



ROTACIÓN SOJA-MAÍZ: EFECTO DE LA MINERALIZACIÓN DEL RASTROJO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE NITRATOS Y EL RENDIMIENTO DE MAÍZ

Mirta G. González^{1*}; E.W. Ferrero Holtz¹; G.B. Moreno¹ y H.A. Svartz²

¹Cátedra de Edafología ²Cátedra de Jardinería
Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Avda. San Martín 4453, CABA
*mggonzal@agro.uba.ar

Recibido: 11-03-15

Aceptado: 19-06-15

RESUMEN

La soja (*Glycine max*) es el cultivo predominante en la región pampeana de la Argentina. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de soja (S) como antecesor para determinar los cambios producidos en la evolución del nitrógeno (N) del suelo en Argiudoles típicos de la región pampeana argentina, durante el ciclo del cultivo de maíz (M) subsiguiente. Las muestras de suelo fueron tomadas en cuatro etapas del año, durante el ciclo del cultivo de maíz subsiguiente y en el barbecho de invierno posterior: a la siembra (S), floración estado fenológico R1, madurez fisiológica estado fenológico R6 y en barbecho de invierno (B). En las parcelas con rotación SM se observaron valores de nitratos más altos respecto de la rotación MM en los estados R1 y R6, coincidiendo con aumentos en los valores de actividad de proteasa y microbiológicos en los mismos estados. Se observó una mayor mineralización del rastrojo de soja cuando se incluye a la misma en la rotación con maíz, provocando un aumento en los contenidos de nitratos disponibles aunque inicialmente el suelo no presente mayores proporciones de N total, nitratos o amonio.

Palabras clave. Mineralización, Nitrógeno de nitratos, actividad microbiológica.

SOYBEAN - CORN ROTATION: EFFECT OF THE STUBBLE MINERALIZATION ON THE NITRATES PRODUCTION AND CORN YIELD

SUMMARY

Soybeans (*Glycine max*) is the dominant crop in the Pampas region of Argentina. The main target of this study was the evaluation of soybean as previous crop on the changes produced in soil nitrogen evolution in the typical Argiudolls from this region, during the next corn crop. The soil samples were taken in four stages of the year, during the next corn crop and the subsequent fallow winter at sowing (S), growth flowering stage R1, physiological maturity state phenological R6, and winter fallow (B). Nitrate values were higher in the SM rotation than in the MM rotation in the R1 and R6 states, coinciding with higher protease and microbiological values in the same moments. Also, we could observe higher mineralization even if at the beginning the soil does not show larger proportions of total nitrogen, nitrate or ammonium.

Key words. Mineralization, nitrate nitrogen, microbiological activity.

INTRODUCCIÓN

La soja (*Glycine max*) es el cultivo predominante en la región pampeana de la Argentina. Es generalmente conocido que el rastrojo de soja, a través de su rápida mineralización, tiene un papel predominante al modificar la dinámica del N del suelo y su disponibilidad para el cultivo de maíz subsiguiente (Álvarez *et al.*, 2011); por lo tanto, el conocimiento de los cambios causados por soja como antecesor es esencial para la caracterización de la rotación Soja-Maíz.

Varios estudios han informado que la mineralización del rastrojo de soja puede contribuir con un rango de 45 a 70 kg de N por hectárea (equivalente a 1-1,5 kg ha⁻¹ por cada 60 kg ha⁻¹ de soja cosechados) al cultivo de maíz (Abril *et al.*, 1990; Restovich *et al.*, 2010; Bono *et al.*, 2008; Di Ciocco *et al.*, 2004). Esta contribución de N estaría dada por la entrada al sistema de una fracción del rastrojo de soja que queda en la materia orgánica del suelo y, al ser mineralizado, se encuentra disponible para ser utilizado por los cultivos siguientes.

