

## BALANCE DE NITROGENO EN UN CULTIVO DE SOJA DE SEGUNDA EN LA PAMPA ONDULADA

C DI CIOCCO<sup>1</sup>, R ÁLVAREZ<sup>2</sup>, Y ANDRADA<sup>1</sup>, F MOMO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ciencias Básicas-Universidad Nacional de Luján, Ruta 5 y Constitución, (6700), Luján, Argentina. E-mail: [diciocco@mail.unlu.edu.ar](mailto:diciocco@mail.unlu.edu.ar) <sup>2</sup>Facultad de Agronomía-Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, (1417), Buenos Aires, Argentina.

Recibido 13 de noviembre de 2003, aceptado 21 de abril de 2004

### NITROGEN BALANCE IN A SOYBEAN CROP

Biological nitrogen fixation in soybean (*Glycine max* (L) Merrill) crops from the Rolling Pampa of Argentina under conventional and no-till production systems were determined in a field experiment using nodulating and non-nodulating isolines by the isotopic dilution methodology. No differences were detected in biomass production or in the nitrogen fixation levels between tillage systems. In average, the nitrogen fixed was 74 kg ha<sup>-1</sup> (20 % of total aboveground nitrogen). In both tillage systems the nitrogen budget was negative with a net extraction (harvested N – fixed N) of ca. 130 - 150 kg N ha<sup>-1</sup>. This amount is equivalent to nitrogen extraction from cereal grain production systems in the region.

**Key words:** soybean, biological nitrogen fixation, tillage

### INTRODUCCION

Determinar el balance de nitrógeno de un agrosistema resulta de utilidad para inferir a largo plazo como evolucionará el nivel de este nutriente en el suelo. Para los cereales se han establecido estos balances en la Región Pampeana (Alvarez et al. 2000b) pero para el cultivo de soja (*Glycine max* (L) Merrill), a pesar de su importancia económica, existe poca información. Si bien es fácil estimar la extracción de nitrógeno por cosecha de los granos, no es posible establecer balances confiables pues se carece de estimaciones a campo del ingreso de nitrógeno al sistema suelo-planta por fijación biológica. Sólo dos experimentos locales se han publicado (Alvarez et al. 1995, Ghelfi et al. 1984) que indican valores de fijación biológica de entre 50 y 100 kg N ha<sup>-1</sup> en sistemas manejados bajo labranza. Anualmente se siembran más de 11 Mha de soja en nuestro país, la mayor parte bajo manejos de siembra directa (Bisang 2003). La remoción del suelo que se realiza en sistemas bajo labranza convencional, en el doble cultivo trigo (*Triticum aestivum* L.) soja de segunda, produce un pulso de mineralización de materia orgánica y de descomposición de residuos de trigo que genera mayores niveles de nitratos durante las fases iniciales del cultivo de soja en suelos de la Pampa Ondulada (Alvarez et al. 2000a). El menor nivel de nitrógeno mineral en

el suelo bajo siembra directa podría favorecer la nodulación incrementando la cantidad de nitrógeno fijado del aire (Peoples et al. 2001). En otros agrosistemas se ha propuesto que este mecanismo resultaría en balances de nitrógeno mas positivos, o menos negativos, en sistemas bajo siembra directa con relación a los manejados bajo labranza (Wheatley et al. 1995). Nuestro objetivo fue determinar el balance de nitrógeno de un cultivo de soja de segunda en la Pampa Ondulada conducido bajo sistemas de labranza con y sin remoción del suelo.

### MATERIALES Y METODOS

Se realizó un ensayo en el campo experimental de la Universidad Nacional de Luján (Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina) en un Argiudol Típico cuyas principales propiedades de 0 a 20 cm eran: textura franco limosa, carbono orgánico 1,65%, pH en agua 5,7 y nitrógeno total 0,17 %. El predio estuvo sometido a cultivo durante los últimos 20 años, incluyendo soja en la secuencia de cultivos en varias oportunidades. En abril de 2000 se estableció el experimento preparando seis parcelas de 3 x 7 m cada una, en un diseño de bloques aleatorizados, donde tres de ellas se manejaron bajo labranza convencional con arado de reja y vertedera y posterior refinado con rastra de disco y de dientes, y las otras tres fueron manejadas bajo siembra directa, combatiéndose la vegetación espontánea con aplicaciones de glifosato. En todas se sembró trigo

