

# Mineralización de nitrógeno *in situ* en un cultivo estival: efecto de la humedad edáfica y forma nitrogenada presente

Rollán, A.A., O.A. Bachmeier y R. Sereno

## RESUMEN

Mediante incubaciones *in situ* de muestras de suelo sin disturbar, se estudió el efecto de la forma nitrogenada presente y la humedad edáfica sobre los procesos de mineralización e inmovilización de nitrógeno en un suelo Haplustol éntico del centro de la provincia de Córdoba (Argentina). A lo largo del ciclo de un cultivo de soja (*Glycine max* L. Merr.) se evaluaron las cantidades de nitrato y amonio producidas durante 14 días de incubación, determinándose, paralelamente, la humedad edáfica. Se estableció la existencia de una relación negativa entre el contenido de N mineral inicial (nitrato + amonio) y el producido durante la incubación, cuando el contenido hídrico edáfico no fue limitante para el proceso. Los fenómenos de mineralización e inmovilización se relacionaron estrechamente con el estado energético del agua edáfica: tuvo lugar mineralización cuando el potencial mátrico varió entre -17 y -39 kPa, mientras que a potenciales menores se produjo inmovilización de nitrógeno.

**Palabras clave:** mineralización de nitrógeno, incubación en campo, amonio, nitrato, potencial hídrico.

Rollán, A.A., O.A. Bachmeier y R. Sereno. 1999. *In situ* nitrogen mineralization under a summer crop: effect of soil moisture and chemical form of inorganic nitrogen. Agriscientia XVI: 11-16.

## SUMMARY

The effect of the chemical form of inorganic nitrogen, soil moisture on nitrogen mineralization and immobilization were studied in an Entic Haplustoll in Córdoba, Argentina. Nitrate, ammonium and soil moisture were studied at incubation intervals of 14 days throughout the growth cycle of a soybean crop. A negative relationship between the initial and the final inorganic N contents was found when soil water content was not a limiting factor. Mineralization and immobilization were closely related to the soil water energetic status: mineralization proceeded when the soil water matric potential ranged between -17 and -39 kPa, whereas at lower potential nitrogen immobilization prevailed.

**Key words:** nitrogen mineralization, field incubation, ammonium, nitrate, water potential.

Rollan, A.A., O.A. Bachmeier y R. Sereno. Departamento de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. C.C. 509, 5000 Córdoba, Argentina. E-mail: arollan@arnet.com.ar

## INTRODUCCIÓN

En los agroecosistemas de la zona semiárida central de la provincia de Córdoba, los factores edáficos más limitantes para el desarrollo de la vegetación son la disponibilidad de agua y de nitrógeno mineral. Con relación a este último aspecto, es un hecho reconocido que la adecuada predicción de la capacidad de un suelo para brindar nitrógeno por mineralización de la materia orgánica, contribuye a optimizar la eficiencia del uso del nutriente en diversos sistemas de cultivo (Honeycutt, 1999).

La mayoría de los estudios de mineralización de nitrógeno han sido conducidos mediante la incubación de muestras de suelo en óptimas condiciones de temperatura y humedad (Poovarodom & Tate, 1988; Navarro *et al.*, 1991). La información así obtenida permite determinar importantes parámetros que caracterizan la aptitud potencial de cada suelo para producir nitrógeno mineral: la fracción del nitrógeno orgánico susceptible de ser mineralizada y la constante de velocidad del proceso (Stanford & Smith, 1972; Bachmeier *et al.*, 1993). Sin embargo, para estimar la mineralización en campo es necesario ajustar dichos parámetros a las condiciones edafoclimáticas que se producen en el terreno (Echeverría *et al.*, 1994). Por ello existe en la actualidad un interés creciente en evaluar la producción de nitrógeno *in situ*, mediante métodos de campo que permitan medir el proceso en condiciones ambientales reales (Jarvis *et al.*, 1996). En estas condiciones experimentales debe tenerse en cuenta que la mineralización de nitrógeno en muestras sin disturbar puede ser un proceso espacialmente variable (Zubillaga *et al.*, 1991; Sierra, 1992), ya que existe un efecto de la textura y estructura sobre la mineralización del nutriente (Hassink, 1992). Sumado a esto, Zourarakis (1983) detectó que existe una relación inversa entre el valor inicial de concentración de nitratos y el aumento observado en dicha concentración, por lo cual la forma nitrogenada presente también sería un condicionante del proceso. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue evaluar, mediante incubaciones en campo, la evolución del nitrógeno mineral durante un cultivo estival, a fin de establecer el efecto de la forma nitrogenada presente ( $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ ) y de la humedad edáfica, sobre los procesos de mineralización-inmovilización.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo sobre un suelo Haplustol éntico, mixto, méxico, térmico (USDA Soil Taxonomy), Serie Oncativo, ubicado en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi ( $31^\circ 49' \text{ S}$ ,  $63^\circ 46' \text{ W}$ ), provincia de Córdoba, República Argen-

