radiación incidente (Figura 1). En la campaña 2003/2004, se observó, al día siguiente a la aplicación foliar, una caída similar a la determinada en el 2002/2003, la cual no pudo ser determinada por presencia de nubosidad. De todos

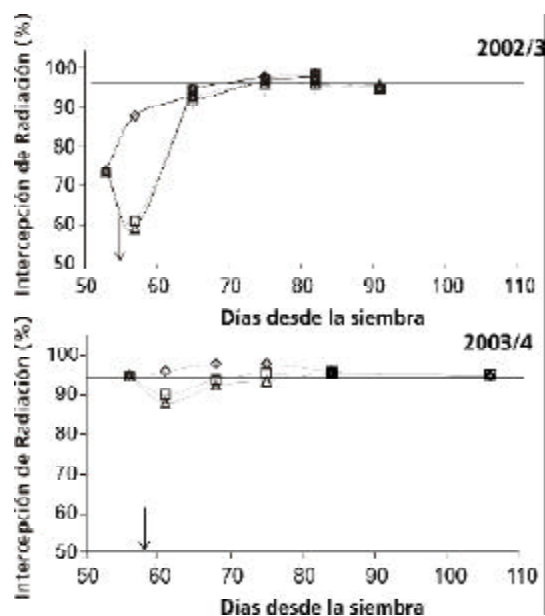


Figura 1. Evolución de la intercepción de radiación en las campañas 2002/2003 y 2003/2004 para los distintos fertilizantes aplicados en R1. Promedios por forma: urea sólida (◇), urea líquida (□), y UI más tiosulfato de amonio (△). Las flechas indican el momento de fertilización. La línea horizontal indica el 95% de IR.

modos, en la campaña 2003/2004, la recuperación de la IR por el cultivo fue más lenta y alcanzó el 95% de IR a los 14 y 22 días desde la aplicación para UI y UI+S, respectivamente. Este retraso estuvo asociado a la recuperación de la cobertura mediante el desarrollo de tallos laterales, dado que el brote apical se quemó con la aplicación. La fertilización foliar tardía presentó un efecto menor sobre la cobertura en ambas campañas, dado que sólo se afectaron las hojas superiores.

En el año 2002/2003, la producción de biomasa aérea en R2 mostró interacción entre las formas nitrogenadas y dosis de N (Tabla 2). Este comportamiento sería debido al mayor quemado con las aplicaciones foliares 40N, lo que también se manifestó a través de la IR. En R5 la biomasa acumulada no mostró efecto de tratamiento, indicando la recuperación de las parcelas fertilizadas en R1 y el menor efecto de quemado sobre la biomasa de la aplicación en R4 (Tabla 2). Las tasas de crecimiento del cultivo entre R2 y R5 fueron similares entre los tratamientos y registraron 130 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ en promedio.

En la segunda campaña, la biomasa aérea acumulada en R2 se redujo en los tratamientos foliares con respecto a Us y presentó UI+S el menor valor (Tabla 2), coincidiendo con los menores valores de IR (Figura 1). En R5 no se observaron diferencias entre formas nitrogenadas o momentos

Tabla 2. Biomasa aérea acumulada en R2 y R5 para las campañas 2002/3 y 2003/4 por forma de fertilizante, momento de fertilización (M) y dosis de N (N) en kg N ha⁻¹ y S (S) en kg S ha⁻¹. Las formas corresponden a urea sólida (Us), urea líquida (Ul) y Ul más tiosulfato de amonio (Ul+S).