en julio que fue cosechado el 10 de diciembre. Luego de la cosecha se repitieron las operaciones de labranza respetando en cada parcela la metodología aplicada al inicio del experimento. En las parcelas bajo siembra directa se realizó una aplicación de glifosato. Dentro de cada parcela, una vez incorporado el rastrojo del trigo o segado en el caso de siembra directa, se delimitaron dos subparcelas de 2 x 2 m cada una. Una de las subparcelas fue sembrada con la isolínea de soja nodulante (D71-9289) y la otra con su isolínea no nodulante (D71-9291) pertenecientes al Grupo VI provistas por EMBRAPA. La siembra se realizó a mano el 5 de enero de 2001, abriendo los surcos con azada a una distancia de 50 cm y una densidad mayor a la usada comercialmente. Inmediatamente después de sembrar se fertilizó los dos entresurcos centrales de todas las subparcelas con una solución de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - $^{15}\text{N}$  con 10 % at. ex.  $^{15}\text{N}$  y una dosis de 10 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . La lámina aplicada para la incorporación del fertilizante marcado fue de 20 mm. Las semillas de soja fueron inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum* (Biagro) con una dosis superior a lo que indica el fabricante estimándose  $1 \times 10^5$  bacterias por grano y tratada con Tiram (Biagro). Se raleó manualmente las hileras donde la densidad lograda fue mayor a 40 pl  $\text{m}^{-2}$ . Las malezas se controlaron a mano y los insectos con una aplicación de clorpirifós en el estado R 4. La cosecha se realizó a mano en el estado R 6.5 el 23 de mayo recolectando 10 plantas a ras del suelo de la hilera central de cada subparcela. Se eligió el estado R 6,5 para cosecha porque en éste el cultivo ha acumulado 100% de la biomasa y el nitrógeno total y un 95-100% de la biomasa y nitrógeno del grano pero la defoliación es parcial (Ritchie et al. 2002). Las hojas basales pérdidas por las plantas se recogieron del suelo dentro del área de influencia de las plantas cosechadas. Las precipitaciones durante el período del ensayo fueron 702 mm. El material vegetal se separó en grano y

paja, se secó a 70 °C y se pesó. El contenido de nitrógeno se determinó por digestión (Bremner 1996) y la concentración de  $^{15}\text{N}$  por el método de Kjeldahl-Rittenberg (IAEA 1976). La estimación del nitrógeno fijado desde la atmósfera se realizó por el método de dilución isotópica (IAEA 1976). El balance de nitrógeno del sistema suelo-planta fue calculado como la diferencia entre el nitrógeno aportado al sistema por fijación biológica y el extraído por cosecha del grano (Peoples et al. 1995a). Los datos se analizaron por un ANVA factorial, tomando como factores a los sistemas de labranza y tipo de isolínea, con un nivel de significancia de  $P = 0,05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSION

Hubo efectos significativos del tipo de isolínea sobre el rendimiento en grano, el contenido de nitrógeno en planta y la cantidad de nitrógeno derivado del aire, pero no se detectaron efectos del sistema de labranza por lo que se promediaron los resultados para el cálculo del balance de nitrógeno (Tabla 1). El rendimiento de la isolínea nodulante fue mayor al de la no nodulante con un valor representativo del nivel de rendimiento de situaciones de producción de la Pampa Ondulada (Baigorri, Segura 2002). También la producción de paja fue mayor en la isolínea nodulante. Esta mayor producción de biomasa de la isolínea fijadora determinó una acumulación de nitrógeno en grano y paja mucho mayor a la no fijadora, con una extracción de nitrógeno del sistema suelo-planta por cosecha de 228 kg N  $\text{ha}^{-1}$ . El 20 % del nitrógeno de la biomasa aérea del cultivo derivó del aire en la isolínea fijadora siendo

**Tabla 1.** Balance de nitrógeno en un cultivo de soja de segunda de la Pampa Ondulada. Promedio de 2 sistemas de labranza.