tina. En la tabla 1 se detallan las principales características analíticas del suelo estudiado.

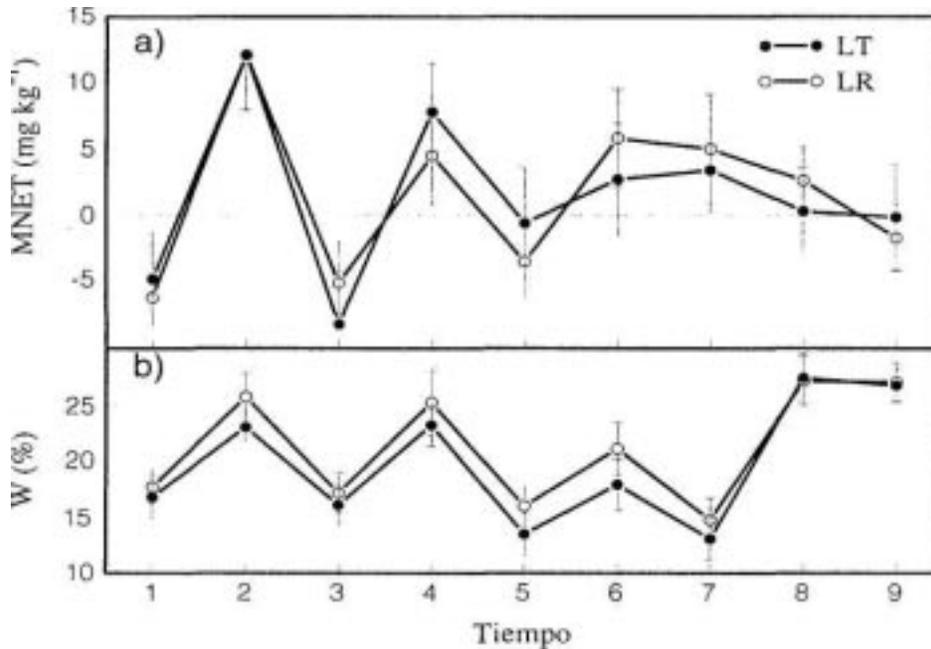
Se trabajó en un ensayo de sistemas de labranza cuyas parcelas, al momento de la experiencia, se hallaban bajo cultivo de soja (*Glycine max* L. Merr.), especie que se alterna anualmente con sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench).

El período de estudio se extendió desde el estado juvenil del cultivo hasta su cosecha, comprendiendo un total de 9 muestreos a intervalos de 14 días (T1 a T9). A fin de obtener situaciones edáficas contrastantes se eligieron las parcelas correspondientes a los tratamientos: a) labranza reducida, que comprende un barbecho químico otoño-invernal (con herbicidas específicos para las malezas de esa época), y b) labranza tradicional, basado en el uso de arado de rejas para llegar a la siembra sin malezas y con un alto grado de refinamiento del suelo. Se seleccionaron 3 parcelas por sistema de labranza; en cada una de ellas ( $250 \text{ m}^2$ ) se establecieron 3 unidades de muestreo equidistantes entre sí y sobre la hilera de plantas, obteniéndose un total de 9 muestras simples, por tratamiento, en cada tiempo de muestreo.