Por el contrario, otros estudios indican que el N incorporado por el proceso de fijación biológica, en la región centro y norte de la Argentina, podría representar sólo el 50% de los requerimientos del cultivo de soja (Collino *et al.*, 2007), produciéndose un balance negativo en el sistema planta-suelo que resultaría en una pérdida neta de este elemento, incluso si los cultivos de soja tienen rendimientos bajos (Bono y Álvarez, 2013), lo que implicaría una reducción de las reservas de N del suelo (Álvarez, 2005; Thomsen *et al.*, 2001). Si la producción de soja no aumenta las reservas de N orgánico del suelo, la respuesta positiva observada normalmente en el cultivo de maíz, posterior al cultivo de soja, sigue siendo incierta. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la soja como antecesor de maíz para determinar los cambios producidos en la evolución del N del suelo en Argiudoles típicos de la región pampeana argentina, durante el ciclo del cultivo de maíz subsiguiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en INTA-Marcos Juárez (Córdoba) Argentina en un Argiudol Típico de la serie Marcos Juárez durante la campaña 2011/2012. El diseño experimental fue en dos bloques completamente aleatorios, en parcelas de 10 x 20 metros cada una, con cuatro repeticiones para cada rotación (maíz-maíz **MM** y soja-maíz **SM**). Estas rotaciones se llevaron a cabo bajo el sistema de labranza cero y sin fertilización agregada, a fin de aislar los efectos de la mineralización del rastrojo contando con una antigüedad de 15 años.

De cada parcela se obtuvieron dos muestras compuestas de suelo mediante la mezcla de cinco submuestras (por cada muestra compuesta) recogidas al azar, a una profundidad de 0-20 cm con instrumental barreno de mano.

Dichas muestras de suelo se recogieron en cuatro etapas del año, durante el ciclo del cultivo de maíz subsiguiente y en el barbecho de invierno posterior: a la siembra (**S**), floración estado fenológico **R1** (Ritchie y Hanway, 1982), madurez fisiológica estado fenológico **R6** (Ritchie y Hanway, 1982) y en barbecho de invierno (**B**).

Cada muestra compuesta se dividió en dos fracciones, una de las cuales se secó y tamizó con tamiz de 2 mm para realizar las determinaciones de: N total mediante el método de Kjeldahl (Bremner, 1960), y N hidrolizable (Kim, 2005).

La fracción restante se mantuvo refrigerada a 4 °C y con su contenido de humedad natural. En esta fracción se realizaron las siguientes determinaciones: N de nitrato (Marbán, 2004), N de amonio (Kim, 2005), carbono mineralizable (Jenkinson y Powlson, 1976) actividad de ureasa: (Nannipieri *et al.*, 2002), actividad de proteasa mediante el empleo de caseinato de sodio como sustrato (Gili *et al.*, 2004) y actividad microbiológica mediante la técnica de amonificación por arginina (Di Ciocco *et al.*, 2012; Ciarlo *et al.*, 2011).

Procedimiento estadístico: Análisis de varianza asumiendo un diseño en bloques completamente aleatorios, normalidad a través del test de Shapiro y comparación de medias a través de la prueba de Duncan. Software estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento promedio de grano de maíz presentó valores de 6438 kg ha⁻¹ en rotación maíz-maíz y 7414 kg ha⁻¹ en rotación soja-maíz ($P < 0,05$).

Los resultados de N total del suelo no mostraron diferencias estadísticas significativas entre las rotaciones durante todo el ciclo (Cuadro 1).

El rendimiento promedio de grano de maíz en rotación **SM** aumentó y este patrón de respuesta del maíz es acompañado por un mayor contenido significativo de nitrato en el suelo en los estados **R1** y **R6** (Cuadro 1).

En la rotación **SM** no se encontraron efectos de los rastrojos de soja sobre la actividad microbológica y la concentración de carbono mineralizable al momento de la siembra de maíz (**S**), posiblemente debido a un suministro adecuado de N total e hidrolizable de este suelo (Cuadro 2). La entrada en el suelo de materia orgánica vegetal con una mayor proporción C/N en la rotación **MM** determina la eliminación de CO₂ y la

inmovilización neta de N por microorganismos. En este caso, parece ser que los requisitos de los microorganismos podrían haber sido satisfechos por el stock del suelo y por lo tanto no se detectan diferencias en la actividad microbológica inicial (**S**). Algunos autores han encontrado que la tasa de descomposición y la eficiencia de utilización del rastrojo de soja y el rastrojo de maíz sería independiente de su relación C/N en suelos bien proporcionados de N (Bono, *et al.*, 2008). Sin embargo la actividad de proteasa a la siembra (**S**) fue significativamente mayor en la rotación **MM**.

En las parcelas con rotación **SM** se observaron valores de nitrato más altos respecto de la rotación **MM** en los estados **R1** y **R6** (Cuadro 1), sin embargo al momento de la siembra (**S**) dichos valores no diferían significativamente. Este efecto puede ser claramente relacionado con el aumento de la mineralización de carbono y N de las fracciones hidrolizables en los estados **R1** y **R6** (Cuadro 3).

