

Fertilización nitrogenada de soja bajo riego (Con 6 Tablas)

Nitrogen fertilization of irrigated soybean

(With 6 Tables)

Brevedan RE, MN Fioretti, SS Baioni, IR Palomo, H Laborde

Resumen. Se realizó un estudio a lo largo de varios años y en distintas localidades del SO de la provincia de Buenos Aires para evaluar el efecto de la fertilización con N en el rendimiento de grano, concentración de N en plantas, y proteína y aceite en el grano, en distintos estadios de crecimiento de la soja. De diez ensayos realizados, en seis de ellos hubo una respuesta positiva a la fertilización con N, particularmente cuando ella se realizó en el comienzo de desarrollo del grano (R5). Se probaron varias fuentes de N aplicadas a la siembra que dieron un mayor rendimiento y contenido de proteína en el grano que el tratamiento no fertilizado no nodulado, siendo la urea la más efectiva.

Palabras clave: soja, fijación de nitrógeno, nitrógeno combinado, riego.

Abstract. A long-term study was conducted at different locations of Southwestern Buenos Aires to evaluate the effects of N fertilization at different growth stages of soybean on yield, plant nitrogen concentration and seed protein and oil concentrations. Yields were increased in six out of ten trials, and the response was highest with N fertilization at the beginning of grain development (R5). Different nitrogen sources were applied at seeding which gave higher yields and increased seed protein content than the non-fertilized, non-nodulated treatment. Urea was the most effective N source.

Key words: soybean, nitrogen fixation, combined nitrogen, irrigation.

Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur y CERZOS, CONICET. 8000 Bahía Blanca, Argentina.

Address Correspondence to: Dr. Roberto E Brevedan, *e-mail:* ebreveda@criba.edu.ar

Recibido/Received 20.IX.2007. Aceptado/Accepted 29.IX.2007.

INTRODUCCION

El requerimiento de nitrógeno de la soja es el más alto entre los cultivos. Cada tonelada de grano requiere que el cultivo asimile aproximadamente 100 kg de N (Keyser y Li, 1992). La soja como otras leguminosas noduladas, usa dos fuentes de N para su crecimiento, N₂ atmosférico fijado en los nódulos y N combinado. La gran cantidad de N que se necesita en su corto período de crecimiento, de 3 a 4 meses, implica una gran demanda del N del suelo y especialmente sobre la fijación de N₂. Pero generalmente no se considera el N como un limitante del rendimiento de la soja debido a la fijación simbiótica. El 25 al 75% del N que tiene una planta madura proviene de la fijación simbiótica de N₂, el resto del suministro desde el suelo (Varco, 1999).

El N disponible en el suelo tiene gran influencia en la fijación de N₂. George et al. (1988) encontraron que la disponibilidad de N del suelo en diferentes lugares determinaba la contribución relativa del N₂ fijado simbióticamente. La aplicación de nitratos inhibe la fijación de N₂, pero a pesar de los numerosos estudios realizados no hay una hipótesis que explique las razones fisiológicas de ese hecho (Vessey y Waterer, 1992).

Las necesidades de N de las leguminosas puede que no sean satisfechas por la fijación de N₂ durante el crecimiento vegetativo temprano y en las últimas etapas del crecimiento reproductivo. La fijación de N₂ comienza después de la formación de los nódulos, alcanza un máximo en el llenado temprano de las vainas y luego cae en la fase reproductiva posterior. Debido a esto, el N combinado puede ser la fuente de N durante el crecimiento vegetativo temprano y en el período reproductivo tardío (George y Singleton, 1992).

La máxima utilización de N por la soja ocurre durante los últimos estadios de crecimiento (Harper, 1974). Esto señala el rol que un fertilizante nitrogenado podría jugar en lograr un rendimiento máximo en grano y en la producción de proteínas (Deibert et al., 1979). Sin embargo, la fertilización con N de la soja sigue siendo un tema muy controvertido, tanto se haga antes como después de la siembra, debido a los resultados variables que se han tenido. Hay estudios que señalan una respuesta positiva a la fer-

tilización nitrogenada (Bhangoo y Albritton, 1976; Brevedan et al., 1978; Sorenson y Penas, 1978; Al-Ithawi et al., 1980; Eaglesham et al., 1983; Nakamo et al., 1987; Takahashi et al., 1991; Wood et al., 1993; Ventimiglia et al., 1999) mientras que otros trabajos indican una falta de respuesta en el rendimiento (Welch et al., 1973; Herridge y Brockwell, 1988; Ying et al., 1992; Gutierrez-Boem et al., 2004).

