

# Mineralización de nitrógeno en maíz: Efecto de zona y fecha de siembra

Orcellet, J.M.<sup>1\*</sup>; Reussi Calvo, N.I.<sup>2,3</sup>; Echeverría, H.E.<sup>3</sup>; Sainz Rozas, H.R.<sup>3,4</sup>; Berardo, A.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>INTA Rafaela, <sup>2</sup>Laboratorio de suelos FERTILAB, <sup>3</sup>Unidad Integrada Balcarce, <sup>4</sup>CONICET  
orcellet.juan@inta.gob.ar

## Introducción

El nitrógeno (N) es el nutriente que con mayor frecuencia limita la producción de maíz (*Zea mays*. L) en la región pampeana Argentina (RP), producto de los altos requerimientos y por la disminución en los contenidos de materia orgánica (MO) de los suelos (Sainz Rozas et al., 2011). En la actualidad, los métodos utilizados para el diagnóstico de N en maíz no contemplan en forma directa el aporte realizado por la mineralización, a pesar que dicho proceso contribuye en promedio con 60 % de los requerimientos del cultivo (Steinbach et al., 2004).

Existen numerosos índices (químicos y biológicos) para estimar el aporte de N por mineralización (Griffin, 2008; Schomberg et al., 2009), entre estos se destaca el N incubado en anaerobiosis (Nan) por ser un método simple, preciso y rápido (Keeney, 1982). El Nan consiste en la cuantificación de  $N-NH_4^+$  producido en incubaciones anaeróbicas a 40 °C durante un período de 7 a 14 días. Se ha determinado que el Nan es el mejor método biológico para estimar el aporte de N por mineralización (Bushong et al., 2007, 2008), siendo el mismo sensible a cambios en las prácticas de manejo y uso del suelo (Genovese et al., 2009; Reussi Calvo et al., 2013). Para los cultivos de maíz y trigo, se ha determinado que la incorporación del Nan a los modelos tradicionales de diagnóstico mejora la estimación de las necesidades de N (Sainz Rozas et al., 2008, Reussi Calvo et al., 2013, Reussi Calvo et al., 2014b). Esto indicaría que el Nan es un adecuado estimador de la mineralización, sin embargo, no hay registros de trabajos que evalúen la relación entre el Nan y la mineralización real de N ( $N_{min}$ ) durante el ciclo del cultivo de maíz estimada por el método del balance (Meisinger, 1984).

En la RP el maíz se produce bajo diversas condiciones edafo-climáticas, siendo marcadas las diferencias entre por ejemplo el Sudeste Bonaerense (SEB) y el Norte de la RP (NRP) (Figura 1). Se ha determinado que dichas zonas difieren entre otros factores en el contenido de Nan, siendo el promedio de 70 y 35 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Reussi Calvo et al. 2013 y 2014a), y en la temperatura media (T<sub>m</sub>) siendo esta superior en 6 °C en el NRP para los primeros estadios del cultivo. Además, el efecto de la T<sub>m</sub> puede ser marcado entre diferentes fechas de siembra dentro de una misma zona. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar como varía la  $N_{min}$  y la relación de esta con el Nan para diferentes ambientes de la RP.

Insertar Figura 1

## Materiales y Métodos

Se realizaron 17 experimentos de fertilización en maíz bajo siembra directa en la campaña agrícola 2013 - 2014 en diferentes ambientes de la RP, 7 en el SEB y 10 en el NRP (5 en siembras tempranas y 5 en siembras tardías). Se evaluaron cinco dosis de N, sin embargo en el presente trabajo se utilizó únicamente el tratamiento testigo (0N), el diseño experimental fue en bloques completos aleatorizado con tres repeticiones. Para que el fósforo y el azufre no sean limitantes se aplicó a la siembra una dosis de 30-40 y 20-25 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

En pre-siembra se realizó la determinación de MO, textura, y Nan en el estrato superficial (0-20 cm) y  $N-NO_3^-$  (N inicial) y humedad hasta los 60 cm de profundidad. El contenido de MO se

determinó por el método propuesto por Walkley y Black (1934) y el contenido de humedad por el método gravimétrico. El Nan se determinó mediante el método de incubación anaeróbica (Bremner y Keeney, 1965) propuesto por Gianello y Bremner (1986). La concentración inicial de  $\text{N-NO}_3^-$  se determinó por colorimetría (Kenney y Nelson, 1982). Además, a la cosecha del maíz en los tratamientos 0N se determinó el contenido de  $\text{N-NO}_3^-$  hasta los 60 cm de profundidad (N residual).