Cuadro 1. Valores de Nitrógeno Total (%), N-nitratos (mg kg⁻¹) y N-amonio (mg kg⁻¹) en el suelo para las rotaciones **M-M** (maíz-maíz) y **S-M** (soja-maíz) en los estados **S** (siembra), **R1** (Ritchie and Hanway, 1982), **R6** (Ritchie and Hanway, 1982) y **B** (barbecho de invierno).

Estado	Nitrógeno Total (%) M-M	Nitrógeno Total (%) S-M
S	0,20 ± 0,010 a	0,18 ± 0,009 a
R1	0,16 ± 0,009 a	0,15 ± 0,007 a
R6	0,15 ± 0,007 a	0,13 ± 0,006 a
B	0,15 ± 0,006 a	0,15 ± 0,008 a
Estado	N-nitratos (mg kg ⁻¹) M-M	N-nitratos (mg kg ⁻¹) S-M
S	67 ± 8,9 a	77 ± 7,8 a
R1	80 ± 10,3 a	98 ± 13,2 b
R6	45 ± 7,9 a	56 ± 9,7 b
B	20 ± 1,8 a	20 ± 2,1 a
Estado	N-amonio (mg kg ⁻¹) M-M	N-amonio (mg kg ⁻¹) S-M
S	5,7 ± 0,74 a	6,9 ± 0,97 a
R1	6,2 ± 0,95 a	5,8 ± 0,94 a
R6	7 ± 1,02 a	6,9 ± 0,78 a
B	2,5 ± 0,45 a	3,2 ± 0,61 b

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre rotaciones para una variable en un mismo estado.

Cuadro 2. Valores de actividad proteasa ($\mu\text{mol tyrosine g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), actividad ureasa ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) y actividad microbiológica ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en el suelo para las rotaciones **M-M** (maíz-maíz) y **S-M** (soja-maíz) en los estados **S** (siembra), **R1** (Ritchie and Hanway, 1982), **R6** (Ritchie and Hanway, 1982) y **B** (barbecho de invierno).

Estado	Actividad proteasa ($\mu\text{mol tyrosine g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) M-M	Actividad proteasa ($\mu\text{mol tyrosine g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) S-M
S	0,48 $\pm$ 0,02 a	0,29 $\pm$ 0,03 b*
R1	0,40 $\pm$ 0,04 a	0,44 $\pm$ 0,03 b
R6	0,43 $\pm$ 0,04 a	0,49 $\pm$ 0,05 b
B	0,30 $\pm$ 0,05 a	0,33 $\pm$ 0,05 a

Estado	Actividad ureasa ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) M-M	Actividad ureasa ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) S-M
S	22 $\pm$ 2,2 a	22 $\pm$ 2,3 a
R1	27 $\pm$ 3,1 a	28 $\pm$ 1,9 a
R6	25 $\pm$ 2,7 a	24 $\pm$ 1,9 a
B	24 $\pm$ 3,5 a	27 $\pm$ 3,7 a

Estado	Actividad microbiológica ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) M-M	Actividad microbiológica ($\mu\text{g NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) S-M
S	4,0 $\pm$ 0,97 a	4,2 $\pm$ 0,91 a
R1	4,0 $\pm$ 0,65 a	4,6 $\pm$ 0,85 b
R6	3,0 $\pm$ 0,43 a	3,8 $\pm$ 0,46 b*
B	1,7 $\pm$ 0,40 a	1,5 $\pm$ 0,38 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre rotaciones para una variable en un mismo estado. Letras distintas y asterisco (*) indican diferencias significativas ($p < 0,01$) entre rotaciones para una variable en un mismo estado.

Cuadro 3. Valores de nitrógeno hidrolizable (mg kg^{-1}) y carbono mineralizable (mg kg^{-1}) en el suelo para las rotaciones **M-M** (maíz-maíz) y **S-M** (soja-maíz) en los estados **S** (siembra), **R1** (Ritchie and Hanway, 1982), **R6** (Ritchie and Hanway, 1982) y **B** (barbecho de invierno).

