

MATERIA SECA NODULAR Y NITRÓGENO ACUMULADO EN EL CULTIVO DE SOJA EN FUNCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y AZUFRE, Y DEL SISTEMA DE LABRANZA

PABLO CICORE¹; HERNÁN SAINZ ROZAS²; HERNÁN ECHEVERRÍA^{1,2} & PABLO BARBIERI³

¹Facultad de Ciencias Agrarias UNMDP; ²EEA INTA Balcarce; ³Becario de CONICET. C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. E-mail: pablocicore@hotmail.com

Recibido: 04/03/05

Aceptado: 16/12/05

RESUMEN

La materia seca nodular (MSN) y el nitrógeno acumulado (N-acum.) en el cultivo de soja fueron evaluados en función del sistema de labranza [siembra directa (SD) y labranza convencional (LC)] y la disponibilidad de azufre (S). Para ello, se realizaron en Balcarce durante la campaña 2002-03 dos experimentos, uno conducido bajo riego (Ri) y otro en secano (Se). La MSN determinada en R5 no fue afectada por la aplicación de S ($P > 0.10$), sin embargo fue mayor bajo SD en Se ($P < 0.05$). Bajo Ri la MSN fue mayor en SD que en LC, siendo dichas diferencias no significativas. El N-acum no fue afectado por la fertilización azufrada y bajo condiciones de Se fue significativamente mayor en LC ($P < 0.05$). El N-acum se relacionó positivamente con la MSN, sin embargo el r^2 fue bajo (36%) sugiriendo que no es el único factor involucrado en la regulación de la fijación biológica del nitrógeno

Palabras clave. Soja, fijación biológica de nitrógeno, nodulación, sistema de labranza, agua, azufre.

NODULAR DRY MATTER AND ACCUMULATED NITROGEN IN SOYBEAN AS A FUNCTION OF WATER AND SULFUR AVAILABILITY AND TILLAGE SYSTEM

ABSTRACT

Nodular dry matter (NDM) and accumulated nitrogen (AN) in a soybean crop were evaluated as a function of tillage system [no-tillage (NT) and conventional tillage (CT)] and sulfur (S) availability in two experiments carried out under irrigation (Ri) and rainfed conditions (Se). The experiment was carried out at Balcarce in the 2002-2003 growing season. The NDM, determined at R5 stage, was not affected by S fertilization ($P > 0.10$) but was higher under NT in Se ($P < 0.05$). Under Ri NDM was higher under NT but this difference was not significant. The AN was not affected by S fertilization, and under rainfed conditions, it was significantly lower ($P < 0.05$) under CT. The AN was positively related with NDM but the r^2 value was low (36%), suggesting that NDM was not the only factor regulating biological N_2 -fixation.

Key words. Soybean, biological N_2 -fixation, nodulation, tillage system, water, sulfur.

INTRODUCCIÓN

En ausencia de otras limitaciones, el rendimiento del cultivo de soja es función directa del nitrógeno (N) acumulado en su biomasa aérea (Venturi & Amaducci, 1984). Entre el 25 y el 84% del mismo puede ser aportado a través de la fijación biológica de nitrógeno (FBN) de acuerdo a las condiciones edafo-climáticas en las que se desarrolla el cultivo (Buttery *et al.*, 1992). La disponibilidad de N, azufre (S) y agua afectan la FBN. La magnitud de dicho proceso disminuye cuando el cultivo es expuesto a ambientes con elevada disponibilidad de nitratos NO_3^- (Imbande, 1989) y aumenta ante el aporte de S, en

suelos con deficiencias de dicho nutriente debido al incremento en el número y peso de nódulos (Scherer & Lange, 1996; Diaz-Zorita & Fernández Canigia, 1998). Por otra parte, se ha reportado disminución en la FBN cuando el contenido de humedad del suelo es menor al 50% del agua útil (Serraj *et al.*, 1999).

