

BALANCE DE NITROGENO EN UN SUELO CULTIVADO CON SOJA

R ALVAREZ¹, J H LEMCOFF², A H MERZARI¹

⁽¹⁾Laboratorio de Radioisótopos, ⁽²⁾Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.

NITROGEN EXTRACTION FROM THE SOIL BY A SOYBEAN CROP

Favorable economic reasons greatly enhance soybean cropping during the last two decades in the Argentinean Pampas. Nitrogen fixation by the crop has been scarcely determined and even soil nitrogen balances are not reported for the region. We evaluated the amount of nitrogen fixed by a soybean crop in the field using the A value methodology, employing a non nodulating isoline as control crop in an Argiudoll of the Southeast of the Buenos Aires Province (Argentina). Nitrogen derived from the atmosphere accounted for ca. 40 % of total plant nitrogen while fixed nitrogen was ca. 46-51 kg N ha⁻¹ for two soybean cultivars. Grain nitrogen derived from the soil ranged between 53 and 62 kg ha⁻¹, meanwhile straw incorporated ca. 8-10 kg N ha⁻¹ from the atmosphere. Thus, a negative balance of 44-51 kg N ha⁻¹ was estimated for the soil-plant system.

Key words: *Glycine max*-Nitrogen fixation-Nitrogen balance-A value

INTRODUCCION

El cultivo de la soja en la Región Pampeana ha tenido una gran expansión durante las últimas dos décadas debido a condiciones económicas favorables, especialmente en el sistema de doble cultivo trigo-soja (Hall *et al.* 1992). Paralelamente, se ha observado una intensa degradación de los suelos, atribuida al incremento del laboreo y tránsito de implementos que acarrea esta secuencia (Ghersa, Martínez 1991). La capacidad de fijar nitrógeno de la atmósfera por la soja ha determinado que su inclusión en las rotaciones modifique la respuesta de los cultivos sucesores, como el maíz y el trigo, a la fertilización (Barberis *et al.* 1983, 1985). En general se ha considerado que este cultivo realiza un aporte de nitrógeno al suelo, aunque no se han realizado experiencias para demostrarlo. Sólo existe un trabajo publicado que evalúa la cantidad de nitrógeno fijado por soja en suelos de la región (Ghelfi *et al.* 1984). En el mismo se determinó, utilizando el método de la dilución isotópica, una fijación de 37-98 kg N ha⁻¹ según el cultivo control empleado. Qué fracción del nitrógeno fijado es retenida en el sistema suelo-planta y cuánto nitrógeno extrae el cultivo del suelo por cosecha de semillas no ha sido establecido aún para las condiciones de la zona. Nuestro objetivo fue evaluar la fijación de nitrógeno atmosférico en un cultivo de soja y hacer un balance entre el aporte del nutriente desde la atmósfera y la extracción por cosecha en un suelo del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó un ensayo a campo sobre un Argiudol (La Dulce, Provincia de Buenos Aires, Argentina, 38°2' S, 59°2' O) cuyas principales propiedades de 0 a 20 cm eran: textura franca, carbono orgánico 2,33 %, pH 6,0, fósforo disponible (Bray 1) 11 ppm, N-NO₃ 12 ppm y N-NH₄ 11 ppm. El lote utilizado tenía una historia previa de al menos 10 años de agricultura, siendo trigo el último cultivo realizado. El 15 de noviembre de 1982 se sembró a mano soja (*Glycine max*), habiéndose realizado la preparación del terreno en forma convencional: arado de reja y vertedera, rastra de disco y rastra de dientes. La soja fue inoculada con *Bradyrhizobium japonicum* en un inoculante comercial (Nitragin Co.). Se emplearon los cultivares Chippewa y Maple Arrow como variedades fijadoras y una isolina no nodulante del cultivar Chippewa como cultivo control. Para cada material genético se establecieron 18 parcelas, 6 fertilizadas con 19 kg P ha⁻¹ como hiperfosfato, otras 6 a las que se agregó dolomita en una dosis equivalente a 2.000 kg ha⁻¹ y otras 6 como testigos. El hiperfosfato y la dolomita fueron incorporados unos días antes de sembrar la soja. Cada parcela tenía 3 x 1 m, estando separadas por calles de 0,5 m cultivadas con soja, en un diseño en bloques al azar, con una distancia entre hileras de 0,5 m y una densidad de siembra de 40 plantas m⁻². A la siembra el cultivo control fue fertilizado con una dosis de 100 kg N ha⁻¹ de (¹⁵NH₄)₂SO₄ con 0,775 % a.e. ¹⁵N, y los cultivos fijadores con 20 kg N ha⁻¹ como (¹⁵NH₄)₂SO₄ con 4,75 % a.e. ¹⁵N. El fertilizante marcado fue aplicado en solución acuosa incorporándose 4 l m⁻². El 15 de marzo de 1983 se cosechó el cultivo manualmente en el estado de madurez fisiológica, recolectándose las tres hileras centrales de cada parcela, dejando una bordura de 0,25 m en cada extremo. Durante el período de desarrollo de la soja la temperatura media (casilla meteorológica) fue de 19,5 °C y las precipitaciones de 358 mm. Las plantas fueron secadas a 60 °C y se separó las semillas del rastrojo, para determinar la biomasa seca de cada fracción. El material vegetal se molió y se analizó el contenido de nitrógeno total por digestión (Bremner, Mulvaney 1982). El enriquecimiento en ¹⁵N de las muestras se determinó