Estado	Nitrógeno hidrolizable (mg kg^{-1}) M-M	Nitrógeno hidrolizable (mg kg^{-1}) S-M
S	200 $\pm$ 10,40 a	160 $\pm$ 7,40 b
R1	55 $\pm$ 2,70 a	87 $\pm$ 1,10 b*
R6	50 $\pm$ 3,80 a	75 $\pm$ 6,90 b*
B	50 $\pm$ 7,40 a	60 $\pm$ 6,60 a

Estado	Carbono mineralizable (mg kg^{-1}) M-M	Carbono mineralizable (mg kg^{-1}) S-M
S	70 $\pm$ 7,00 a	60 $\pm$ 6,20 a
R1	240 $\pm$ 25,20 a	290 $\pm$ 28,40 b
R6	210 $\pm$ 21,30 a	300 $\pm$ 26,30 b*
B	260 $\pm$ 19,10 a	280 $\pm$ 16,60 a

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre rotaciones para una variable en un mismo estado.

Letras distintas y asterisco (*) indican diferencias significativas ($p < 0,01$) entre rotaciones para una variable en un mismo estado.

Los datos muestran que la rotación **SM** causa en el ciclo de crecimiento del maíz, especialmente en estados **R1** y **R6**, cambios en las formas lábiles de N explicando el aumento en la producción de nitrato. Consecuentemente, los valores de actividad de proteasa y microbiológicos también fueron más altos en los estados **R1** y **R6** (Cuadro 2), observando así el mayor potencial de la mineralización en suelos procedentes de los cultivos de soja a pesar de que no presenten inicialmente una mayor proporción de N total, nitratos o amonio (Cuadro 1).

Coincidiendo con estos resultados otros autores detectaron el efecto positivo observado en el maíz, en rotación **SM**, debido a un mayor reciclado del N acumulado en el rastrojo de soja como consecuencia de una fuente de mineralización superior (Khalila *et al.*, 2005; Hejazi *et al.*, 2010). El contenido de N en el rastrojo de soja es rápidamente mineralizado y queda completamente disponible para el cultivo posterior (Alley, 2007; Hejazi *et al.*, 2010).

Khalila *et al.* (2005), en un trabajo de efecto invernadero, muestran que la adición de rastrojo de soja al suelo provocó un aumento en la disponibilidad de N, siendo este efecto atribuido a una inducción de la mineralización de dicho rastrojo por la estimulación de la actividad microbiana (Khalila *et al.*, 2005).

Algunos autores proponen que la inclusión de la soja en las rotaciones provoca la estimulación de los microorganismos del suelo, el aumento de la mineralización y la absorción de N por parte del cultivo de maíz subsiguiente (Di Ciocco *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2013).

La posibilidad de que el rastrojo de soja provoque cambios en los microorganismos que colonizan la rizósfera de maíz también ha sido propuesto, indicándose que las respuestas observadas en cultivos posteriores a soja se atribuyen a la colonización microbiana peculiar inducida por las leguminosas (Romaniuk *et al.*, 2011).

Salvo en el estado **B** no hubo diferencias significativas en el contenido de amonio entre rotaciones, las mismas presentaron valores bajos que no sobrepasaron los 10 mg kg⁻¹ (Cuadro 1). No se observaron diferencias significativas en la actividad ureasa entre rotaciones en ninguno de los estados.

CONCLUSIONES

En este trabajo se observó una mayor mineralización del rastrojo de soja cuando se incluye a la misma en la rotación con maíz, provocando un aumento en los contenidos de nitratos disponibles durante el ciclo del cultivo aunque inicialmente el suelo no presente mayores proporciones de N total, nitratos o amonio.

BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A.; M. Acosta; L. Oliva and O. Bachmeier. 1990. Dinámica estacional de la microflora en un Haplustol típico de la región semiárida bajo diferentes manejos agrícolas. *Ciencia del Suelo* 8: 31-39. ISSN 0326-3169.
- Álvarez, R. 2005. Carbon stocks in pampas soils: a simple regression model for estimation of carbon storage under non degraded scenarios. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 36: 1583-1589.
- Álvarez, C.R.; A.O. Costantini; A. Bono; M.A. Taboada; F.H. Gutiérrez Boem; P.L. Fernández and P. Prystupa. 2011. Distribution and vertical stratification of carbon and nitrogen in soil under different managements in the Pampean Region of Argentina. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, P 35: 1985-1994. ISSN 0100-0683.
- Alley, M.M.; M. Martz and W. Thomason 2007. Timing of N and P crucial to high corn yields. Inadequate N availability during first six weeks after planting can result in reduced yield potentials. *Issue* 57, Vol.15, No. 3: 20-23.
- Bono, A. and R. Álvarez 2013. Nitrogen mineralization in a coarse soil of the Semiarid Pampas of Argentina under contrasting tillage systems. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59: 259-272.
- Bono, A.; R. Álvarez; D.E. Buschiazzi and R. Cantet 2008. Tillage effects on soil carbon balance in a semiarid agroecosystem. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 1140-1149.