En analogía con el N, la mayor reserva de S en el suelo se halla en la materia orgánica (MO) y es mineralizado a formas inorgánicas disponibles (SO_4^{2-}) por la acción de la biomasa microbiana (Havlin *et al.*, 1999). En el sudeste bonaerense, la intensificación de la agricultura con labranza de tipo convencional ha provocado una reducción de los contenidos de MO (Sttudet & Echeverría,

2000) y, por consiguiente, es factible que se desarrollen deficiencias de S (Echeverría, 2002).

En el sudeste Bonaerense, el área sembrada con soja bajo siembra directa (SD) se ha incrementado en los últimos años. En comparación con la labranza convencional (LC), la SD incrementa la disponibilidad de agua (Dominguez *et al.*, 2001) y disminuye la disponibilidad de N (Crespo *et al.*, 2001). Dada la analogía existente entre los factores que afectan la mineralización de N y S (Tabatabai & Al-Khafaji, 1980) se ha reportado que la adopción de la labranza reducida provoca una menor disponibilidad de S (Grant *et al.*, 2004). En consecuencia, es factible que en suelos bajo SD, se generen condiciones predisponentes a deficiencias de S, principalmente en suelos con prolongada historia agrícola.

La FBN representa un ahorro importante de N del suelo. La misma depende de la materia seca nodular (MSN) y de la eficiencia de la cepa bacteriana utilizada. No obstante, hasta el momento no se han realizado experiencias en el sudeste Bonaerense tendientes a evaluar el comportamiento de la MSN, y del N acumulado por el cultivo en función del sistema de labranza, disponibilidad de agua y de S. Por lo tanto, se hipotetiza que la MSN y la acumulación de N, es mayor cuando el cultivo de soja es realizado bajo SD, fertilizado con S y en condiciones hídricas no limitantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante la campaña 2000-03 se realizó un experimento bajo riego (Ri) y otro en secano (Se) en la EEA INTA Balcarce (37° 45' S; 58° 18' W; 130 m s.n.m.), sobre un complejo de suelo formado por un Argiudol Típico y un Paleudol Petrocalcico con más de 20 años de historia agrícola. Dicho complejo presenta un horizonte superficial (0-20 cm) con textura franca, pH de 5,9; contenido de materia orgánica (MO) de 51,0 g kg⁻¹ y de N-NO₃, sulfatos (S-SO₄²⁻) y fósforo (P) disponible de 12,3; 9,3 y 20,5 mg kg⁻¹, respectivamente.

El diseño experimental de los ensayos fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones y un arreglo de tratamientos en parcelas sub-divididas. La parcela principal consistió en dos sistemas de labranza (LC y SD) y la subparcelas consistieron en la aplicación de P y P+S. El P fue aplicado al voleo en forma de fosfato diamónico (18-46-0) y la dosis fueron 20 y 30 kg de P ha⁻¹ en Se y Ri, respectivamente. El S también fue aplicado al voleo al momento de la siembra en forma de SO₄Ca y la dosis fueron de 10 y 15 kg S ha⁻¹ para Se y Ri, respectivamente. Cada unidad experimental (UE) de los ensayos tuvo una superficie de 61,25 m² (14 surcos de ancho por 12,5 m de largo) y en todos los casos, el antecesor del cultivo fue maíz con los mismos niveles de fertilización con P y S más el agregado de N. El experimento bajo Ri recibió el aporte de 20, 70 y 45 mm de agua por aspersión en diciembre, enero y febrero, respectivamente.

Para caracterizar la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo se tomaron datos de precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) de la estación meteorológica del INTA Balcarce. Se utilizaron los aportes por precipitaciones, riego y la evapotranspiración máxima, calculada con los coeficientes de cultivo reportados por Della Maggiora *et al.* (2002). Se determinó el contenido de agua en suelo al momento de la siembra hasta 80 cm de profundidad y se calculó el contenido de agua en el mismo teniendo en cuenta las precipitaciones, riego y la evapotranspiración real, variable que surge del modelo de balance hídrico propuesto por Della Maggiora *et al.* (2003), considerando un valor de agua útil de 1,8 mm cm⁻¹ de suelo.