Tratamientos				2002/3		2003/4		
Forma	M	N	S	R2 ²	R5	R2	R5 ³	
				kg MS ha ⁻¹				
Us	R1	20	-	2049 a	7263			
		40	-	2045 a	7035	4876	6593 a	
	R4	20	-	-	7956			
		40	-	-	7026	-	5908 AB	
Ul	R1	20	-	2539 a	6719			
		40	-	1796 b	6842	3893	6239 a	
	R4	20	-	-	6316			
		40	-	-	7369	-	5499 B	
Ul+S	R1	20	6,25	2207 a	7325			
		40	12,50	1638 b	7904	3012	5329 b	
	R4	20	6,25	-	7360			
		40	12,50	-	7123	-	6611 A	
Promedio Forma				Us	2047	7321 a	4876 a	6251
				Ul	2167	6812 a	3893 ab	5869
				Ul+S	1922	7428 a	3012 b	5970
Análisis de varianza ¹								
Forma				ns	ns	*	ns	
M				-	ns	-	ns	
N				*	ns	-	-	
Forma * M				-	ns	-	*	
M * N				-	ns	-	-	
Forma * N				*	ns	-	-	
Forma * M * N				-	ns	-	-	
CV (%)				9,0	14,8	21,4	10,3	
Análisis de varianza incluyendo al testigo ¹								
	0			2260 a	6939 a	4365 a	7258 a	
	20			2265 a	7157 a			
	40			1826 a	7216 a	3927 a	6030 b	
N				ns	ns	ns	*	
CV (%)				19,2	4,6	15,3	9,7	

Medias seguidas de letras iguales para cada columna no difieren significativamente.

¹*: diferencia significativa P<0.05; ns: diferencia no significativa.

² Medias seguidas de letras iguales dentro de cada forma no difieren significativamente.

³ Medias seguidas de letras iguales para cada momento (R1 minúsculas, R4 mayúsculas) no difieren significativamente.

de fertilización, pero sí una acumulación de biomasa menor en las parcelas fertilizadas en comparación con el testigo (Tabla 2). Asimismo, las tasas de crecimiento marcaron una importante diferencia entre los tratamientos fertilizados y el testigo, con reducciones del 36 % en los tratamientos fertilizados respecto del testigo.

En ambos ciclos de crecimiento, no se detectaron diferencias en la acumulación de biomasa debidas al agregado de S. Por otra parte, no se observó incremento en la acumulación de biomasa o en la TCC asociada con la aplicación de N al suelo. En tanto las aplicaciones foliares de N y N-S causaron reducción en la IR y biomasa acumulada en R2 en ambos años. Esto indicaría que el quemado del follaje disminuyó la eficiencia de absorción del S o que la disponibilidad de S en el suelo no fue limitante para el cultivo. Esto coincide con lo reportado por Echeverría (2002).

En campaña 2002/2003, la acumulación de N en R2 en los tratamientos N40 fue menor que para la dosis N20 y presentó similar comportamiento que la biomasa aérea. En R5 no se observaron diferencias en acumulación de N entre tratamientos (Tabla 3). La comparación con el testigo no presentó diferencias en ninguno de los dos momentos. En el ciclo 2003/2004, las diferencias encontradas entre tratamientos y con el testigo en la concentración de N fueron de escasa magnitud. La acumulación de N en la biomasa aérea en R2 fue menor para UI+S, y en R5, el tratamiento UI+S fertilizado en R1 acumuló 50 kg N ha⁻¹ menos que con la aplicación de R4. Los tratamientos fertilizados en comparación con el testigo acumularon 14,6% menos N en la biomasa aérea en R5. Esto estaría asociado a la menor acumulación de biomasa aérea (24,2%) en estos tratamientos.

En ambas campañas, la mayor concentración de N en R2 y R5 y el mayor N acumulado en R5 por los tratamientos UI+S no fueron significativos, lo que indicaría que la disponibilidad de S no fue limitante para la acumulación de N (Echeverría, 2002) o que el quemado del cultivo podría haber impedido al aprovechamiento del fertilizante. En general, la acumulación de N fue principalmente influenciada por la producción de biomasa aérea y presentó el mismo comportamiento que esta variable.