La propuesta de fertilizar con N se basa en las necesidades potenciales del cultivo durante su desarrollo (Wood et al., 1993). Períodos en los cuales el N del suelo es crucial son: 1) durante el desarrollo de la plántula previo a la formación de nódulos (Harper, 1974), y 2) durante el período del llenado de grano en que hay un pico en la demanda de N (Deibert et al., 1979). La capacidad de fijar N₂ comienza a disminuir rápidamente después del estadio R5 (comienzo de desarrollo del grano), momento en que la demanda de N por la planta es muy alta. Por esto Shibles (1998) propuso fertilizar con N en ese momento, para extender la actividad de la nitrato reductasa más allá de R5.

La fertilización con N en el estadio reproductivo también ha mostrado resultados conflictivos. Nitrógeno aplicado en la floración o durante el llenado de las vainas no produjo, según algunos autores, aumentos en el rendimiento (Welch et al., 1973; Freeborn et al., 2001). No obstante, otros autores (Brevedan et al., 1978; Wesley et al., 1998; Ventimiglia et al., 1999) obtuvieron incrementos en el rendimiento con la fertilización durante o después de la floración.

Pareciera que la fijación simbiótica de N y el uso de nitratos fuera esencial para obtener un máximo rendimiento (Harper, 1974; Imsande, 1989). Por lo general, muchos de los suelos podrían satisfacer los requerimientos de nitratos porque la fertilización con N no muestra aumentos en el rendimiento dependientes de la fuente, el método o la dosis de aplicación del N (Nelson y Weaver, 1980; Porter et al., 1981).

Además de la posibilidad de aumentar el rendimiento, hay interés por la fertilización con N por un posible efecto positivo en el contenido de proteínas (Wood et al., 1993). En general se ha observado una correlación negativa entre porcentaje de proteína en el grano y el rendimiento del

mismo, mientras que lo contrario ocurre entre el rendimiento y el porcentaje de aceite (Johnson y Bernard, 1963).

Cuando se compararon diferentes fuentes de N combinado (NH_4NO_3 , HNO_3 , NH_4OH y urea), la urea y el NH_4OH fueron los fertilizantes más y menos efectivos, respectivamente. La cantidad total de N acumulado en la planta se incrementó con urea en 42% a la floración y 19% a la madurez. La formación de nódulos disminuyó con el agregado de N combinado, siendo el NH_4OH quien más la afectó y la urea la que menos la afectó (Uziakowa, 1959). El nitrato fue más perjudicial para la nodulación de la soja que el amonio (Diatloff, 1967).

Tabla 1. Localidades y prácticas culturales en los sitios utilizados.

Table 1. Locations and cultural practices at the study sites.

Localidad	Coordenadas	Cultivar	Distancia- miento entre surcos (m)	Densidad (pl/ha)	Fecha de siembra	Fertilizante nitrogenado	
						Estadio de desarrollo	Dosis (kg N/ha)
Buratovich	39°16'S 62°37'O	A-3127	0,50	450.000	5/12	R2	0 150
		A-3127	0,50	400.000	8/12	R2	0 148
Ascasubi	39°23'S 62°37'O	A-3127	0,20	400.000	4/12	R2	0 100
		A-3127	0,30	400.000	12/1	R2	0 100
Igarzábal	39°47'S 62°36'O	A-3127	0,35	500.000	10/1	R2 R1 + R5	0 200 100 + 200
Cabildo	38°29'S 61°54'O	A-3127	0,50	450.000	6/12	R4	0 100
Nueva Roma	38°32'S 62°38'O	A-3127	0,40	450.000	5/12	R5	0 150
		A-3205	0,75	450.000	6/12	R5	0 100
Tres Picos	38°16'S 62°13'O	A-3910	0,50	450.000	12/1	R3 - R4	0 70
		A-3302	0,50	400.000	21/12	R5	0 100 200

El propósito de este estudio fue evaluar la influencia de la fertilización con N –en diferentes estadios de crecimiento del cultivo- en el rendimiento y en el contenido de proteína y aceite en el grano, así como estudiar la respuesta de la soja a varias fuentes de N combinado.