La obtención y tratamiento de las muestras fue similar a la descrita por Mazzarino *et al.* (1991); las muestras fueron extraídas con un tubo de aluminio de 5 cm de diámetro por 15 cm de altura, conser-

**Tabla 1.** Características analíticas del suelo Haplustol éntico, Serie Oncativo, en el ensayo de sistemas de labranza bajo estudio.

Sistema de Labranza	Labranza	Labranza
	Reducida	Tradicional
Profundidad (cm)	0-20	0-20
Densidad Aparente ( $\text{Mg m}^{-3}$ )	1,16	1,18
Capacidad de Campo (%)	23,7	24,1
Capacidad Marchitez Permanente (%)	9,6	9,9
Materia Orgánica ( $\text{g kg}^{-1}$ )	24,2	19,0
Nitrógeno Total ( $\text{g kg}^{-1}$ )	1,3	1,0
Relación C/N	10,8	11,0
Cationes Intercambiables ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ )		
Ca <sup>2+</sup>	13,4	13,2
Mg <sup>2+</sup>	2,8	2,6
Na <sup>+</sup>	0,2	0,2
K <sup>+</sup>	2,1	2,0



**Figura 1.** a) Evolución de la Mineralización Neta (MNET) en los sistemas de labranza reducida (LR) y tradicional (LT); b) evolución de la humedad edáfica (W) en cada tiempo de muestreo (intervalo de tiempo: 14 días). Las barras indican la desviación estándar de la media (N = 9).

vando de esta manera su estructura intacta. La muestra de suelo, confinada dentro del cilindro, fue cubierta por una bolsa de polietileno de 30 mm de espesor y devuelta al sitio de extracción para su incubación en campo durante 14 días. Luego de este período se cuantificó el nitrógeno mineral producido ( $\text{NH}_4^+$  +  $\text{NO}_3^-$ ), al que se identificó como  $\text{NT}_{14}$ .

En sitios contiguos a los puntos de muestreo anteriormente detallados se tomaron muestras de suelo de 0 a 15 cm de profundidad, en las que se analizó el contenido de nitrógeno mineral inicial ( $\text{NH}_4^+$  +  $\text{NO}_3^-$ ), cantidad identificada como  $\text{NT}_0$ . Una porción de la misma muestra se destinó al análisis gravimétrico de la humedad actual (W%). El potencial métrico correspondiente a este contenido hídrico se calculó a partir de la ecuación:  $W\% = \varphi_m/a\varphi_m + b$  (Bachmeier y Buffa, 1988), donde  $\varphi_m$  es el potencial mátrico, a y b: parámetros de ajuste. Los resultados fueron expresados en kPa.

El N mineralizado o inmovilizado en cada intervalo de incubación se definió como la variable Mineralización Neta (MNET), y se calculó a través de la diferencia entre  $\text{NT}_{14}$  y  $\text{NT}_0$ .

Los componentes del nitrógeno mineral se extrajeron con KCl 2M y se cuantificaron por espectrofotometría. Para el  $\text{NO}_3^-$  se empleó el método Griess-Ilsvay modificado y para el  $\text{NH}_4^+$  el método del azul de indofenol (Mulvaney, 1996).

El análisis estadístico comprendió pruebas de normalidad, homogeneidad de varianza y análisis de la varianza de las variables medidas, las que se realizaron con SAS (SAS Institute, Inc., 1989). Las correlaciones entre variables se establecieron mediante coeficientes de Pearson.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variabilidad de las medidas

La figura 1 ilustra la evolución de la Mineralización Neta (MNET) a lo largo del período de estudio para los 2 sistemas de labranza contrastados; también se presentan allí los valores de humedad actual correspondientes a cada intervalo de incubación. Los resultados presentados en la figura corresponden a la media de los datos obtenidos para cada tiempo de incubación; la variabilidad observada en las medidas impidió detectar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de labranza. Los coeficientes de variación de la MNET para los distintos intervalos de medición oscilaron entre el 20 y el 90 %; estos valores coinciden con los señalados por Zubillaga *et al.* (1991) para condiciones edáficas similares. Weinhold & Halvorson (1999) detectaron, trabajando también en Molisoles, que las diferencias entre tratamientos de labranza sólo eran significativas en la capa de 0 a 5 cm de profundidad.