Dado que la cantidad de N mineral en el suelo hasta los 0.4 m de profundidad previo a R1 fue tan solo 30 kg ha⁻¹ en ambas campañas, éste no habría constituido una limitante al establecimiento temprano del sistema simbiótico (Sinclair et al., 2003, Ralston e Imsande, 1983). Tanto en la

Tabla 3. Concentración y acumulación de N en la biomasa aérea para las campañas 2002/3 y 2003/4, por forma de fertilizante, momento de fertilización (M) y dosis de N (N) en kg N ha⁻¹ y S (S) en kg S ha⁻¹. Las formas corresponden a urea sólida (Us), urea líquida (Ul) y Ul más tiosulfato de amonio (Ul+S).

Tratamientos		2002/3						2003/4			
Forma	M	N	S	R2	R5	R2	R5	R2	R5	R2	R5 ²
				N g kg ⁻¹		kg N ha ⁻¹		N g kg ⁻¹		kg N ha ⁻¹	
Us	R1	20	-	35,8	28,0	72	204	-	-	-	-
		40	-	37,7	32,3	75	216	35,5	31,1	173	204 a
		R4	20	-	-	31,1	-	24,7	-	-	-
Ul	R1	20	-	-	33,1	-	232	-	31,8	-	184 a
		40	-	37,7	31,1	84	209	-	-	-	-
		R4	20	-	38,9	32,0	70	220	37,3	32,1	151
Ul+S	R1	20	5,25	-	34,0	-	202	-	-	-	-
		40	-	-	31,7	-	233	-	32,8	-	180 a
		R4	20	5,25	38,3	32,9	85	243	-	-	-
Ul+S	R1	20	12,50	40,7	31,6	67	252	37,8	32,0	114	171 b
		40	-	-	32,2	-	230	-	-	-	-
		R4	20	12,50	-	32,1	-	229	-	33,6	-
Promedio Forma			Us	36,8 a	31,0 a	74 a	225 a	36,5 a	31,8 a	173 a	194
			Ul	38,3 a	31,7 a	82 a	216 a	37,3 a	32,9 a	151 a	190
			Ul+S	39,5 a	32,2 a	76 a	240 a	37,8 a	32,8 a	114 b	196
Promedio M		R1	-	37,3 a	-	224 a	-	31,7 b	-	-	192
		R4	-	32,0 a	-	230 a	-	32,7 a	-	-	195
Promedio N		20	37,3 a	31,2 a	84 a	223 a	-	-	-	-	-
		40	39,1 a	32,1 a	70 b	230 a	-	-	-	-	-
Análisis de varianza											
Forma				ns	ns	ns	ns	ns	ns	A	ns
M				-	ns	-	ns	-	-	-	ns
N				ns	ns	*	ns	-	-	-	-
Forma*M				-	ns	-	ns	-	ns	-	*
M*N				-	ns	-	ns	-	-	-	-
Forma*N				ns	*	ns	ns	-	-	-	-
Forma*M*N				-	ns	-	ns	-	-	-	-
CV (%)				7,7	4,8	12,5	16,7	5,1	6,6	13,7	9,6
Análisis de varianza incluyendo al testigo ¹											
0				39,2 a	30,3 a	88 a	210 a	35,0 b	31,2 a	147 a	227 a
20				37,3 a	31,2 a	84 a	225 a	-	-	-	-
40				39,1 a	31,9 a	71 a	230 a	36,9 a	32,2 a	146 a	194 b
N				ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	*
CV (%)				5,3	3,2	14,4	6,3	3,3	5,1	10,2	7,0

Medias seguidas de letras iguales para cada columna no difieren significativamente.

¹*: diferencia significativa P<0,05; ns: diferencia no significativa.