A cosecha se evaluó el rendimiento y se expresó al 14,5 % de humedad (Tabla 1). El N absorbido por el tratamiento 0N (Ntpl) se estimó en función del rendimiento (0 % de humedad), N en grano (Ngr) e índice de cosecha de N ( $\text{IC}_\text{N}$ ). El N en planta se determinó por el método de Dumas (Jung et al., 2003) mediante un analizador TruSpec CN (LECO, 2010). La  $\text{N}_{\text{min}}$  se estimó mediante el método del balance:

$$\text{N}_{\text{min}} (\text{kg ha}^{-1}) = \text{Ntpl} (\text{kg ha}^{-1}) + \text{N residual} (\text{kg ha}^{-1}) - \text{N inicial} (\text{kg ha}^{-1})$$

Para comparar las variables edáficas y de cultivo entre zonas y fechas de siembra, se realizaron análisis de la varianza utilizando el procedimiento incluido en las rutinas del programa R commander (R Core Team, 2014). Cuando las diferencias entre tratamientos fueron significativas, se empleó el test de la diferencia mínima significativa (DMS), con un nivel de probabilidad de 5 %. Además, se realizaron análisis de regresiones lineales simples empleando el procedimiento lm (lineal model). Por último, para determinar coincidencia entre modelos de regresión, se utilizaron variables indicadoras (dummy) al 0,05 de probabilidad.

## Resultados y Discusión

El contenido de MO promedio fue de 6,2 y 2,8 % para el SEB y NRP, respectivamente ( $p < 0,05$ ). Los menores niveles de MO en el NRP se explicarían en parte por la prolongada historia agrícola de los suelos, las texturas más gruesas y mayor  $T_m$ , factores que han favorecido balances negativos de carbono (Sainz Rozas et al., 2011). Por otra parte, el contenido promedio de Nan fue de  $71 \text{ mg kg}^{-1}$  (mínimo de 51 y máximo de  $87 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para el SEB y  $29 \text{ mg kg}^{-1}$  (mínimo de 18 y máximo de  $34 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para el NRP. El mayor contenido en el SEB se explicaría en parte a los mayores niveles de MO y arcilla respecto al NRP. Estos valores son similares a los reportados por otros autores (Sainz Rozas et al., 2008; Reussi Calvo et al., 2013; 2014a).

El rendimiento promedio del cultivo de maíz fue de 8847, 8883 y  $11\,890 \text{ kg ha}^{-1}$  para el SEB, maíces tempranos y tardíos del NRP, respectivamente (Figura 2a). El mayor rendimiento obtenido en siembras tardías del NRP se explicaría en parte por las mejores condiciones hídricas. Por otro lado, el contenido promedio de Ngr fue de 1,31, 1,03 y 1,20 % para el SEB, maíces tempranos y tardíos del NRP, respectivamente, siendo significativas ( $p < 0,05$ ) las diferencias entre zonas y fechas de siembra. Por el contrario, para el  $\text{IC}_\text{N}$  no se determinó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre zona siendo el promedio de 71, 69 y 67 %, para el SEB, maíces tempranos y tardíos del NRP, respectivamente, valores similares a los informados por otros autores (Andrade et al., 2000, Ciampitti et al., 2010).