Hassink (1992) demostró la variabilidad espacial de la mineralización de nitrógeno, debido al distinto grado de protección física que brindan los agregados del suelo a la fracción potencialmente mineralizable de nitrógeno. La estructura y la relación entre tamaño de partícula y diámetro de poros son, por lo tanto, extremadamente importantes y tienen influencia en los efectos de las labranzas sobre la mineralización (Jarvis *et al.*, 1996). Para las condiciones de esta experiencia, y al trabajar con muestras sin disturbar, el efecto señalado por Hassink (1992) explicaría la variabilidad observada. Por otra parte, este comportamiento no se debería a la acción de un sólo factor, sino a la interacción de un conjunto de ellos: humedad, temperatura, potencial redox, etc.

### Contenidos de $\text{NO}_3^-$ y $\text{NH}_4^+$ iniciales

En la tabla 2 se presentan los contenidos iniciales de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  para ambos sistemas de labranza en cada período de incubación. En las muestras provenientes de labranza tradicional los contenidos de N- $\text{NO}_3^-$  oscilaron entre 1,3 y 5,8  $\text{mg kg}^{-1}$  y en las de labranza reducida entre 1,5 y 6,5  $\text{mg kg}^{-1}$ . No se observaron cambios temporales significativos ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos analizados, aún en condiciones hídricas limitantes. Bramley & White (1990) explican este hecho considerando que la población de microorganismos nitrificadores es tolerante a los cambios temporales de humedad, siempre que las condiciones limitantes no persistan durante un largo período. Los bajos contenidos iniciales de  $\text{NO}_3^-$  detectados

en las etapas juveniles del cultivo se deberían al consumo por parte de la planta, sumado a las posibles pérdidas por lavado hacia horizontes subsuperficiales, ocasionadas por lluvias previas a la toma de las muestras. Este último efecto se reflejó en los valores de  $\text{NO}_3^-$  registrados en los muestreos iniciales de los tiempos T4 y T6, los que fueron precedidos por lluvias de 42 y 28 mm, respectivamente.

En ambos tratamientos los contenidos iniciales de  $\text{NH}_4^+$  mostraron marcadas fluctuaciones temporales. Los mayores valores se manifestaron en períodos en los que potencial mátrico edáfico estuvo entre -40 y -130 kPa (tabla 2). La disponibilidad hídrica, que puede condicionar la actividad de los microorganismos nitrificadores, no tendría igual incidencia sobre el proceso de amonificación, debido a que éste puede ser llevado a cabo por una mayor diversidad de microorganismos y bajo diferentes condiciones edafo-climáticas (Schmidt, 1982).

A partir de los resultados obtenidos se puede señalar que el contenido inicial de  $\text{NH}_4^+$  fue importante en gran parte de los períodos analizados, indicando la permanente presencia de este intermediario del proceso de mineralización (Jarvis *et al.*, 1996).

### Relación entre la Mineralización Neta y la Humedad Edáfica

Durante los meses de diciembre, enero y febrero (T1 a T5, figura 1) se observó una marcada alternancia de la MNET, la que osciló entre valores positivos y negativos. Los restantes tiempos evaluados

**Tabla 2.** Contenido hídrico (W), Potencial mátrico estimado ( $\varphi_m$ ), y contenidos iniciales de nitratos (N- $\text{NO}_3^-$ ) y amonio (N- $\text{NH}_4^+$ ) para ambos sistemas de labranza, en los sucesivos tiempos de muestreo (T).