² Medias seguidas de letras iguales dentro de cada forma no difieren significativamente.

campana 2002/2003 como 2003/2004, la biomasa nodular no presentó efectos de tratamiento y registró, en promedio, 15,4 y 25.8 g nódulos m⁻² en cada campana, respectivamente. En Brasil, Mendes *et al.* (2003) observaron reducciones en el número de nódulos a los 15 días de la emergencia del cultivo debidas al incremento de la dosis de N (0 a 40 kg N ha⁻¹) a la siembra para dos cultivares de soja, tanto en LC como en SD. Loureiro *et al.* (2001) y Crispino *et al.* (2001) no mostraron reducciones en la biomasa de nódulos por aplicaciones de 50 kg N ha⁻¹ durante el llenado de granos, resultados que coinciden con lo observado en este experimento. No se determinó asociación entre el contenido de N en la biomasa y la biomasa de nódulos en R5 y coincidió con lo informado por Cicore *et al.* (2004). Esto sugiere que la biomasa de nódulos no es la única variable que afecta la FBN.

En la campana 2002/2003, el rendimiento no se vio afectado por los tratamientos, aunque las aplicaciones foliares presentaron rendimientos algo menores (5 % más bajos con respecto a Us, diferencia no significativa). El número de granos por unidad de superficie no fue afectado por los tratamientos, en tanto que para P1000, se observó menor valor en los tratamientos UI+S (40N). En la segunda campana, las aplicaciones foliares registraron rendimientos significativamente menores con respecto a Us (13,9 y 16,6% menos para UI y UI+S respectivamente) (Tabla 4). En este sentido, varios autores concluyen que el daño debido a la fertilización foliar a veces fue lo suficientemente severo como para reducir el rendimiento (Poole *et al.*, 1983; Parker y Boswell, 1980; Sesay y Shibles, 1980; Boote *et al.*, 1978). Asimismo, los tratamientos UI y UI+S presentaron reducciones en número de granos del 14,7 y 18,2% en comparación con Us, respectivamente, la que fue parcialmente compensada por el incremento del P1000 (Tabla 4). La variación en el rendimiento fue explicada por cambios en el número de granos por unidad de superficie (Egli y Craft-Brandner, 1996; Vega *et al.*, 2001), presentando coeficientes de determinación de r²=0,81 y r²=0,91 en la campana 2002/3 y 2003/4, respectivamente.

La aplicación de S no se manifestó en incrementos de rendimiento en ninguna de las campañas, lo que se debería a una menor eficiencia del uso del fertilizante por el quemado del cultivo. Independientemente del efecto fitotóxico del fertilizante sobre el cultivo, Cicore *et al.* (2004), trabajando en Balcarce sobre un Argiudol típico con 6,9 mg S kg⁻¹ suelo (0-60 cm), no detectaron respuesta en el rendimiento de soja a la aplicación a la siembra de 15 kg S ha⁻¹. Estos autores, de acuerdo con lo estima-

Tabla 4. Rendimiento (Rend), concentración de N (g N kg⁻¹) y N acumulado (kg N ha⁻¹) en grano y componentes del rendimiento (peso de mil granos (P1000) y número de semillas por unidad de superficie (Granos m⁻²) para las campañas 2002/2003 y 2003/2004, por forma de fertilizante, momento de fertilización (M) y dosis de N (N) en kg N ha⁻¹ y S (S) en kg S ha⁻¹. Las formas corresponden a urea sólida (Us), urea líquida (Ul) y Ul más tiosulfato de amonio (Ul+S).