La siembra del cultivo se efectuó el 1/11/2002 y se utilizó una variedad de GIII adaptada a la zona y correctamente inoculada. La densidad de siembra fue de 18 semillas por metro lineal, el distanciamiento entre hileras de 35 cm y las malezas e insectos fueron controlados adecuadamente. En R5 (Fher & Caviness, 1977) se determinó la MSN para lo cual se descalzaron 10 plantas por UE, al momento del muestreo el suelo se encontraba con humedad cercana a capacidad de campo. Las muestras fueron lavadas con agua y se retiraron los nódulos, luego los mismos se colocaron en estufa a 60 °C hasta peso constante (N. González, comunicación personal). En madurez fisiológica se determinó el rendimiento y la concentración de N reducido en grano (Nelson & Sommers, 1973). Al producto entre estas variables se lo dividió por el índice de cosecha de dicho nutriente reportado por Andrade *et al.* (2002), para obtener el N acumulado en R7 (N-acum).

Se realizaron análisis de varianza para todas las variables consideradas, utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS, SAS Institute Inc., 1985).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El perfil del suelo se mantuvo con valores superiores al 40% del agua disponible hasta los 50 días después de la siembra (Fig. 1). No obstante, la falta de precipitaciones desde mediados de noviembre a fin de diciembre determinó, en el experimento en Se, un déficit de 44 y 77 mm para el período previo a R1 y crítico (R4-R6.5), respectivamente (Fig. 1). En cambio, en el experimento Ri solo se determinó un déficit de 24 mm durante el período vegetativo (Fig. 1).

El rendimiento promedio fue de 3.423 y 2.927 kg ha⁻¹ para el experimento Ri y Se, respectivamente, y no fue afectado significativamente por el agregado de S (Cicore *et al.*, 2005). Al igual que con el rendimiento, la MSN en R5 tampoco fue afectada significativamente por el agregado de dicho nutriente en ambos experimentos (Tabla 1). Esto podría ser atribuido al aporte de S mediante el proceso de mineralización, dado los elevados contenidos de MO determinados en ambos experimentos y a la disponibilidad de S-SO₄²⁻ inicial, valor cercano al umbral de respuesta a S (Ankerman & Lange, 1998). Por el contra-