T	Labranza Reducida				Labranza Tradicional			
	W %	$\varphi_m$ (kPa)	N- $\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	N- $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	W %	$\varphi_m$ (kPa)	N- $\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	N- $\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
1	17,7	-40,7	6,52	7,11	16,8	-47,6	5,82	6,36
2	25,7	-19,0	6,48	0,17	23,0	-22,8	2,70	0,17
3	17,2	-44,3	5,14	10,7	16,1	-54,6	2,50	3,30
4	25,2	-19,6	1,45	1,69	23,2	-22,4	2,02	2,70
5	16,0	-55,8	1,50	6,40	13,5	-113,1	1,30	6,80
6	21,1	-26,8	2,40	2,00	18,0	-38,9	2,30	1,13
7	14,8	-74,6	2,90	4,60	13,1	-132,3	1,90	4,90
8	27,1	-17,7	6,50	2,60	27,4	-17,4	2,60	3,00
9	27,0	-17,7	2,40	3,10	26,7	-18,0	2,25	3,80

1.  $\varphi_m$  (pF) =  $-0,316/(W^{-1} - 0,178)$ ; los valores estimados, en pF, fueron luego transformados en kPa.

alcanzaron su equilibrio a un bajo nivel de mineralización, entre 0,3 y 5,8 mg kg<sup>-1</sup>.

Es importante señalar la relación entre los fenómenos de mineralización e inmovilización y el contenido hídrico del suelo: cuando la humedad edáfica fue menor a 18-20 % predominaron los procesos de inmovilización (MNET negativa), mientras que a valores superiores se detectó una MNET positiva. Navarro *et al.* (1991) concluyen que existe una relación lineal entre el nitrógeno mineralizado y el contenido de humedad edáfica. El balance positivo en la MNET, asociado a contenidos hídricos crecientes, señala una mayor actividad microbiana cuando existe más agua disponible; este fenómeno tendría lugar hasta que la concentración de oxígeno se vuelve una limitante, como puede observarse en los resultados de T8 y T9, en los que el contenido hídrico estuvo ligeramente por encima del valor de capacidad de campo de este suelo (Dardanelli *et al.*, 1997).

Poovarodom & Tate (1988), evaluando la mineralización potencial, indican que las condiciones óptimas se alcanzan con un potencial hídrico comprendido entre -10 y -30 kPa; superados estos valores, se produce una significativa disminución en la tasa de mineralización, sumado a que, cuando el contenido hídrico se halla por debajo del óptimo, es posible observar acumulación de amonio por disminución en la actividad de los microorganismos nitrificadores. En esta experiencia, la MNET fue positiva en aquellos períodos en los que el potencial hídrico edáfico osciló entre -17 y -39 kPa, con la única excepción del Tiempo 7 (figura 1). Los valores observados se hallan próximos al rango señalado como óptimo, mientras que en los tiempos de inmovilización neta (T1, T3 y T5) el potencial métrico fue inferior, alcanzando valores de -41 a -113 kPa (tabla 2). A partir de ello, es posible inferir que las condiciones hídricas iniciales limitaron el proceso de mineralización durante los períodos de incubación señalados. Observaciones similares reportó Honeycutt (1999) trabajando en un suelo de granulometría más gruesa, en el que el rango de potenciales hídricos adecuados para la mineralización era más estrecho.

En el Tiempo 7, y en ambos tratamientos, se registró el menor contenido hídrico del período de estudio (13 a 15 %). En este caso, tanto en el tiempo inicial como final, el amonio fue la forma inorgánica de N detectada en mayor proporción, sugiriendo que se produjo una acumulación de amonio durante la incubación *in situ*, cuando el contenido hídrico estuvo lo suficientemente por debajo del óptimo como para inhibir la nitrificación, aunque no la amonificación. Resultados similares de acumulación de amonio en períodos secos fueron reportados en estudios de mineralización *in situ* en el Chaco Árido de Llanura (Mazzarino *et al.*, 1991) y en el nordeste de

Patagonia (Mazzarino *et al.*, 1998), predominando, en cambio, el nitrato cuando se supera cierto valor umbral de humedad edáfica.