MATERIALES Y METODOS

Se realizaron varios años de ensayo en las localidades de Buratovich, Ascasubi, Igarzábal, Cabildo, Nueva Roma y Tres Picos, del SO de la provincia de Buenos Aires, cuyas coordenadas se indican en la Tabla 1. Las características de los suelos de las diferentes localidades se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de los suelos de las diferentes localidades.

Table 2. Soil characteristics at the different study locations.

	Profundidad (m)	C org (g/kg)	Nt (g/kg)	P (mg/kg)	pH	CE (dS/m)	textura
Buratovich	0 – 0,20	10	0,8	29	7,2	1,2	arenoso-franco
	0,20 – 0,40	09	0,7	18	7,3	1,4	arenoso-franco
Ascasubi	0 – 0,20	09	0,7	16	7,2	1,0	franco-arenoso
	0,20 – 0,40	04	0,2	6	7,7	1,5	franco-arenoso
Igarzábal	0 – 0,20	08	0,7	25	7,5	3,6	arenoso-franco
	0,20 – 0,40	06	0,5	10	7,5	1,8	arenoso-franco
Cabildo	0 – 0,20	13	1,3	10	7,8	–	franco-arenoso
	0,20 – 0,40	09	1,0	5	7,8	–	franco
Nueva Roma	0 – 0,20	28	2,0	16	7,6	0,3	franco
	0,20 – 0,40	23	1,6	4	8,2	0,3	franco
Tres Picos	0 – 0,20	17	2,0	25	6,6	0,5	franco-arenoso
	0,20 – 0,40	16	1,7	19	6,4	0,5	franco

Los tratamientos consistieron en la aplicación de distintas fuentes y dosis de N. El fertilizante se aplicó manualmente y se incorporó de inmediato mediante riego.

Las fechas de siembra de los diferentes cultivares estudiados (Tabla 1) se extendieron desde diciembre a mediados de enero. La distancia entre

surcos y la densidad de plantas se especifican en la Tabla 1. Las parcelas tuvieron de 4 a 6 surcos con un largo de 5 a 7 m. Excepto que se indique lo contrario se inoculó en todos los ensayos.

Las parcelas se regaron al sembrar y luego para suplementar las lluvias, durante el período de crecimiento. El riego fue por surco o por manto.

Las malezas se controlaron manualmente y se aplicaron insecticidas según las necesidades.

Se siguió el desarrollo de las plantas usando el sistema de clasificación de Fehr y Caviness (1977: ver Tabla 3).

Unos días después que el 95% de las vainas estuvo marrón (estadio R8), las plantas se cosecharon manualmente, se secaron y se trillaron. Para determinar el rendimiento por parcela se cosecharon 3 m lineales dentro de los 2 ó 3 surcos centrales de cada parcela. Los rendimientos se calcularon sobre la base de un 13% de humedad.

Dentro de cada parcela se tomaron 10 plantas para determinar el número de vainas y el número de semillas por planta. El peso de las semillas se estimó a partir de una muestra al azar de 300 semillas. El vuelco se estimó en base a la posición del tallo principal a la madurez, según la escala que va de 1, todas las plantas erectas, a 5, todas las plantas caídas.

Muestras de semillas se secaron en estufa a 65 °C y se molieron en un molinillo Wiley. El nitrógeno total se determinó con semi-microKjeldahl (Nelson y Sommers, 1973). El contenido en aceite fue determinado por resonancia magnética nuclear.

El diseño estadístico fue de bloques al azar con 4 a 6 repeticiones. Los datos obtenidos en los experimentos fueron analizados utilizando el software INFOSTAT –Versión 1.1 (Di Rienzo et al., 2002). Los promedios se compararon usando la prueba de rango múltiple de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 3 resume la respuesta a la aplicación de N en diferentes estadios de desarrollo de la soja, su efecto en el rendimiento y sus componentes, y en el contenido de proteína y aceite del grano. Se tuvo una respuesta positiva en el rendimiento a la aplicación de N en los estadios reproductivos, excepto en los más tardíos (R6 y R7: ver Tabla 3) en que no difirieron del nodulado, no fertilizado. El mayor aumento en el rendimiento fue debido a un incremento en el número de vainas por planta y en el peso de

Tabla 3. Efecto del estadio de desarrollo y de la fertilización nitrogenada (50 kg N/ha) sobre el rendimiento y sus componentes, y los contenidos de proteína y aceite.