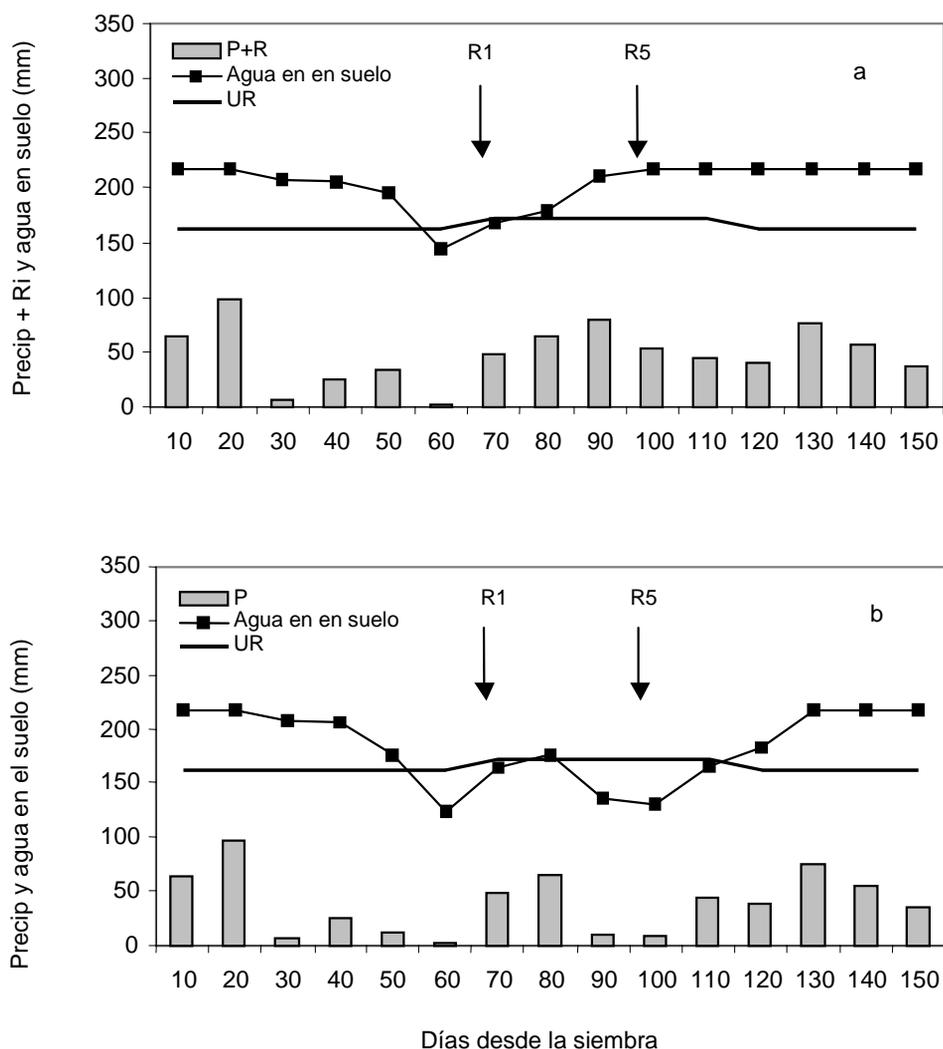


Figura 1. Variación de agua en el suelo en secano (a) y riego (b) durante la estación de crecimiento del cultivo de soja. UR= límite de agua disponible en el suelo para rendimiento máximo. P= precipitaciones; P+R= precipitación más riego.

Figure 1. Variation of soil water availability during growing season of soybean for rainfall (a) and irrigation (b) conditions. UR= soil available water limit for maxim yield. P= rainfall; P+R= Rainfall plus irrigation.

rio, Díaz-Zorita & Fernández Canigia (1998), reportaron aumentos en el número de nódulos en respuesta al agregado de S en suelos con bajos contenidos de MO de la denominada Pampa Arenosa. En el experimento Se se determinó el efecto de las labranzas sobre la MSN, dado que la misma fue 85% mayor en SD respecto de LC. En el experimento Ri la MSN fue mayor en SD (43%), pero esta diferencia no alcanzó a ser significativa (Tabla 1). Este comportamiento sería atribuido al mayor contenido

de humedad del suelo, menor mineralización neta de N y mayor desnitrificación del suelo bajo SD, los que determinan menores niveles de $N-NO_3^-$, coincidiendo con lo reportado por Peoples *et al.* (2001). En línea con esto, se determinó una relación lineal e inversa entre la MSN y el contenido de $N-NO_3^-$ hasta los 20 cm al momento de la siembra, explicando dicha variable el 50% de la variación de la MSN (Fig. 2). La relación entre MSN y concentración de $N-NO_3^-$, indica que cuando la disponibilidad

Tabla 1. Materia seca nodular (MSN) en R5 y nitrógeno acumulado en R7 (N-acum) del cultivo de soja; para dos sistemas de labranza; labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) y dos tratamientos de fertilización, fósforo+azufre (P+S) y fósforo (P), en experimentos conducidos bajo riego (Ri) y secano (Se).

Table 1. Nodular dry matter (MSN) at R5 and accumulated nitrogen (N-acum) at R7 soybean stage as a function of tillage system: no-tillage (SD) and conventional tillage (LC), and two fertilization treatments; phosphorus (P) and phosphorus plus sulfur (P+S), in experiments carried out under irrigation (Ri) and rainfed conditions (Se).