**Table 1.** Nitrogen balance of a soybean crop from the Rolling Pampa. Mean of 2 tillage systems.

Isolínea	Grano (kg MS $\text{ha}^{-1}$ )	N grano (kg N $\text{ha}^{-1}$ )	Ndagrano (kg N $\text{ha}^{-1}$ )	Paja (kg MS $\text{ha}^{-1}$ )	N paja (kg N $\text{ha}^{-1}$ )	Ndapaja (kg N $\text{ha}^{-1}$ )	Planta (kg MS $\text{ha}^{-1}$ )	N planta (kg N $\text{ha}^{-1}$ )	Ndaplanta (kg N $\text{ha}^{-1}$ )	Balance (kg N $\text{ha}^{-1}$ )
Nodulante	3220 a	228 a	57	7280 a	151 a	17	10500 a	379 a	74	-154 a
No nodulante	1910 b	124 b	0	3500 b	54 b	0	5410 b	178 b	0	-124 a

Valores con letras diferentes en cada columna difieren significativamente ( $P = 0,05$ ). Ndagrano: nitrógeno derivado del aire en grano, Ndapaja: nitrógeno derivado del aire en paja, Ndaplanta: nitrógeno derivado del aire en planta entera.

Different letters in a column shown significant differences ( $P = 0,05$ ). Ndagrano: nitrogen derived from atmosphere in grain, Ndapaja: nitrogen derived from atmosphere in straw, Ndaplanta: nitrogen derived from atmosphere in above ground biomass.

este porcentaje mayor en los granos (25 %) que en la paja (11 %). La suma del nitrógeno derivado de la fijación en grano y paja fue de 74 kg N ha<sup>-1</sup>. En consecuencia el cultivo tuvo un balance de nitrógeno negativo de -154 kg N ha<sup>-1</sup>. Este valor representa una extracción neta de nitrógeno desde el suelo.

El análisis de resultados de numerosos experimentos realizados en otras partes del mundo ha mostrado que la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico de la soja puede variar entre 0 y 450 kg N ha<sup>-1</sup>, lo que representa entre 0 y 95 % del nitrógeno de la biomasa aérea de la planta (Keyser, Li 1992, Peoples et al. 1995b, Unkovich, Pate 2000). Esta variabilidad a sido atribuida a limitantes para el desarrollo del cultivo, que restringen la producción de biomasa y la fijación de nitrógeno, a variaciones de la capacidad de los suelos de suministrar nitrógeno a los cultivos y con ello deprimir la fijación y a diferentes grados de afinidad entre la cepa de *Bradyrhizobium* y la variedad de soja usadas (Keyser, Li 1992). La variabilidad de la magnitud de la fijación de nitrógeno, asociada a la variabilidad del rendimiento y extracción de nitrógeno por cosecha, lleva a balances de nitrógeno muy contrastantes según los casos con valores reportados desde -134 kg N/ha hasta +69 kg N/ha (Peoples et al 1995a).

El nivel de extracción de nitrógeno en nuestro experimento fue equivalente al que realizan en la Pampa Ondulada cultivos de trigo o de maíz (*Zea mays* L.) de mediano a alto rendimiento (Álvarez et al. 2000a), comportándose la soja como un cultivo fuertemente extractor de nitrógeno del suelo. El balance realizado no ha considerado el nitrógeno fijado en las raíces del cultivo ni el liberado durante la descomposición de las hojas basales pérdidas antes del estado R 6,5. Estimaciones previas de estos errores indican que en las raíces se acumula un 5% del nitrógeno fijado por la planta y que la pérdida de nitrógeno desde las hojas en descomposición podría representar alrededor de un 15% (Álvarez et al. 1995). Corrigiendo por estos factores llevaría la estimación de nitrógeno fijado desde la atmósfera a unos 90 kg N ha<sup>-1</sup> pero no afectaría sustancialmente el balance de nitrógeno que seguiría siendo negativo (-138 kg N ha<sup>-1</sup>). Las otras