### Efecto de la forma nitrogenada presente sobre la Mineralización Neta

Dada la falta de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de labranza evaluados, el análisis estadístico se realizó sobre el total de datos obtenidos (N = 323). Se planteó una correlación lineal simple para evaluar las relaciones entre las siguientes variables: contenido inicial de nitratos (NO<sub>3</sub>T<sub>0</sub>), contenido inicial de amonio (NH<sub>4</sub>T<sub>0</sub>), nitrógeno mineral inicial (NT<sub>0</sub>), NO<sub>3</sub> producido durante la incubación (DIF-N), y MNET.

La correlación lineal simple entre NO<sub>3</sub>T<sub>0</sub> y la DIF-N presentó un R = -0,58 (p < 0,01), en coincidencia con lo hallado por Zourarakis (1983) en Argiudoles de la Pampa Húmeda. Este comportamiento no tiene una clara explicación, y podría suponerse que la presencia de un alto contenido de nitratos al iniciar el período de incubación disminuye la actividad de los microorganismos nitrificadores, hecho que Sierra (1992) atribuye en forma genérica a un mecanismo de retroalimentación. En esta experiencia, la MNET se correlacionó negativamente con NH<sub>4</sub>T<sub>0</sub> (R = -0,68, P < 0,001), de manera tal que la presencia de la forma amoniacal del nitrógeno mineral también contribuyó al efecto señalado por este autor, reforzando la hipótesis de retroalimentación, sumando su efecto al contenido inicial de nitratos. Por otra parte, Gilmour (1984) concluye que la reacción de transformación microbiana de amonio a nitrato sigue una cinética de orden cero, lo que la hace independiente de la concentración de amonio.

Coherentemente, cuando la correlación se realizó entre NT<sub>0</sub> y MNET se observó un valor de R = -0,72 (p < 0,001). Este comportamiento concuerda con lo hallado por Sierra (1992), quien sugiere que el mecanismo de retroalimentación propuesto estaría gobernado por el contenido de N mineral disponible en micrositios intraagregados, determinado, en gran medida, por las condiciones ambientales que regulan la actividad microbiana.

La interrelación entre variables, analizada por medio de correlación múltiple, permitió observar que la MNET se explica en un 67 % (p < 0,001) a través de un modelo que involucra NO<sub>3</sub>T<sub>0</sub>, NH<sub>4</sub>T<sub>0</sub>, y el Potencial hídrico edáfico (φ<sub>m</sub>):

$$\text{MNET} = 4,65 - 0,77 \text{ NO}_3\text{T}_0 + 0,092 \phi_m - 0,019 (\phi_m \cdot \text{NH}_4\text{T}_0)$$

el que sintetiza el efecto de variables indicativas de fertilidad edáfica actual (nitratos y amonio), y una va-

riable ambiental (potencial hídrico), sobre la capacidad del suelo estudiado para producir nitrógeno mineral en condiciones de campo.

## CONCLUSIONES

En los suelos Haplustol éntico franco limosos de zonas semiáridas, en condiciones de campo y en la época estival, el contenido de nitrógeno mineral inicial ( $\text{NH}_4^+$  +  $\text{NO}_3^-$ ) afecta negativamente la producción del nutriente por mineralización; el efecto negativo es más destacado cuando el amonio es la forma inorgánica de N presente en mayor proporción.

Bajo las condiciones del estudio, las condiciones edáficas determinadas por los sistemas de labranza no tienen influencia en la mineralización de nitrógeno *in situ*.