		2002/03								2003/04			
Tratamientos		Rend.		N en grano		P1000 ^a	Granos m ²	Rend.		N en grano		P1000	Granos m ²
Forma	M	N	S	kg ha ⁻¹	g N kg ⁻¹	kg N ha ⁻¹	g	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g N kg ⁻¹	kg N ha ⁻¹	g	g
Us	R1	20	-	4819	56,6	270	184,0 a	2814	-	-	-	-	-
		40	-	4428	57,9	257	166,9 a	2624	4190	61,0 a	256	145,6	2877
		20	-	4768	56,4	269	163,5 a	2859	-	-	-	-	-
Ul	R1	40	-	4512	56,2	254	168,8 a	2815	4185	62,4 a	261	146,7	2851
		20	-	4440	58,2	259	173,1 a	2673	-	-	-	-	-
		40	-	4447	59,5	265	164,4 a	2530	3790	59,8 b	225	150,4	2593
Ul+S	R1	20	-	4427	58,3	258	178,1 a	2695	-	-	-	-	-
		40	-	3910	56,0	220	161,9 a	2360	3447	61,3 a	212	144,9	2387
		20	6,25	4715	59,8	281	179,3 a	2768	-	-	-	-	-
Ul+S	R4	20	12,50	4467	60,1	268	163,0 b	2560	3585	62,0 a	223	149,8	2394
		20	6,25	3999	59,1	236	174,7 a	2449	-	-	-	-	-
		40	12,50	4233	57,7	244	151,1 b	2661	3399	66,5 b	205	148,6	2259
Promedio (Forma)		Us		4580 a	57,3 a	263 a	168,3	2778 a	4189 a	61,7	258 a	146,1 a	2864 a
		Ul		4806 a	58,2 a	250 a	188,1	2560 a	3605 b	60,5	218 b	147,6 a	2445 b
		Ul+S		4852 a	59,1 a	257 a	166,8	2609 a	3492 b	61,2	214 b	149,2 a	2342 b
Promedio M		R1		4519 a	59,0 a	267 a	170,2	2661 a	3848 a	60,9	239 a	148,0 a	2591 a
		R4		4307 a	57,4 a	247 a	163,4	2640 a	3677 a	61,4	226 a	146,7 a	2509 a
Análisis de varianza¹													
Forma		ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*
M		ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N		ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	ns	-	-	-	-
Forma*N		ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
M*N		ns	ns	ns	ns	-	ns	-	-	-	-	-	-
Forma*M*N		ns	ns	ns	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-
Forma*M*U		ns	ns	ns	ns	*	ns	-	-	-	-	-	-
CV (%)		9,7	2,6	10,2	2,0	9,0	9,5	2,5	9,7	2,8	9,2	9,2	
Análisis de varianza incluyendo al testigo¹													
0		4542 a	58,5 a	261 a	163,4 a	2707	4012 a	61,5 a	247 a	147,2 a	2724 a		
20		4493 a	58,4 a	262 a	166,8 a	2709							
40		4333 a	58,0 a	251 a	168,7 a	2591	3782 a	61,2 a	230 a	147,7 a	2590 a		
N		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)		9,9	0,7	5,9	1,5	4,6	9,8	2,3	10,4	1,4	9,1		

Medias seguidas de letras iguales para cada columna no difieren significativamente.

¹*: diferencia significativa P<0,05; ns: diferencia no significativa.

² Medias seguidas de letras iguales dentro de cada forma no difieren significativamente.

do por Echeverría et al. (1996), mencionaron que la mineralización de la materia orgánica, durante el ciclo del cultivo, habría permitido satisfacer los requerimientos de este nutriente.

En la campaña 2003/2004, la concentración de N en el grano estuvo afectada por la interacción forma del fertilizante y momento de aplicación. Si bien los tratamientos Ul+S presentaron la mayor concentración en

la aplicación de R1 y la menor en la aplicación de R4, las diferencias entre momentos para cada forma resultaron no significativas. Estos resultados sugieren que no es posible mejorar el contenido de proteína de los granos con aplicaciones de N en estadios reproductivos, lo que se explicaría por una sustitución de la FBN por el N aportado por fertilización. La acumulación de N en el grano fue similar en los tratamientos foliares, los que acumularon 16% menos N que Us asociado a los menores rendimientos que registraron estos tratamientos (Tabla 4).