Table 3. Effect of the phenological stage and nitrogen fertilization (50 kg N/ha) on plant yield and its components, and on protein and oil contents.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Peso 100 granos (g)	Número de vainas/planta	Número de granos/vaina	Proteína %	Aceite (%)
C†	1589 d*	13,4 b	21,7 b	2,3 a	38,0 a	22,6 a
Cn‡	1728 cd	13,9 b	22,4 b	2,4 a	39,1 a	22,1 a
N aplicado a la:						
Siembra	1646 d	13,5 b	22,5 b	2,2 a	39,8 a	21,8 a
R1+	1772 cd	13,6 b	26,2 ab	2,5 a	40,2 a	21,7 a
R3	1973 b	14,6 ab	29,3 a	2,5 a	40,2 a	21,5 a
R4	2235 a	15,6 a	29,1 a	2,5 a	40,0 a	21,6 a
R5	2331 a	15,9 a	24,5	2,6 a	40,3 a	20,7 a
R6	1836 bc	14,2 b	22,9 b	2,4 a	40,8 a	20,3 a
R7	1698 d	13,8 b	23,8 b	2,5 a	40,6 a	20,6 a

† C: 0 kg N/ha, sin nodulación

‡ Cn: 0 kg N/ha, con nodulación

* Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente según la prueba de rango múltiple de Duncan ($p=0,05$).

+ R1: comienzo de floración; R3: comienzo de fructificación; R4: plena fructificación; R5: comienzo de desarrollo de grano; R6: pleno desarrollo del grano; R7: comienzo de madurez.

† C: 0 kg N/ha, without nodulation

‡ Cn: 0 kg N/ha, with nodulation

* Means in the same column followed by the same letter are not significantly different (Duncan test; $p=0.05$)

+ R1: early flowering; R3: early reproduction; R4: abundant fructification; R5: early grain development; R6: abundant grain development; R7: early maturity.

los granos al fertilizar en R4 y R5 (Tabla 3). La fertilización antes o después de esos estadios tuvo menores rendimientos respecto a aquellos. No hubo diferencias ($p>0,05$) en el número de granos por vaina. Cuando la fertilización se hizo a la siembra se observó una disminución no significativa ($p>0,05$) en el rendimiento respecto al tratamiento nodulado, no fertilizado. El período de mayor demanda de N en la producción de la soja es durante el llenado de las vainas. La exigencia de N es grande por el alto contenido de N del grano y lo que se fija simbióticamente puede no ser suficiente (Harper, 1974). En nuestro caso se observó una respuesta a la aplicación de N que fue máxima cuando se realizó en R4 y R5, lo que coincide con lo observado por Flannery (1986), Wood et al. (1993) y Wesley et al. (1998). No se observó vuelco en el ensayo. El contenido de aceite se redujo con la fertilización con N (Tabla 3), aunque las diferencias no fueron significativas ($p>0,05$). Estos resultados coinciden con lo observado por Ham et al. (1975) y difieren de lo señalado por Wesley et al. (1998).

En la Tabla 4 se presentan los resultados de una serie de ensayos de fertilización con diferentes dosis de N, desde 70 a 200 kg/ha, que se aplicaron en diferentes estadios del desarrollo. Estos ensayos se efectuaron en distintas localidades del SO bonaerense y con fechas de siembra que se extendieron desde comienzos de diciembre a fines de enero. De los diez ensayos realizados, en seis de ellos se observó una respuesta positiva a la fertilización con aumentos en el rendimiento de hasta 23%. En dos de los ensayos no hubo respuesta al nitrógeno ($p>0,05$), y en los dos restantes hubo una caída en el rendimiento con la fertilización. En ninguno de los 10 ensayos realizados se registró vuelco.

Se requiere una gran cantidad de N para producir un alto rendimiento en un cultivo de soja, con un nivel alto de proteína. La fertilización con N no ha sido recomendada para la soja debido a que, en general, se ha considerado adecuada la fuente simbiótica para tener altos rendimientos. Pero rendimientos experimentales de hasta 8,5 ton/ha señalan que el potencial genético de la soja está arriba de los niveles de producción actuales (Troedson et al., 1984). Ese alto requerimiento de N hace que en ciertas ocasiones sea insuficiente el N derivado del suelo más el N₂ fijado, para obtener un rendimiento máximo, y se ha logrado incrementarlo con una fertilización suplementaria de N (Brevedan et al., 1978).