	Labranza	Fertilización	MSN	N-acum
			g pl ⁻¹	kg ha ⁻¹
Ri	SD	P	0,60	221,2
		P+S	0,83	204,4
	LC	P	0,48	238,0
		P+S	0,52	212,5
Fuente de variación			ANVA	
Fertilización			ns	ns
Labranza			ns	ns
Labranza* Fertilización			ns	ns
CV(%)			26,1	10,3
Se	SD	P	0,40	193,8
		P+S	0,46	199,7
	LC	P	0,28	168,6
		P+S	0,24	165,8
Fuente de variación			ANVA	
Fertilización			ns	ns
Labranza			*	†
Labranza* Fertilización			ns	ns
CV(%)			14,2	5,8

*, †= significativo al 5 y 10% de probabilidad, respectivamente. ns: no significativo.

de N en el suelo es elevada la planta utiliza dicha fuente debido al elevado costo energético de la FBN (Imsande, 1989). Debido a que la FBN puede estimarse a través de la MSN (Herridge *et al.*, 1990) el balance de N del suelo podría resultar menos negativo bajo SD que bajo LC.

Si bien no son comparables estadísticamente, el experimento Ri mostró mayor MSN que el experimento Se (65%) (Tabla 1), indicando los efectos positivos de la mayor disponibilidad hídrica sobre la FBN, como lo reporta Serraj *et al.* (1999). La combinación Ri-SD-P+S produjo la mayor MSN (Tabla 1). Esto podría ser atribuido a que actuaron sinérgicamente, la mejor condición hídrica en estadios reproductivos debida al Ri, la menor

disponibilidad de N-NO₃⁻ conjuntamente con la mejor condición hídrica del suelo en los primeros estadios de crecimiento bajo SD y la fertilización azufrada. Sin embargo, en el experimento Se y bajo LC el aporte de S no aumentó la MSN (Tabla 1), lo que se explicaría por una mayor disponibilidad de N-NO₃⁻ y menor disponibilidad de agua para dichas condiciones, variables con gran influencia sobre MSN.

En Se, el tratamiento bajo LC mostró un N-acum en R7 significativamente menor respecto a SD, mientras que bajo Ri no se detectaron diferencias entre sistemas de labranza (Tabla 1). Los menores valores de N-acum determinados en Se y LC serían consecuencia de la menor

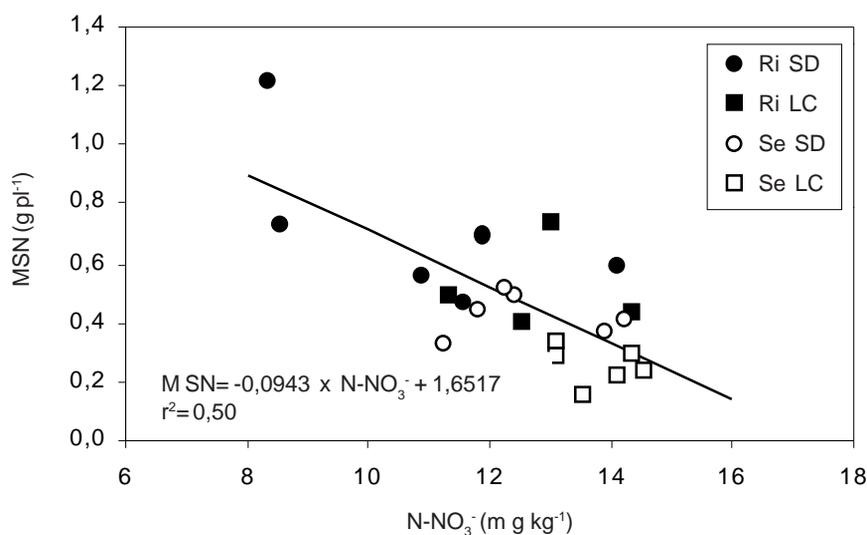


Figura 2. Relación entre la materia seca nodular (MSN) en R5 y la concentración de nitrato (N-NO₃⁻) en el suelo (0-20 cm) a la siembra del cultivo de soja.

Figure 2. Relationship between nodular dry matter (MSN) at R5 stage and soil N-NO₃⁻ content at planting soybean crop (0-20-cm).

FBN, debido a la menor disponibilidad hídrica (Serraj *et al.*, 1999) y mayor disponibilidad de nitratos en estas condiciones, efecto que se reflejó en la menor MSN (Tabla 1).