- Bremmer, J.M. 1960. Determination of Nitrogen in soil by the Kjeldahl metod. *J. Arg. Sci.* 55: 1-23.
- Ciarlo, E.; E. Giardina; L. Giuffré and L. García Torres. 2011. Corn-soybean intercropping: temporal and spatial variation of soil properties *Rev. Fac. Agronomía UBA* 31(1-2): 43-52.
- Collino, D.; M. de Luca; A. Peticari; Urquiaga Caballero y R. Racca 2007. Aporte de la FBN a la nutrición de soja y factores que la limitan en diferentes regiones del país. XXIII Reunión Latinoamericana de Rizobiología. Los Cocos, Córdoba, Argentina. 25-29 de marzo de 2007. Libro de Resúmenes.
- Di Ciocco, C.; C.E. Penón; C. Coviella; S. López; M. Díaz Zorita; F. Momo and R. Alvarez 2012. Nitrogen fixation by soybean in the Pampas: relationship between yield and soil nitrogen balance. *Agrochimica* 40: 305-313.
- Di Ciocco, C.; C. Álvarez R. Andrada y F. Momo 2004. Balance de nitrógeno en un cultivo de soja de segunda en la Pampa Ondulada. *Ciencia del Suelo* 22: 48-51 ISSN 0326-3169.
- Di Rienzo, J.A.; F. Casanoves; M.G. Balzarini; L. González; M. Tablada y C.W. Robled. Infostat versión 2010. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Gili, P.; G. Marando, J. Irisarri and M. Sagardoy. 2004. Actividad biológica y enzimática en suelos afectados por sales del Alto Valle de Río Negro y Neuquén *Rev. Argent. Microbiol.* v.36 n.4 C.A.B.A versión On-line ISSN 1851-7617.
- Hejazi, A.; M.J. Bahram and S.A. Kazemeini. 2010. Yield and Components of Irrigate Rapeseed-Wheat Rotation as Influenced by Crop Residues and Nitrogen Levels in a Reduced Tillage Method. *Ameriacn Euraciam J. Agric. & Environ. Sci.* 8(5) ISSN 1818-6769.
- Jenkinson, D.S. and D.S. Powlson. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil bio-mass. *Soil Biol. Biochem.* 8: 209-213.
- Khalila, M.I.; M.B. Hossaina and U. Schmidhalter. 2005. Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1507-1518.
- Kim, H. Tan. 2005. Soil Sampling, Preparation, and Analysis. Books in Soils, Plants, and the Environment ISBN-10: 0849334993 ISBN-13: 978-0849334993 Second Edition.
- Marbán, L. 2004. Extracción y determinación de nitratos. En SAGPyA-SAMLA Soporte CD Rom. ISBN 987-9184-40-8.
- Martínez, J.P.; P.A. Barbieri; H.R. Sainz Rozas and H.E. Echeverría. 2013. Incorporación de cultivos de cobertura previos a soja en el sudeste bonaerense. *Rev. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica IAH* 10. 2013. 17-20.
- Nannipieri, P.; E. Kandeler and P. Ruggiero. 2002. Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. In: R.G. Burns, R.P. Dick (eds) *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications*. 1: 1-33. Marcel Dekker Inc.
- Restovich, S.B.; A.E. Andriulo y C. Améndola. 2011. Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Rev. Ciencia del Suelo* 29(1): 61-73.
- Ritchie, S.W. and J.J. Hanway 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Special Report 48.
- Romaniuk, R.; L. Giuffré; A. Costantini; N. Bartoloni. and P. Nannipieri 2011. A comparison of indexing methods to evaluate soil quality: the role of soil microbiological properties *Soil Research (continuing Australian Journal Soil Research)* 49:733-741. ISSN: 1838-675X.
- Thomsen, I.K.; J.E. Olesen; P. Schjonning; B. Jensen and B.T. Christensen. 2001. Net mineralization of soil N and ¹⁵N-ryegrass residues in differently textured soils of similar mineralogical composition. *Soil Biology & Biochemistry* 33: 277-285.