estimaciones locales de fijación de nitrógeno a campo por el cultivo de soja, realizadas por la metodología del <sup>15</sup>N, han indicado valores de unos 50 kg N ha<sup>-1</sup> en el Sudeste Bonaerense (Álvarez et al. 1995) y 100 kg N ha<sup>-1</sup> en la Pampa Ondulada (Ghelfi et al. 1984). Esta información sumada a la aquí presentada resulta en un promedio de unos 75 kg N ha<sup>-1</sup> fijados. Asumiendo una subestimación del 20 % por no considerar nitrógeno fijado en raíces y liberación desde las hojas en descomposición, se tendría una fijación media de 94 kg N ha<sup>-1</sup>. Tomado 6% como valor medio de concentración de nitrógeno en los granos (15% de humedad), cultivos con rendimientos mayores a unos 1600 kg grano ha<sup>-1</sup> se comportarían como extractores de nitrógeno del suelo para un aporte de nitrógeno por fijación similar al promedio calculado aquí. Sin embargo, la información disponible es escasa y más experimentos de determinación de la capacidad de fijación de nitrógeno en condiciones de producción del cultivo de soja son necesarios para establecer balances de nitrógeno confiables a escala regional.

#### AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue financiado por el Programa de Ecología Terrestre del Dpto de Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de Luján. Agradecemos la provisión de isolíneas nodulantes y no nodulantes a L. Almeida de EMPBRAPA y los análisis de <sup>15</sup>N a la CNEA.

#### REFERENCIAS

- Álvarez C, Álvarez R, Lorenzo G. 2000a. Pulsos de mineralización de carbono y nitrógeno posteriores al laboreo del suelo. Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo II.3
- Álvarez R, Álvarez C, Steinbach H. 2000b. Fertilización de trigo y maíz. Ed. Hemisferio Sur, Buenos Aires, 95 pág.
- Álvarez R, Lemcoff J H, Merzari A H. 1995. Balance de nitrógeno en un suelo cultivado con soja. Ciencia del Suelo 13: 38-40
- Baigorri H, Segura L. 2002. Soja – Actualización 2002. INTA, Información para Extensión N° 74, 126 pág.
- Bisang R. 2003. Estructura económica, innovación y estructura productiva: la aplicación de biotecnología en la producción agrícola pampeana argentina. Desarrollo Económico 43: 413-440

- Bremner JM. 1996. Nitrogen-total. pp. 1085-1128. In Methods of soil analysis. D.L. Sparks(ed.). Part 3 Chemical methods. Soil Sci. Society América Book Series N° 5
- Ghelfi R A, Bujan A, Quitegui M C, Ghelfi L E P. 1984. Determinación de N<sub>2</sub> atmosférico fijado por soja (*Glycine max* L.) mediante utilización de <sup>15</sup>N en condiciones de campo. Ciencia del Suelo 2:45-51
- IAEA. 1976. Tracer manual on crops and soils. Technical Report Series 171. Vienna. 277 pág.
- Keyser HH, Li, F. 1992. Potential for increasing biological nitrogen fixation in soybean. Plant and Soil 141: 119-135
- Peoples MB, Bowman AM, Gault RR, Herridge DF, McCallum MH, McCormick KM, Norton RM, Rochester IJ, Scammell GJ, Schwenke GD. 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
- Peoples MB, Gault RR, Lean B, Sykes JD, Brockwell J. 1995a. Nitrogen fixation by soybean in commercial irrigated crops of central and southern New South Wales. Soil Biol. Biochem. 27: 553-561
- Peoples MB, Herridge DF, Ladha JK. 1995b. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production?. Plant and Soil 174: 3-28
- Ritchie SW, Hanway JJ, Thompson HE, Benson GO. 2002. Cómo se desarrolla una planta de soja. Rep. Esp. N° 53 Univ. Sci. Tech. Iowa, 21 pág. Reproducido por INPOFOS en Argentina
- Unkovich MJ, Pate JS. 2000. An appraisal of recent field measurement of symbiotic N<sub>2</sub> fixation by annual legumes. Field Crops Res. 65: 211-228
- Wheatley DM, MacCleod DA, Jessop RS. 1995. Influence of tillage treatments on N<sub>2</sub> fixation of soybean. Soil Biol. Biochem. 27: 571-574