Para el SEB la  $\text{N}_{\text{min}}$  promedio fue de  $87 \text{ kg ha}^{-1}$  con valores que van desde 67 hasta  $117 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 2b). Considerando una eficiencia de absorción del N del sistema del 80 % (Meisinger, 1984), el N mineralizado a nivel de sistema suelo fue de  $109 \text{ kg ha}^{-1}$ , similar a lo reportado por Echeverría y Bergonzi (1995) para un N potencialmente mineralizable ( $\text{N}_0$ ) de  $180 \text{ mg kg}^{-1}$  y 50 % de agua útil. Además, según el modelo desarrollado por Echeverría et al. (2000) este valor

de  $N_0$  representa un valor de  $N_{an}$  de 70 ppm, similar al determinado como promedio en el SEB. En siembras tempranas del NRP la  $N_{min}$  promedio fue de 77 kg ha<sup>-1</sup> (mínimo de 42 y máximo de 98 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 2b), similares a los obtenidos por otros autores (Faccendini et al., 2008). Por último, para maíces tardíos del NRP la  $N_{min}$  promedio fue de 136 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1b), con valores que van desde 111 hasta 171 kg ha<sup>-1</sup>. En general, al comparar maíces de siembra temprana, se asume que los suelos del SEB presentan mayor mineralización de N respecto a los suelos del NRP debido a los mayores contenidos de MO y  $N_{an}$ . No obstante, en el presente trabajo la  $N_{min}$  no difirió entre zonas ( $p < 0,05$ ) (Figura 2b). La mayor  $T_m$  y la textura más gruesa de los suelos del NRP incrementan la tasa de mineralización de N, lo que permitiría compensar la diferencia en el potencial de mineralización ( $N_{an}$ ). Por otra parte, dentro del NRP se determinó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre fechas de siembra. Los mayores valores registrados en siembras tardías se explicarían por la mayor  $T_m$  y disponibilidad hídrica, siendo estos los principales factores que afectan la tasa de mineralización (Quemada y Cabrera, 1997; Zak et al., 1999).

### Insertar Figura 2

En las diferentes zonas y fechas de siembra se determinó estrecha asociación ( $r^2$  desde 0,57 hasta 0,82) entre el  $N_{an}$  y la  $N_{min}$  (Figura 3). Al comparar las pendientes de los modelos se determinó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ) entre el SEB y el NRP (siembras tempranas y tardías) (Figura 3). La menor pendiente de SEB se explicaría en parte por la menor  $T_m$  durante el ciclo del cultivo y textura más fina. Por lo tanto, estos resultados indicarían que no es posible emplear un único modelo para estimar la  $N_{min}$ , en función del  $N_{an}$ . Por otro lado, al comparar las pendientes de los modelos propuestos para el NRP (siembras tempranas y tardías), no se determinó diferencia significativa ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, se determinó que dichos modelos difieren significativamente ( $p < 0,05$ ) en la ordenada al origen, esto se explicaría en parte por la mayor  $T_m$  en los maíces tardíos y mejores condiciones hídricas respecto a tempranos. Esto explicaría la mayor mineralización de N en maíces tardíos respecto a tempranos. Estos resultados demuestran por un lado que el  $N_{an}$  es un buen estimador de la  $N_{min}$ , siendo necesario el empleo de diferentes algoritmos según zonas y fecha de siembra, y por el otro contribuyen a explicar porque la incorporación del  $N_{an}$  a los métodos actuales de diagnóstico de N mejora la estimación de la oferta de N, tal como ha sido reportado en otros trabajos (Sainz Rozas et al., 2008, Reussi Calvo et al., 2013, Reussi Calvo et al., 2014b). *En síntesis y a modo de ejemplo, para obtener una  $N_{min}$  de 100 kg ha<sup>-1</sup> es necesario un valor de  $N_{an}$  en el estrato superficial (0-20 cm) de aproximadamente 80 ppm, 40 ppm y 20 ppm en el SEB, maíces tempranos y tardíos del NRP, respectivamente (Figura 3).*

### Insertar Figura 3

#### Conclusiones

En el presente estudio se determinó una mayor mineralización de N en maíces de siembras tardías del norte de la región pampeana, respecto a siembras tempranas de la misma zona y del sudeste bonaerense. Además, el  $N_{an}$  resultó un adecuado estimador de la mineralización de N en condiciones de campo, siendo necesario el empleo de diferentes algoritmos según zona y fecha de siembra. Por lo tanto, la incorporación del  $N_{an}$  a los métodos tradicionales de diagnóstico de N sería una alternativa promisoriosa para mejorar la estimación de la oferta de N desde el suelo y, por ende, el ajuste de la dosis de fertilizante.