Tabla 4. Efecto del estadio de desarrollo y la dosis de nitrógeno en el rendimiento de grano.*Table 4. Developmental stage and nitrogen dose effects on grain yield.*

Localidad	Fertilizante nitrogenado		Rendimiento (kg/ha)
	Estadio de desarrollo	Dosis (kg N/ha)	
Buratovich	R2	0	2515 b*
		150	3103 b
	R2	0	4080 a
		184	4169 a
Ascasubi	R2	0	3079 b
		100	3326 a
	R2	0	2713 b
		100	2975 a
Igarzábal	R5	0	2050 a
	R1 + R5	200	1692 b
		100 + 200	2327 a
Cabildo	R4	0	2108 b
		150	2433 a
Nueva Roma	R5	0	1986 a
		100	1678 b
	R5	0	2415 b
		100	2874 a
Tres Picos	R3 → R4	0	1986 a
		70	1678 b
	R5	0	1424 b
		100	1778 a
		200	1619 a

*Promedios en una columna, y dentro de cada rectángulo, seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de rango múltiple de Duncan ($p=0,05$).

*Means in the same column, and within each rectangle, followed by the same letter are not significantly different (Duncan test; $p=0.05$).

Nuestros resultados muestran que la fertilización con un suplemento de N durante el período reproductivo, en particular durante R4 y R5, conduce a un aumento importante en el rendimiento en varios de los ensa-

yos realizados (Tablas 3 y 4). Esa utilización más eficiente de la fertilización con N, al aplicarse tardíamente, se debería a que en ese período el requerimiento de N es más alto (Deibert et al., 1979) y además se disminuiría el drenaje de N desde los órganos vegetativos, que eventualmente pueden reducir la actividad fotosintética de la planta y como consecuencia conducir a una reducción en el rendimiento.

Wesley et al. (1998) obtuvieron, como en este trabajo, un aumento significativo en el rendimiento en seis de ocho ensayos, y la respuesta en el rendimiento estuvo correlacionada positivamente con sitios de alto rendimiento; los dos ensayos en que no tuvo respuesta a la fertilización ($p > 0,05$) fueron los de menor rendimiento. Ellos señalan que cuando hay un alto potencial de rendimiento, la soja no puede aportar el N que demanda la planta a través de la fijación de N_2 . Frecuentemente se ha señalado que el rendimiento en grano y el contenido en N del grano son más altos cuando el N se obtiene del suelo y de la fijación de N_2 (Harper, 1974; Imsande, 1998). La actividad de la nitrato reductasa alcanza un máximo cerca de plena floración (R2) y luego disminuye (Streeter, 1972). Esa caída en la actividad se debe muy probablemente a una disminución en la disponibilidad de nitratos del suelo por lo que se requeriría la aplicación de un fertilizante.

La mayor parte de los estudios en los que no hubo respuesta a la fertilización con N (Welch et al., 1973) fueron realizados en cultivos de soja no regados, e involucraron una fertilización presiembra o temprana en el desarrollo del cultivo. En los genotipos indeterminados, los altos niveles de N están asociados con un aumento en el crecimiento vegetativo y por ende hay mayores posibilidades de que se produzca vuelco y susceptibilidad a las enfermedades. Esto conduce a una disminución en el rendimiento, especialmente cuando el N se aplica en etapas tempranas del crecimiento. Al retrasar la fertilización hacia los últimos estadios de crecimiento de la soja se asume que el N asimilado contribuirá fundamentalmente al llenado del grano antes que al crecimiento vegetativo (Afza et al., 1987), con lo que se evita algunos de los riesgos que presenta la fertilización temprana.

Las razones de las variaciones en la respuesta a la fertilización con N no son claras. Las condiciones del crecimiento, las prácticas de manejo,

el nivel inicial de fertilidad del suelo, el momento de la aplicación del N, una nodulación inadecuada, y la disponibilidad de agua del suelo, podrían influenciar la respuesta de la planta (Peoples et al., 1995).