Las aplicaciones foliares tanto en R1 como en R4 provocaron reducciones en la IR del cultivo en ambas campañas. No obstante, en la campaña 2002/2003, la cobertura a valores cercanos al 95% de IR se recuperó rápidamente luego de las aplicaciones de R1 y R4, lo que no ocurrió en la segunda campaña. Este hecho, sumado a la menor duración de las etapas en el ciclo 2003/2004, se tradujo en una significativa reducción del número de granos por unidad de superficie en los tratamientos con aplicaciones foliares, con respecto a Us. El agregado de S no presentó incremento en el rendimiento, lo que podría estar asociado al efecto fitotóxico de la aplicación foliar. Sin embargo, Cicore *et al.* (2004), con aplicaciones de 15 kg S ha⁻¹ a la siembra, tampoco observaron respuesta en rendimiento. La falta de respuesta a la aplicación de N observada en ambos ensayos coincide con los resultados de Freeborn *et al.* (2001), quienes no obtuvieron respuesta a la aplicación de un amplio rango de dosis de N en R3 con rendimientos superiores a 5000 kg ha⁻¹. Estos resultados indican que, en suelos sometidos a prolongada historia agrícola del sudeste bonaerense, la FBN junto con el N aportado por el suelo fueron suficientes para cubrir los requerimientos de cultivos de 4500 kg ha⁻¹ y que el S aportado desde el suelo también fue suficiente como para cubrir los requerimientos de este nutriente.

BIBLIOGRAFÍA

- BOOTE, K.J.; GALLAHER, R.N.; ROBERTSON, W.K.; HINSON, K.; HAMMOND, L.C. 1978. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition and yield of soybeans. *Agron. J.* 70: 787-791.
- CICORE, P.L.; SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRÍA, H.E., BARBIERI, P.A. 2004. Materia seca nodular y nitrógeno acumulado en un cultivo de soja bajo diferentes condiciones de manejo. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 19. Paraná, Entre Ríos. 2004 Jun. AR. (Cd-Rom).

RIA, 34 (2): 33-47, Agosto 2005. INTA, Argentina

- CRISPINO, C.; FRANCHINI, J.; MORAES, J.; SIBALDELLE, R.; LOURERIO, F.; DOS SANTOS, E.; CAMPO, R.; HUNGRIA, M. 2001. Embrapa Soja 2001. Comunicado Técnico n° 75. Londrina, BR. 6 p.
- DIAZ-ZORITA, M. 2001. Fertilización de soja. Publicación Técnica n° 37. EEA INTA Gral. Villegas, AR. 19 p.
- ECHEVERRÍA, H.E. 2002. Exploración de deficiencias de azufre en sistemas productivos del sudeste bonaerense. Boletín Técnico n° 156. EEA INTA Balcarce, AR. 19 p.
- ECHEVERRÍA, H.E.; FERRARIS, G.; GUTIÉRREZ-BOEM, F.; SALVAGIOTTI, F. 2001. Soja: Respuesta a la fertilización en la región pampeana: Resultados campaña 2000-01 de la red de ensayos del proyecto FERTILIZAR INTA. En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales «Fertilidad 2001», INPOFOS Cono Sur. Buenos Aires, pp. 27-28.
- ECHEVERRÍA, H.E.; SAN MARTÍN, N.F.; BERGONZI, R. 1996. Mineralización de azufre y su relación con la del nitrógeno en suelos agrícolas. AR. Ciencia del Suelo 14: 107-109.
- EGLI, D.B.; CRAFTS-BRANDNER, S.J. 1996. Soybean. En : E. Zamski y A.A. Schaffer (Eds) Photoassimilate distribution in plants and crops. Source-Sink relationships. Marcel Dekker, Inc. NY. pp. 595-623.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. 1977. Stages of soybean development. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn., Special Report n° 80. Iowa State Univ. Ames. 12 p.
- FERRARIS, G.; GUTIÉRREZ BOEM, F.; ECHEVERRÍA, H.E. 2002. Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. IDIA XXI 2 (3): 52-59.
- FREEBORN, J.R.; HOLSHOUSER, D.L.; ALLEY, M.M.; POWELL, N.L.; ORCUTT, D.M. 2001. Soybean yield response to reproductive stage soil-applied nitrogen and foliar-applied boron. Agron. J. 93: 1200-1209.
- GARCÍA, R.L.; HANWAY, J.J. 1976. Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period. Agron. J. 68: 653-657.
- GONZÁLEZ, N.; PERTICARI, A.; STEGMAN DE GURFINKEL, B.; RODRÍGUEZ CÁCERES, E. 1997. Nutrición nitrogenada. En L.M. Giorda y H.E.J. Baigorri (Eds). El cultivo de la soja en Argentina. SAGPyA INTA, AR, pp. 188-198.
- IMSANDE, J. 1992. Agronomic characteristics that identify high yield, high protein soybean genotypes. Agron. J. 84: 409-414.
- IMSANDE, J.; EDWARDS, D.G. 1988. Decreased rates of nitrate uptake during pod fill by Cowpea, Green Gram, and Soybean. Agron. J. 80: 789-793.
- LOURERIO, F.; DOS SANTOS, E.; HUNGRIA, M.; CAMPO, R. 2001. Embrapa Soja 2001. Comunicado Técnico n° 74. Londrina, BR. 4 p.
- MARTÍNEZ, F.; CORDONE, G. 2000. Avances en el manejo de azufre: novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soja y maíz. En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales «Fertilidad 2000», INPOFOS Cono Sur. Pp. 28-30.
- MELGAR, R.; LAVANDERA, J. 1999. Resultados de los ensayos de fertilización en