**Agradecimientos**

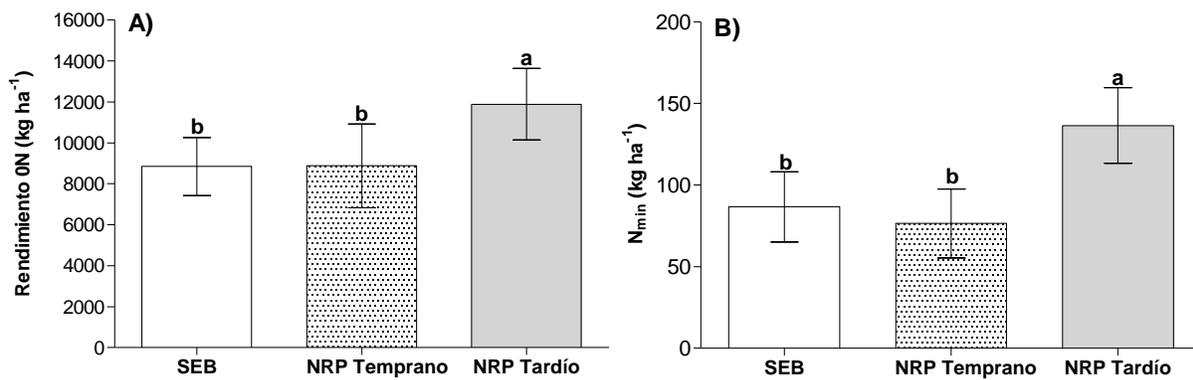
Este estudio fue posible por el apoyo financiero de FERTILAB (Laboratorio de Suelos y Plantas), INTEA S.A. y del Proyecto INTA (PNSUELO-1134024).

**Tabla 1.** Materia orgánica (MO), disponibilidad inicial de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (N inicial), nitrógeno incubado en anaerobiosis (Nan), rendimiento en grano de maíz, nitrógeno en grano (Ngr) y mineralización aparente de N (Nmin) en los sitios del sudeste bonaerense (SEB) y del norte de la región pampeana (NRP) donde se implantó el cultivo de maíz.

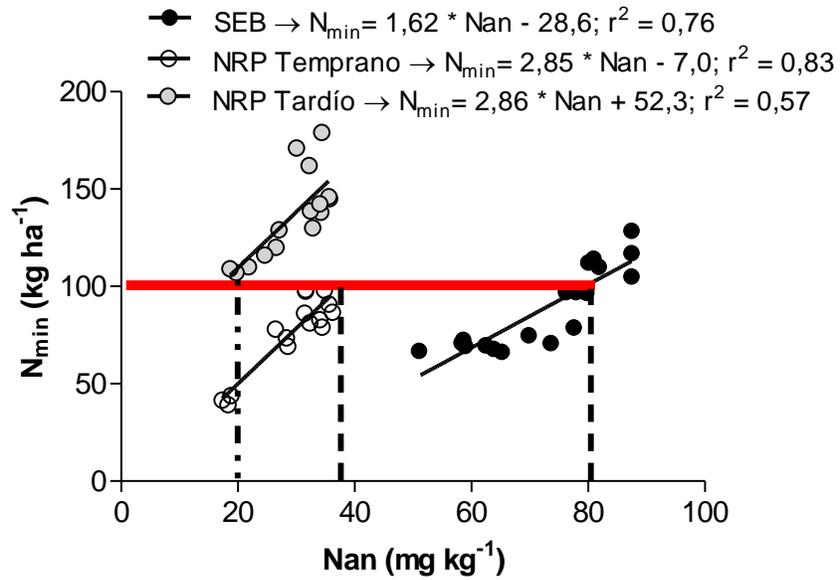
<b>SEB</b>						
<b>Sitio</b>	<b>Suelo</b>			<b>Planta</b>		<b>N<sub>min</sub> (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
	<b>MO (%)</b>	<b>N inicial (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nan (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Ngr (%)</b>	
<b>Sitio 1</b>	6,2	103	59	7750	1,49	71
<b>Sitio 2</b>	6,9	92	74	8045	1,34	75
<b>Sitio 3</b>	5,7	55	64	6860	1,22	68
<b>Sitio 4</b>	5,8	54	81	9226	1,34	112
<b>Sitio 5</b>	6,0	63	87	10589	1,26	117
<b>Sitio 6</b>	7,3	73	78	8857	1,22	97
<b>Sitio 7</b>	5,2	128	51	10602	1,27	67
<b>NRP</b>						
<b>a) Temprano</b>						
<b>Sitio 8</b>	1,5	53	18	5553	1,07	42
<b>Sitio 9</b>	2,2	41	28	8459	1,00	74
<b>Sitio 10</b>	3,2	57	34	9544	1,07	85
<b>Sitio 11</b>	3,0	60	34	10687	0,97	84
<b>Sitio 12</b>	3,1	66	33	10170	1,02	98
<b>b) Tardío</b>						
<b>Sitio 13</b>	3,3	75	34	13205	1,15	138
<b>Sitio 14</b>	2,9	62	34	12865	1,04	142
<b>Sitio 15</b>	2,4	64	25	10420	1,32	120
<b>Sitio 16</b>	2,6	61	21	9610	1,26	111
<b>Sitio 17</b>	3,5	64	32	13343	1,24	171