por espectrometría de masa empleando el método de Dumas (Fiedler, Proksch 1975) en la FAO/IAEA Division (Viena, Austria). La estimación de la cantidad de nitrógeno de la soja derivada de la atmósfera se realizó por el método del valor A (Danso 1986). Los datos fueron analizados por ANVA y test de Duncan. Como no hubo efectos significativos de los tratamientos con hiperfosfato y dolomita sobre la producción de materia seca, contenido de nitrógeno y enriquecimiento en ^{15}N de los distintos cultivares respecto del testigo, se descartó la presentación por separado de esos tratamientos, integrándose la información de todas las parcelas de cada cultivar.

RESULTADOS Y DISCUSION

La producción de materia seca de los cultivares fijadores de nitrógeno fue significativamente mayor que la del control. La concentración del nutriente no se modificó por la capacidad de las plantas de incorporar nitrógeno de la atmósfera (Tabla 1). El nitrógeno acumulado fue 37-59 % mayor en las variedades nodulantes respecto del control. A pesar de recibir una dosis mayor de nitrógeno como fertilizante, el crecimiento de las plantas control se vio disminuido por la incapacidad de fijar nitrógeno del aire. El uso de isolíneas no nodulantes se ha generalizado como cultivos de referencia en las estimaciones de la capacidad de fijar nitrógeno de las leguminosas. Estas isolíneas presentan un ciclo vegetativo y un patrón de desarrollo radical semejante al de las plantas fijadoras (Vasilas, Ham 1984, Wagner, Zapata 1982). Generalmente las isolíneas no nodulantes son fertilizadas con dosis de nitrógeno 3-4 veces mayores a las leguminosas fijadoras para lograr un crecimiento normal. No obstante, su producción de materia seca y contenido de nitrógeno suelen ser inferiores a los de las plantas noduladas (Fried, Broeshart 1981, Talbott *et al.* 1985).

El enriquecimiento en ^{15}N fue en promedio para los tres materiales genéticos usados un 11 % menor ($P < 0,05$) en las semillas que en el rastrojo. Esto pudo ser el resultado de la disminución de la concentración de ^{15}N en el componente asimilable del nitrógeno edáfico al avanzar el ciclo del cultivo. Se ha observado que el enriquecimiento

en ^{15}N de la solución del suelo decrece al avanzar el período vegetativo. Esto se debe a las pérdidas de ^{15}N del sistema y a la sustitución de componentes con ^{14}N nativo. En consecuencia disminuye la concentración del isótopo en planta (Bremer *et al.* 1993, Witty 1983). Este fenómeno no afecta las estimaciones de fijación de nitrógeno si el cultivo control absorbe el nitrógeno del mismo componente que la planta fijadora (Witty 1983). Esta condición se cumple cuando el diseño de los sistemas radiculares y los ciclos vegetativos del control y la planta fijadora son semejantes.

La cantidad de nitrógeno fijado estimada varió entre 46 y 51 kg N ha⁻¹ sin diferencias significativas entre cultivares (Tabla 1), lo que representó ca. 40 % del total de las plantas. El 80 % del nitrógeno fijado se acumuló en las semillas. El contenido de nitrógeno derivado del suelo en las mismas varió entre 53 y 62 kg ha⁻¹, mientras que el rastrojo de la soja retuvo 8-10 kg N ha⁻¹ provenientes de la atmósfera. Consecuentemente, la diferencia entre extracción de nitrógeno por cosecha y aporte por fijación osciló entre 44 y 51 kg N ha⁻¹, indicando un balance negativo para el sistema suelo-planta.