El N-acum en R7 se relacionó con la MSN en R5 ($r^2 = 0,36$) (Fig. 3), siendo el grado de asociación entre dichas

variables inferior al reportado por Montero *et al.* (2001). Esta diferencia podría ser atribuida a que dichos autores trabajaron en condiciones de invernáculo y sin estrés hídrico. En la Figura 3 se observa que en condiciones de Se los tratamientos bajo SD produjeron mayor MSN y

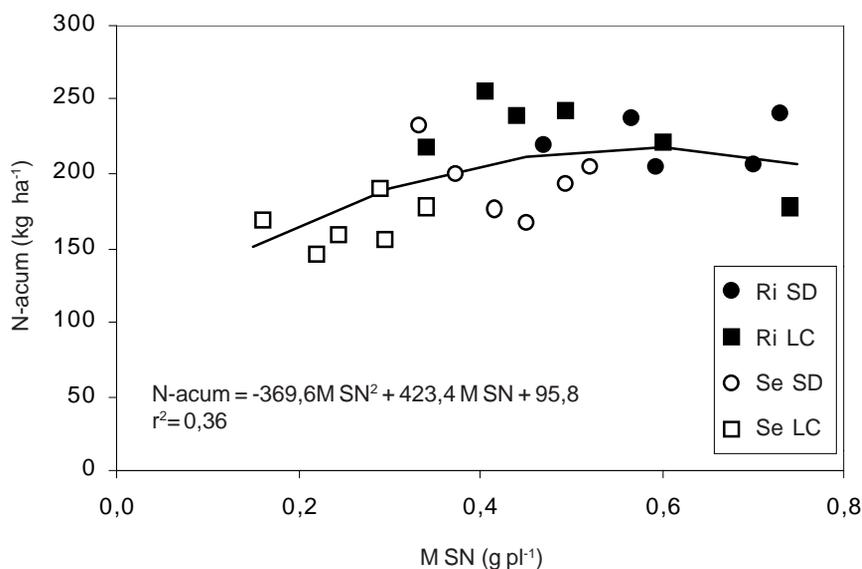


Figura 3. Relación entre el nitrógeno acumulado (N-acum) en R7 y la materia seca nodular (MSN) en R5 del cultivo de soja.

Figure 3. Relationship between accumulated nitrogen (N-acum) at R7 stage and nodular dry matter (MSN) at R5 soybean stage.

N-acum que en LC, lo que indica que los tratamientos bajo SD en Se habrían tenido mejores condiciones edáficas para un adecuado establecimiento y funcionalidad del sistema simbiótico. En cultivos de maíz en floración, Domínguez *et al.* (2001) reportaron una mayor disponibilidad de agua en el suelo bajo SD que en LC. En la Figura 3 se observa que el N-acum fue superior en el experimento Ri que en el experimento Se para similar valor de MSN. Esto indicaría que el estrés hídrico también afectó la eficiencia de la FBN.