La respuesta al fertilizante fue relacionada con la cantidad de nitratos residual en la zona de la raíz (Al-Ithawi et al., 1980). Estos autores señalaron que el uso del fertilizante N aumenta el rendimiento en grano a diferentes niveles de humedad del suelo cuando la cantidad residual de nitratos en la zona de la raíz es baja. Si bien han identificado a aquellos como factores que pueden afectar la respuesta de la soja a la fertilización con N, dichos factores no pueden explicar totalmente los resultados obtenidos. Sorenson y Penas (1978), que también tuvieron una respuesta positiva a la fertilización con N, identificaron el pH del suelo y el contenido de materia orgánica como factores que se relacionaban con la respuesta al fertilizante N. La respuesta al fertilizante es muy probable que ocurra cuando el suelo es ácido y el contenido en materia orgánica es menor a 29 mg/kg (Sorenson y Penas, 1978). Es muy probable que cualquier condición que conduzca a una baja disponibilidad de N en el suelo o que impacte negativamente sobre la nodulación y fijación aumentaría la probabilidad de una respuesta al fertilizante nitrogenado. Los ensayos realizados en este trabajo se efectuaron, en general, en suelos con bajo nivel de N y de C orgánico (Tabla 2).

El rendimiento que alcance un cultivo refleja muchos aspectos de su crecimiento entre los que se incluyen precipitaciones, temperatura e irradiación, y factores culturales tales como fecha de siembra, espaciamiento entre surcos, densidad, sistema de labranza y cultivares. Como consecuencia, la interpretación de la relación entre la respuesta al N y el rendimiento no es fácil.

La fertilización con N en R5 (Tabla 5) determinó que a comienzos de R6 se observara un incremento en la concentración foliar de N luego de 20 días de aplicado el N, a diferencia de lo señalado por Wesley et al. (1998) que no detectó modificaciones. Ese aumento en el N foliar posiblemente derivó en una mayor producción de fotoasimilados que explicarían el aumento en el rendimiento en grano producido por la fertilización con N (datos no mostrados). También hubo un ligero aumento, aunque no significativo ($p > 0,05$), en el N del grano (Tabla 5) que también fue observado por Wesley et al. (1998).

Tabla 5. Concentración de N (%) de las diferentes partes de plantas luego de fertilizar con N en R5

Table 5. Nitrogen concentration (%) of different plant parts after N fertilization in R5

Parte de la planta	R5 %	R6	
		0 kg N/ha %	75 kg N/ha %
Tallo y pecíolos	1,35	1,30 a*	1,28 a
Láminas foliares	3,67	3,62 b	3,91 a
Grano	–	6,11 a	6,22 a
Pared vainas	3,41	2,62 a	2,50 a
Raíces	1,62	1,55 b	1,71 a

*Promedios en una fila seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de rango múltiple de Duncan ($p=0,05$)

*Means in the same row followed by the same letter are not statistically different (Duncan test; $p=0.05$)

La absorción y reducción del N demanda una gran cantidad de energía aunque es mayor en la fijación simbiótica de N_2 que en la asimilación del N combinado. La tasa respiratoria de las plantas que fijan N_2 es mayor, a veces hasta 2 veces, que la de las plantas no noduladas que utilizan nitratos (Ryle et al., 1979). En el caso de utilizarse una fuente reducida de N, el costo energético de la asimilación sería aún menor. En el ensayo en que se utilizaron diferentes fuentes de N en un cultivo no nodulado (Tabla 6) se observó que el mayor rendimiento se obtuvo cuando se utilizó urea, aunque las diferencias entre los distintos tratamientos no fueron significativas ($p>0,05$). El aumento de proteína en el grano con la fertilización (Tabla 6) coincide con lo observado por Wood et al. (1993).

Se puede concluir que en la serie de ensayos efectuados en diferentes localidades se observó, en la mayoría de ellos, un efecto positivo a la fertilización con N, en diferentes estadios de la fase reproductiva, siendo la aplicación de N en R5 la que dio una mayor respuesta. Este aumento en el rendimiento fue acompañado por un ligero aumento y disminución en el

Tabla 6. Efecto de diferentes fertilizantes nitrogenados, aplicados a la siembra, sobre la concentración de nitrógeno de diferentes partes de la planta en R2, el rendimiento y la proteína del grano

Table 6. Effect of different nitrogen fertilizers applied at seeding on N concentration of different plant parts in R2, and on grain yield and protein