Si bien la capacidad fijadora de la soja presenta un amplio rango de estimaciones, los valores más frecuentes oscilan entre 30 y 200 kg N ha⁻¹, representando un 30-80 % del nitrógeno de la planta, según el sistema estudiado (George *et al.* 1993, Keyser, Li 1992, Talbott *et al.* 1982). Parte del nitrógeno fijado queda en las raíces, fracción que no fue evaluada en esta experiencia. Del nitrógeno acumulado en planta, las raíces pueden contener en madurez un 5 % del total (Bergensen *et al.* 1992, Martin *et al.* 1991) con un enriquecimiento semejante o mayor en ^{15}N (nitrógeno derivado del fertilizante) que la parte aérea (Chalk 1985). De esto se desprende que en nuestro caso, suponiendo una fracción de nitrógeno derivada de la atmósfera equivalente en las raíces y la parte aérea, deberían sumarse ca. 3 kg N ha⁻¹ por aporte radical a la cantidad de nitrógeno fijado. Sin embargo, al considerar posibles causas de error en las evaluaciones de fijación, más importante

Tabla 1: Producción de materia seca, acumulación de nitrógeno y partición del nitrógeno en planta según la fuente en tres materiales genéticos de soja.

Parte vegetal	Material genético	Materia seca (kg ha ⁻¹)	Nitrógeno		^{15}N (% a.c.)	N-fertilizante (kg ha ⁻¹)	N-atmósfera (kg ha ⁻¹)	N-suelo (kg ha ⁻¹)
			(%)	(kg ha ⁻¹)				
Semilla	Chippewa no nodulante	1.180 a	5,94 a	70,1 a	0,177 a	16,0 a	-----	54,1 a
	Chippewa nodulante	1.660 b	5,63 a	93,5 b	0,158 a	3,1 b	37,9 a	52,5 a
	Maple Arrow	1.840 b	5,75 a	106 b	0,168 a	3,7 b	40,8 a	61,5 b
Rastrojo	Chippewa no nodulante	1.810 a	0,670 a	12,1 a	0,201 a	3,1 a	-----	9,0 a
	Chippewa nodulante	2.740 b	0,708 a	19,4 b	0,179 a	0,7 b	8,2 a	10,5ab
	Maple Arrow	3.650 c	0,680 a	24,8 c	0,180 a	0,9 b	10,4 a	13,4 b

Datos seguidos por la misma letra dentro de una misma columna, para cada componente vegetal, no difieren a $P > 0,05$.

que este último factor parece ser la defoliación previa a la madurez que se produce en la planta de soja. En algunos casos este fenómeno ha sido causa de subestimaciones de la capacidad de fijar nitrógeno del cultivo (Chalk 1985). Sobre la base de datos publicados puede calcularse que entre un 10 y un 24 % del nitrógeno acumulado en la parte aérea se encuentra en las hojas caídas cuando las semillas alcanzan su máxima biomasa seca (Bennie *et al.* 1982, Hanway, Weber 1971 a,b). Estimando un 17 % como valor medio podría considerarse, por lo tanto, un aporte adicional por fijación de *ca.* 8 kg N ha⁻¹ en nuestro caso. Estas consideraciones no afectan sustancialmente el balance estimado de nitrógeno para el sistema suelo-planta, resultando una pérdida neta del elemento con el cultivo de la soja.

En la secuencia cultural trigo-soja, las evaluaciones de las entradas y salidas de carbono por aporte de residuos y respiración microbiana indican que se producen pérdidas de materia orgánica del suelo por balances negativos de carbono (Alvarez 1994). La información presentada aquí sugiere que en algunos casos pueden producirse balances negativos de nitrógeno aún en cultivos de soja con bajos rendimientos. Estos motivos podrían explicar, en parte, la actual fertilidad de los suelos pampeanos.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue subsidiado por la División Conjunta FAO/IAEA. Agradecemos a R. Diaz y L. Sleiman por la colaboración en las tareas de campo.