**Figura 1.** Ubicación de los sitios experimentales del sudeste bonaerense (SEB) y del norte de la región pampeana (NRP).



**Figura 2.** A) Rendimiento del testigo (0N) y B) Mineralización aparente de nitrógeno ( $N_{min}$ ) para el sudeste bonaerense (SEB), maíz temprano (NRP Temprano) y maíz tardío del norte de la región pampeana (NRP Tardío). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticamente significativas con un DMS 5 % de probabilidad. Líneas verticales indican desvío estándar de la media.



**Figura 3.** Mineralización aparente de nitrógeno ( $N_{min}$ ) en función del nitrógeno incubado en anaerobiosis ( $N_{an}$ ) para el sudeste bonaerense (SEB), maíz temprano (NRP Temprano) y maíz tardío del NRP (NRP).

## Bibliografía

- Andrade, F.H., H.E. Echeverría, N.S. Gonzáles, y S.A. Uhart.** 2000. Requerimientos de nutrientes minerales. En: Andrade, F. H.; Sadras, V. O. (eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. INTA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias (UNMP). pp. 207-233
- Bremner, J., y D. Keeney.** 1965. Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Annal. Chem. Acta.* 32: 485-495.
- Bushong, J. T.; Norman, R. J.; Ross, W. J.; Slaton, N. A.; Wilson, C. E.; Gbur, E. E.** 2007. Evaluation of several indices of potentially mineralizable soil nitrogen. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38: 2799–2813.
- Bushong, J. T.; Roberts, T. L.; Ross, W. J.; Norman, R. J.; Slaton, N. A.; Wolson, C.E.** 2008. Evaluation of distillation and diffusion techniques for estimating hydrolyzable amino sugar-nitrogen as a means of predicting nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72: 992–999.
- Ciampitti, I.A., M. Boxler, y F. García.** 2010. Nutrición de Maíz: Requerimientos y Absorción de Nutrientes. *Informaciones agronómicas del Cono Sur* N° 48. pp. 14-18.
- Echeverría, H.E., y R. Bergonzi.** 1995. Estimación de la mineralización de Nitrógeno en suelos del Sudeste Bonaerense, *Boletín técnico* N° 135. ISSN: 0522-054. EEA INTA Balcarce.
- Faccendini, N.R., R. Melchiori, O. Caviglia, y O. Paparotti.** 2008. Evaluación de métodos para estimar la mineralización de nitrógeno a campo. XXI Congreso argentino de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes, San Luis, Argentina. En CD.
- Genovese, M.F., H.E. Echeverría, G.A. Studdert, y H.R. Sainz Rozas.** 2009. Nitrógeno de amino-azúcares en suelo: calibración y relación con el nitrógeno incubado anaeróbico. *Ci. Suelo.* 27(2): 225-236.
- Gianello, C., y J.M. Bremer.** 1986. Comparison of chemical methods of assessing potentially available organic nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17: 215–236.
- Griffin, T.S.** 2008. Nitrogen availability. In: Schepers, J. S.; Raun, W. R. (eds.). *Nitrogen in Agricultural Systems.* Agron. Monogr. 49. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp. 613-646.
- Jung, S., D.A. Rickert, N.A. Deak, E.D. Aldin, J. Recknor, L.A. Johnson, y P.A. Murphy.** 2003. Comparison of Kjeldahl and Dumas methods for determining protein contents of soybean products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 80:1169–1173.
- Keeney, D.R.** 1982. Nitrogen-availability indexes. In: Page, A. L. et al. (eds.). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. pp. 711-733.
- Keeney, D.R., y D.W. Nelson.** 1982. Nitrogen inorganic forms. In: Page, A.L. et al. eds. *Methods of soil analysis. Part 2.* Agron. Monogr 9 ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 643-698
- LECO.** 2010. Organic application notes. [en línea] <<http://www.leco.com/>> [consulta: marzo de 2014].
- Meisinger, J.J.** 1984. Evaluating plant-available nitrogen in soil-crop systems. In: Hauck, R. D. (ed.). *Nitrogen in Crop Production.* pp. 391–441. Amer. Soc. Agron. Madison, WI.
- Quemada, M., y M.L. Cabrera.** 1997. Temperature and water effects on nitrogen mineralization from surface-applied cover crop residues. *Plant and Soil* 189: 127-137.
- R Core Team.** 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [En línea] <<http://www.R-project.org/>>.