Fuente	Dosis (kg N/ha)	Concentración de N en R2 (%)			Rendimiento (kg/ha)	Proteína grano (%)
		raíces	tallos	hojas		
–	0	2,63 a*	1,63 b	3,95 a	2456 a	36,7 b
NH ₄ NO ₃	30	2,52 ab	1,85 a	3,81 a	2716 a	41,8 a
KNO ₃	30	2,49 ab	1,60 b	4,02 a	2680 a	42,1 a
urea	30	2,30 b*	1,69 b	3,89 a	2824 a	41,0 a

*Promedios en una columna seguidos por la misma letra no difieren significativamente según el test de rango múltiple de Duncan ($p=0,05$)

*Means in the same column followed by the same letter are not statistically different (Duncan test; $p=0.05$)

contenido de proteína y aceite, respectivamente, aunque las diferencias no fueron significativas ($p>0,05$).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado parcialmente por subsidios del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Universidad Nacional del Sur (UNS).

REFERENCIAS

- Afza, R., G. Hardarson, F. Zapata y S.K.A. Danso (1987). Effects of delayed soil and foliar N fertilization on yield and N₂ fixation of soybean. *Plant and Soil* 97: 361-368.
- Al-Ithawi, B., E.J. Deibert y R.A. Olson (1980). Applied N and moisture level effects on yield, depth of root activity, and nutrient uptake by soybean. *Agronomy Journal* 72: 827-832.
- Beard, B.H. y R.M. Hoover (1971). Effect of nitrogen on nodulation and yield of irrigated soybeans. *Agronomy Journal* 63: 815-816.

- Bhangoo, M.S. y D.J. Albritton (1976). Nodulating and non-nodulating Lee soybean isolines response to applied nitrogen. *Agronomy Journal* 68: 642-645.
- Brevedan, R.E., D.B. Egli y J.E. Leggett (1978). Influence of nitrogen nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. *Agronomy Journal* 70: 81-84.
- Deibert, E.J., M. Bijeriego y R.A. Olson (1979). Utilization of ^{15}N fertilizer by nodulating and non-nodulating soybean isolines. *Agronomy Journal* 71: 717-723.
- Di Rienzo, J.A., M.G. Balzarini, I. González, M. Tablada, W. Guzmán, C.W. Robledo y F. Casanoves (2002). Software INFOSTAT Versión 1.1. UNCórdoba, FCA.
- Diatloff, A. (1967). Effect of nitrification of a black earth soil on legume nodulation. *Queensland Journal of Animal Science* 24: 323-327.
- Eaglesham, A.R.J., S. Hassouna y R. Seegers (1983). Fertilized-N effects on N_2 fixation by cowpea and soybean. *Agronomy Journal* 75: 61-66.
- Fehr, W.R. y C.A. Caviness (1977). Stages of soybean development. *Iowa Spec. Rep. N° 80, Coop. Ext. Ser., Agric. and Home Econ. Exp. Stn., Iowa State Univ., Ames.*
- Flannery, R.L. (1986). Plant food uptake in a maximum yield soybean study. *Better Crops* 70: 6-7.
- Freeborn, J.R., D.L. Holshouser, M.M. Alley, N.L. Powell y D.M. Orcutt (2001). Soybean yield response to reproductive stage nitrogen and boron applications. *Agronomy Journal* 93: 1200-1209.
- George, T. y P.W. Singleton (1992). Nitrogen assimilation traits and dinitrogen fixation, in soybean and common bean. *Agronomy Journal* 84: 1020-1028.
- George, T., P.W. Singleton y B.B. Bohlool (1988). Yield, soil nitrogen uptake and nitrogen fixation by soybean from four maturity groups grown at three elevations. *Agronomy Journal* 80: 563-567.
- Gutierrez-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.
- Ham, G.E., I.E. Liener, S.D. Evans, R.D. Frazier y W.W. Nelson (1975). Yield and composition of soybean seed as affected by N and S fertilization. *Agronomy Journal* 67:293-297.
- Harper, J.E. (1974). Soil and symbiotic nitrogen requirements for optimum soybean production. *Crop Science* 14: 255-260.
- Herridge, D.F. y J. Brockwell (1988). Contribution of fixed nitrogen and soil nitrate to the nitrogen economy of irrigated soybean. *Soil Biology and Biochemistry* 20: 211-217.
- Imsande, J. (1992). Agronomic characteristics that identify high yield, high protein soybean genotypes. *Agronomy Journal* 84: 409-414.
- Imsande, J. (1998). Nitrogen deficit during soybean pod filling and increased plant biomass by vigorous N_2 fixation. *European Journal of Agronomy* 8: 1-11.
- Johnson, H.W. y R.L. Bernard (1963). Soybean genetics and breeding. En: Norman, A.G. (ed), pp. 1-73. The soybean. Academic Press, Nueva York, EE.UU.
- Keyser, H.H. y F. Li (1992). Potential for increasing biological nitrogen fixation in soybean. *Plant and Soil* 141: 119-135.
- Nakano, H., M. Kuwahaba, I. Watanabe, K. Tabushi, H. Naganoma, T. Higashi y Y. Hirata (1987). Supplemental nitrogen fertilizer to soybeans. II. Effect of application rate and placement on seed yield and protein yield. *Japanese Journal of Crop Science* 56: 329-336.
- Nelson, A.N. y R.W. Weaver (1980). Seasonal nitrogen accumulation and fixation by soybeans grown at different densities. *Agronomy Journal* 72: 613-616.
- Nelson, D.W. y L.E. Sommers (1973). Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal* 65:109-112.
- Peoples, M.B., J.K. Ladha y D.F. Herridge (1995). Enhancing legume N_2 fixation through plant and soil management. *Plant and Soil* 174: 83-101.
- Porter, O.A., M.S. Bhangoo, D.J. Albritton y J.G. Burleigh (1981). Influence of nitrogen fertilizer on nodulating and non-nodulating soybeans. *Arkansas Farm Research* 30: 8.