En conclusión, para las condiciones de esta experiencia la MSN fue mayor en el experimento bajo Ri y en los tratamientos bajo SD. A pesar de que se observaron tendencias de mayor MSN por efecto del agregado de S, dichas diferencias no fueron significativas. La MSN se asoció positivamente con el N-acum y fue menor bajo LC, principalmente cuando el cultivo fue realizado en condiciones de secano.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F; H Echeverría; N Gonzalez & S Uhart. 2002. Requerimientos de nutrientes minerales. *En: FH Andrade & VO Sadras (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja.* EEA INTA Balcarce-FCA UNMdP. Médica Editorial Panamericana, Mar del Plata. pp. 211-237.
- Ankerman, D & R Lange. 1998. Soil and Plant Analysis. A & L Agricultural Laboratories. Memphis. 82 p.
- Buttery, BR; SJ Park & DJ Hume. 1992. Potencial for increasing nitrogen fixation in grian legumes. *Can. J. Plant. Sci.* 72: 323-349.
- Cicore, P; H Sainz Rozas; H Echeverría & P Barbieri. 2005. respuesta del cultivo de soja al agregado de azufre en función de la disponibilidad hídrica y del sistema de labranza. *RIA.* 34 (2): 57-74.
- Crespo, L; L Picone; Y Andreoli & F García. 2001. Poblaciones microbianas y contenido de carbono y nitrógeno del suelo en sistema de siembra directa y labranza convencional. *Ciencia del Suelo.* 19: 30-38.
- Della Maggiora, A; J Gardiol & A Irigoyen. 2002. Requerimientos hídricos. *En: FH Andrade & VO Sadras (eds.) Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja.* EEA INTA Balcarce-FCA-UNMP. Editorial Médica Panamericana S.A. Mar del Plata, Argentina. pp. 157-173.
- Della Maggiora, A; A Irigoyen; J Gardiol; O Caviglia & L Echarte. 2003. Evaluación de un modelo de balance de agua en el suelo para el cultivo de maíz. *Rev. Arg. de Agrometeorología.* 2: 167-176.
- Diaz-Zorita, M & MV Fernandez Canigia. 1998. Azufre y nitrógeno en la implantación de pasturas perenne en la región de la pampa arenosa argentina. *Ciencia del Suelo.* 16: 103-106.
- Domínguez, GF; GA Studdert; HE Echeverría & FH Andrade. 2001. Sistema de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo.* 19: 47-56.
- Echeverría, HE. 2002. Exploración de deficiencias de azufre en sistemas productivos del sudeste bonaerense. *Boletín técnico* 156. EEA INTA Balcarce. 19 p.
- Fehr, WR & CE Caviness. 1977. Stages of soybean development. Iowa St. Univ. Special Report, 80. 11 p.
- Grant, CA; AM Johnston & GW Clayton. 2004. Sulphur fertilizer and tillage management of canola and wheat in western Canada. *Can. J. Plant. Sci.* 84: 453-462.
- Havlin, JL; JD Beaton; SL Tisdale & WL Nelson. 1999. Sulfur, calcium, and magnesium. p. 217-244. *In: SL Tisdale (ed.) Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management.* Prentice-Hall, Inc. Simon and Schuster/A Viacom Company Upper Saddle River, New Jersey.
- Herridge, DF; FJ Bergensen & MB Peoples. 1990. Measurement of nitrogen fixation by soybean in the field using the ureide and natural ^{15}N abundance methods. *Plant. Physiol.* 93: 708-716.
- Imsande, J. 1989. Rapid dinitrogen fixation during soybean pod fill enhances net photosynthetic output and seed yield: A new perspective. *Agron. J.* 81: 549-556.
- Montero, FA; KM Filippi & MA Sagardoy. 2001. Nodulación y nutrición nitrogenada en sojas convencionales y resistentes a glifosato inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum*. *Ciencia del Suelo.* 19: 159-162.
- Nelson, DW & LE Sommers. 1973. Determination of total nitrogen in plant material. *Agron. J.* 65: 109-112.
- Peoples, MB; AM Bowman; RR Gault; DF Herridge; KM McCormick; RM Norton; IJ Rochester; GJ Scammell & GD Schwenke. 2001. Factors regulating the contribution of fixed nitrogen by pasture and crop legumes to different farming systems of eastern Australia. *Plant and Soil.* 228: 29-41.
- SAS. INSTITUTE INC. 1985. User's guide. Statistics. Version 5. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Scherer, HW & A. Lange. 1996. N_2 fixation and growth of legumes as affected by sulphur fertilization. *Fertil. Soils.* 23: 449-453.
- Serraj, R; TR Sinclair & LH Allen. 1999. Soybean nodulation and N_2 fixation response to drought under carbon dioxide enrichment. *Plant cell and env.* 21: 491-500.
- Studdert, GA & HE Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1496-1503.
- Tabatabai, MA & AA Al-Khafaji. 1980. Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19: 74-77.
- Venturi, G & MT Amaducci. 1984. La soja. Edagricole. Bologna. Italia. 255 p.