RIA, 34 (2): 33-47, Agosto 2005. INTA, Argentina

- soja. Campaña 1998/1999. En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales «Fertilización de Soja 1999». INPOFOS Cono Sur, pp. 30-35.
- MELGAR, R.; LUPI, A. 2002. Soja con Nitrógeno. AR. Fertilizar 28: 14-17.
- MENDES, I.C.; HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. 2003. Soybean response to starter nitrogen and Bradyrhizobium inoculation on a cerrado oxisol under no-tillage and conventional tillage systems. BR. R. Bras. Ci. Solo, 27: 81-87.
- NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. Agron. J. 65: 109-112.
- PARKER, M.B.; BOSWELL, F.C. 1980. Foliar injury, nutrient intake, and yield of soybean as influenced by foliar fertilization. Agron. J. 72: 110-113.
- POOLE, W.D.; RANDALL, G.W.; HAM, G.E. 1983. Foliar fertilization of soybean: I Effect of fertilizer sources, rates, and frequency of application. Agron. J. 75: 195-200.
- RALSTON, E.J.; IMSANDE, J. 1983. Nodulation of hydroponically grown soybean plants and inhibition of nodule development by nitrate. J. Exp. Bot. 34: 1371-1378.
- SCHEINER, J.; GUTIERREZ BOEM, F.; LAVADO, R. 1999. Experiencias de fertilización de soja en el centro-norte de Buenos Aires. En: Jornada de Actualización Técnica para Profesionales «Fertilización de Soja 1999», INPOFOS Cono Sur: pp. 22-24.
- SESAY, A.; SHIBLES, R. 1980. Mineral depletion and leaf senescence in soybean as influenced by foliar nutrient application during seed filling. Ann. Bot. 45: 47-55.
- SINCLAIR, T.R.; DE WIT, C.T. 1975. Comparative analysis of photosynthate and nitrogen requirements in the production of seeds by various crops. Science 189: 565-567.
- SINCLAIR, T.R.; FARIAS, J.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. 2003. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. Field Crops Res. 81: 149-158.
- SUNARPI; ANDERSON, J.W. 1997. Effect of nitrogen nutrition on the export of sulphur from leaves in soybean. Plant Soil 188: 177-187.
- VEGA, C.; ANDRADE, F.; SADRAS, V. 2001. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. Field Crops Res. 72: 163-175.
- WESLEY, T.L.; LAMOND, R.E.; MARTIN, V.L.; DUNCAN, S.R. 1998. Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. J. Prod. Agric. 11: 331-336.
- ZAPATA, F.; DANSO, S.; HARDARSON, G.; FRIED, M. 1987. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. Agron. J. 79: 172-176.

Original recibido el 9 de febrero de 2005