- Shibles, R.M. (1998). Soybean nitrogen acquisition and utilization. En: pp. 5-11. Proceedings of the 28th North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference. St. Louis, MO. 11-12 nov. 1998. Potash and Phosphate Inst., Brookings, SD, EE.UU.
- Sorenson, R.C. y E.J. Penas (1978). Nitrogen fertilization of soybeans. *Agronomy Journal* 70: 213-216.
- Streeter, J.G. (1972). Nitrogen nutrition of field-grown soybean plants. I. Seasonal variations in soil nitrogen and nitrogen composition of stem exudate. *Agronomy Journal* 64: 311-314.
- Takahashi, Y., T. Shinushi, T. Nakano y T. Ohyama (1992). Evaluation of N₂ fixation and N absorption activity by relative ureide method in field-grown soybean plants with deep placement of coated urea. *Soil Science and Plant Nutrition* 38: 699-708.
- Troedson, R.J., R.J. Lawn y D.E. Byth. (1984). Water management for peak soybean production in clay soils. En: Muirhead, W.A. y Humphreys, E. (eds), pp. 257-265. Root zone limitations to crop production on clay soils. CSIRO, Melbourne, Australia.
- Uziakowa, Z. (1959). The influence of different forms of nitrogen nutrition upon the growth and symbiosis of soybeans. *Acta Microbiologica Polonica* 8: 315-318.
- Varco, J.J. (1999). Nutrition and fertility requirements. En: Heatherly, L.G. y Hodges, H.F. (eds), pp. 53-70. Soybean production in the Midsouth. CRC Press, Boca Raton, FL, EE.UU.
- Ventimiglia, L.A., H.G. Carta y S.N. Rillo (1999). Soja: fertilización foliar nitrogenada complementaria. *Revista de Tecnología Agropecuaria – INTA Pergamino* 4: 13-15.
- Vessey, J.K. y J. Waterer (1992). In search of the mechanism of nitrate inhibition of nitrogenase activity in legume nodules: recent developments. *Physiologia Plantarum* 84: 171-176.
- Welch, L.F., L.V. Boone, C.G. Chambliss, A.T. Christiansen, D.L. Mulvaney, M.G. Oldham y J.W. Pendleton (1973). Soybean yields with direct and residual nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 65: 547-550.
- Wesley, T.L.; R.E. Lamond, V.L. Martin y S.R. Duncan (1998). Effects of late-season nitrogen fertilizer on irrigated soybean yield and composition. *Journal of Production Agriculture* 11: 331-336.
- Wood, C.W., H.A. Torbert y D.B. Weaver (1993). Nitrogen fertilizer effects on soybean growth, yield, and seed composition. *Journal of Production Agriculture* 6: 354-360.
- Ying, J., D.F. Herridge, M.B. Peoples y B. Rerkasem (1992). Effect of N fertilization on N₂ fixation and N balances of soybean grown after lowland rice. *Plant and Soil* 147: 235-242.