REFERENCIAS

- Alvarez R. 1994. Efecto del sistema de labranza sobre la acumulación y estabilidad de la materia orgánica del suelo y su capacidad de aportar nitrógeno al trigo. En: Fertilización en trigo: siembra directa y convencional. Editado por FAUBA, pag. 26-35
- Barberis L., Chamorro E., Bauman Fonay C., Zourarakis D., Canova D., Urricariet S., 1985. Respuesta del cultivo de maíz a la fertilización nitrogenada en la Pampa Ondulada. Campañas 1980/81-1983/84. II Modelos predictivos y explicativos. Rev. Fac. Agron.-UBA 6: 65-84
- Barberis L., Nervi A., del Campo H., Conti M., Urricariet S., Sierra J., Daniel P., Vazquez M., Zourarakis D. 1983. Análisis de la respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada en la Pampa Ondulada y su predicción. Ciencia del Suelo 1: 51-64
- Bennie ATP, Mason WK, Taylor HM. 1982. Responses of soybean to two row spacing and two soil water levels. III Concentration, accumulation and translocation of 12 elements. Field Crop Res. 5: 31-43
- Bergensen FJ, Turner GL, Gault RR, Peoples MB, Morthorpe LJ, Blockwell J. 1992. Contributions of nitrogen in soybean crop residues to subsequent crops and to soils. Austr. J. Soil Res. 43: 155-169
- Bremer E, Gehlen H, Swerhone GDW, van Kessel C. 1993. Assessment of reference crops for the quantification of N₂ fixation using natural and enriched levels of ¹⁵N abundance. Soil Biol. Biochem. 25: 1197-1202
- Bremner JM, Mulvaney CS. 1982. Nitrogen-total. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Second edition. A L. Page Editor. Agronomy 9. Am. Soc. Agron., Madison, USA, pag. 595-624
- Chalk, PM. 1985. Estimation of N₂ fixation by isotope dilution: an appraisal of techniques involving ¹⁵N enrichment and their application. Soil Biol. Biochem. 17: 389-410
- Danso SK. 1986. Review: estimation of N₂-fixation by isotope dilution: an appraisal of techniques involving ¹⁵N enrichment and their application. Soil Biol. Biochem. 18: 243-244
- Fiedler R, Proksch G. 1975. The determination of nitrogen-15 by emission and mass spectrometry in biochemical analysis: a review. An. Chim. Acta 78: 1-62
- Fried M, Broeshart H. 1981. A further extension of the method for independently measuring the amount of nitrogen fixed by a legume crop. Plant and Soil 62: 331-336
- George T, Singleton PW, van Kessel C. 1993. The use of nitrogen-15 natural abundance and nitrogen yield of non-nodulating isolines to estimate nitrogen fixation by soybean (*Glycine max* L.) across three elevations Biol. Fert. Soils 15: 81-86
- Ghera CM, Martinez AM. 1991. Cambios tecnológicos en los agrosistemas de la Pampa Ondulada. Efectos de la introducción de la soja. Inv. y Cien. 5: 182-188
- Ghelfi RA, Bujan A, Quitegui MC, Ghelfi LEP. 1984. Determinación de N₂ atmosférico fijado por soja (*Glycine max* L.) mediante utilización de ¹⁵N en condiciones de campo. Ciencia del Suelo 2: 45-51
- Hall AJ, Rebella CM, Ghera CM, Culot JP. 1992. Field-crop systems of the Pampas. Field crop ecosystems. CJ Pearson Ed. Elsevier pag. 413-450
- Hanway JJ, Weber CR. 1971a. Dry matter accumulation in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants as influenced by N, P, and K fertilization. Agron. J. 63: 263-266
- Hanway JJ, Weber CR. 1971b. N, P, and K percentages in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plant parts. Agron. J. 63: 286-290
- Keyser III, Li F. 1992. Potential for increasing biological nitrogen fixation in soybean. Plant and Soil 141: 119-135
- Martin RC, Voldeng HD, Smith DL. 1991. Nitrogen transfer from nodulating soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to corn (*Zea mays* L.) and non-nodulating soybean in intercrops: direct ¹⁵N labelling methods. New Phytol. 117: 233-241
- Talbot HJ, Kenworthy WJ, Legg JO. 1982. Field comparison of the nitrogen-15 and difference methods of measuring nitrogen fixation. Agron. J. 74: 799-804
- Talbot HJ, Kenworthy WJ, Legg JO, Douglass LW. 1985. Soil-nitrogen accumulation in nodulated and non-nodulated soybean: a verification of the difference method by a ¹⁵N technique. Field Crop Res. 11: 55-67
- Vasilas BL, Ham GE. 1984. Nitrogen fixation in soybean: an evaluation of measuring techniques. Agron. J. 76: 759-764
- Wagner GH, Zapata F. 1982. Field evaluation of reference crops in the study of nitrogen fixation by legumes using isotope techniques. Agron. J. 74: 607-612
- Witty JF. 1983. Estimating N₂-fixation in the field using ¹⁵N-labelled fertilizers: some problems and solutions. Soil Biol. Biochem. 15: 631-639