Por otra parte, el estado energético del agua edáfica es un parámetro adecuado para explicar la alternancia de períodos de mineralización o inmovilización de nitrógeno, predominando este último proceso a potenciales mátricos inferiores a -40 kPa.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con apoyo económico del Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Provincia de Córdoba (CONICOR), de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba, y contó con la ayuda, en su etapa de muestreo, de la Sección Suelos de la E.E.A. INTA Manfredi.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bachmeier, O.A. y E.V. Buffa, 1988. Una función de ajuste para la curva característica de humedad de un suelo de la región central de Córdoba. Actas del XII Congreso Argentino Ciencia del Suelo. A.A.C.S., Corrientes, Argentina, pp. 150.
- Bachmeier, O.A., A.A. Rollan, F. Núñez Vázquez y H.P. Salas, 1993. Mineralización potencial de nitrógeno. Efecto de la materia orgánica, N total y densidad aparente. Actas del XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. A.A.C.S., Mendoza, Argentina, pp.169-170.
- Bramley, R.G.V. and R. E. White, 1990. The variability of nitrifying activity in field soils. *Plant and Soil*, 126: 203-208.
- Dardanelli, J.L., O.A. Bachmeier, R. Sereno y R. Gil, 1997. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. *Field Crops Research*, 54: 29-38.
- Echeverría, H., R. Bergonzi y J. Ferrari, 1994. Un modelo para estimar la mineralización de nitrógeno en suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 12(2): 56-62.
- Gilmour, J.T., 1984. The effects of soil properties on nitrification and nitrification inhibition. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1262-1266.
- Hassink, J., 1992. Effects of soil texture and structure on carbon and nitrogen mineralization in grassland soils. *Biology and Fertility of Soils*, 14: 126-134.
- Honeycutt, C.W., 1999. Nitrogen mineralization from soil organic matter and crop residues: field validation of laboratory predictions. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 134-141.
- Jarvis S.C., E.A. Stockdale, M.A. Shepherd and D. S. Powlson, 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. *Advances in Agronomy*, 57: 187-235.
- Mazzarino, M.J., L. Oliva, A. Núñez, G. Núñez and E.V. Buffa, 1991. Nitrogen mineralization and soil fertility in the Dry Chaco ecosystem (Argentina). *Soil Science Society of America Journal*, 55: 515-522.
- Mazzarino, M.J., M.B. Bertiller, C. Sain, P. Satti and F. Coronatto, 1998. Soil nitrogen dynamics in northeastern Patagonia steppe under different precipitation regimes. *Plant and Soil*, 202(1): 125-131.
- Mulvaney, R.L., 1996. Nitrogen - Inorganic Forms. In: D.L. Sparks (Editor), *Methods of Soil Analysis. Part 3 - Chemical Methods. Book Series #5, ASA, SSSA, CSSA, Madison WI*. pp. 1123-1184.
- Navarro C, H. Echeverría, M. Fonalleras y F. Manavella, 1991. Efecto de los contenidos de humedad sobre la mineralización del nitrógeno en suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 9 (1-2):13-19.
- Poovarodom, S. and R.L. Tate, 1988. Nitrogen mineralization rates of the Acidic, Xeric soils of the New Jersey pinehills: Laboratory studies. *Soil Science*, 145: 337-344.
- SAS Institute, 1989. *SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 6.03. Cary, N.C. USA.*
- Sierra, J., 1992. Relationship between mineral-N content and N-mineralization rate in disturbed and undisturbed samples incubated under field and laboratory. *Australian Journal of Soil Research*, 30: 477-492.
- Schmidt, E.L., 1982. Nitrification in soil. In: F.J. Stevenson (Ed.) *Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy series N° 22, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI*. pp. 253-288.
- Stanford, G. and J.S. Smith, 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36: 465-477.
- Wienhold, B.J. and A.D. Halvorson, 1999. Nitrogen mineralization responses to cropping, tillage, and nitrogen rate in the Northern Great Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 192-196.
- Zourarakis, D., 1983. Evolución del nitrato en un Argiudol bajo cultivo de maíz. *Ciencia del Suelo*, 1(1): 53-63.
- Zubillaga, M.M., J. Sierra y L. Barberis, 1991. Nitratos en un suelo cultivado con trigo: Variabilidad espacial e influencia del cultivo antecesor. *Turrialba*, 41(2): 217-222.