- Reussi Calvo, N, M.P. Calandroni, G. Studdert, F. Cabria, N. Diovisalvi, y A. Berardo, A. 2014 a.** Nitrógeno incubado en anaerobiosis y materia orgánica en suelos agrícolas de Buenos Aires. En: XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca. En CD.
- Reussi Calvo, N. I., H. Sainz Rozas, H. Echeverría, y A. Berardo.** 2013. Contribution of anaerobically incubated nitrogen to the diagnosis of nitrogen status in spring wheat. *Agron. J.* 105(2): 321-328.
- Reussi Calvo, N., H.E. Echeverría, H.R. Sainz Rozas, A. Berardo, y N. Diovisalvi. 2014 b.** Can a soil mineralization test improve wheat and corn nitrogen diagnosis?. *Better Crops with Plant Food*, 98(2), 12-14.
- Rice, C.W., y J.L. Havlin.** 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations. In: Havlin, J. L.; Jacobsen, J. S. (eds.) *Soil Testing: Prospects for improving nutritient recommendations*. Spec. Pub. No. 40. SSSA, Madison, WI. pp. 1–13.
- Sainz Rozas, H.R., H.E. Echeverría, y H.P. Angelini.** 2011. Niveles de materia orgánica y de pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana Argentina. *Ciencia del Suelo* 29:29-37.
- Sainz Rozas, H.R., P.A. Calviño, H.E. Echeverría, P.A. Barbieri, y M. Redolati.** 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to the reliability of planning or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agron. J.* 100(4): 1020-1025.
- Schomberg, H. H., S. Wietholter, T.S. Griffin, D.W. Reeves, M.L. Cabrera, D.M. Endale, D.S. Fisher, J.F. Novak, K.S. Balcom, R.L. Raper, N.R. Kitchen, M.A. Locke, K.N. Potter, R.C. Schwartz, C.C. Truman, y D.D. Tyler.** 2009. Assessing indices for predicting potential nitrogen mineralization in soils under different management systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 1575-1586.
- Steinbach, H. S., R. Alvarez, y C. Valente.** 2004. Balance between mineralization and immobilization of nitrogen as affected by soil mineral nitrogen level. *Agrochimica.* 48: 204–212.
- Walkley, A., y I.A. Black.** 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Zak, D.R., W.W. Holmes, N.W Macdonald, y K.S. Pregitzer.** 1999. Soil temperature, matric potential, and the kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 575-584.