

EFFECTO DEL CONTENIDO DE AGUA EN LA MINERALIZACIÓN BRUTA E INMOVILIZACIÓN DE NITRÓGENO

Effect of water content on nitrogen gross mineralization and immobilization

Ximena Videla¹*, Ana María Parada¹, Adriana Nario¹, Inés Pino¹, Rebecca Hood²

ABSTRACT

The decomposition of organic matter in soil, and the accompanying mineralization and immobilization of inorganic N, are key processes in the soil-plant cycle. It is hypothesized that moisture regime may also play an important role on these processes. Two laboratory studies were carried out to investigate the effect of moisture regime on gross mineralization and immobilization of N, in an Ultisol soil, which was incubated at 25°C, under two moisture regimes, field capacity (CC) (40% w/w) and 85% of field capacity (34% w/w). Using mirror image ¹⁵N isotope dilution techniques, it was possible to determine gross nitrification and mineralization rates. The rates of gross mineralization and nitrification were greater with 85% CC, and the direct nitrification rate in this soil was extremely rapid and efficient, specially with 85% CC. The immobilization and the amount of the biomass were greater at CC. The N transformations varied with moisture regime.

Key words: N mineralization, mirror image, ¹⁵N.

RESUMEN

La descomposición de la materia orgánica en el suelo, asociada a la dinámica de mineralización e inmovilización del N, son procesos claves en el sistema suelo-planta. Hipotéticamente el régimen de humedad tiene una influencia significativa sobre estos procesos. Para estudiar el efecto del contenido de humedad sobre la mineralización e inmovilización del N, se realizaron dos ensayos de laboratorio en un suelo Ultisol, que se incubó a 25°C con dos regímenes de humedad, a capacidad de campo (CC) (40% p/p) y a 85% de CC (34% p/p). Usando la técnica de dilución isotópica ¹⁵N y procedimientos de imagen de espejo, se determinó la tasa bruta de mineralización y nitrificación, tanto como la inmovilización del N. Las tasas de mineralización y nitrificación bruta fueron mayores a 85% CC, las tasas de nitrificación directa en este suelo fueron extremadamente rápidas y eficientes en especial a 85% CC. La inmovilización y la cantidad de biomasa fueron mayores a CC. Las transformaciones de N variaron con el régimen de humedad.

Palabras clave: mineralización de N, imagen de espejo, ¹⁵N.

Proyecto Cooperación Técnica OIEA/CCHEN/INIA CHI/5/021. Presentado en el 9° Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.

¹ Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), Casilla 188-D, Santiago, Chile.

E-mail: xvidela@cchen.cl *Autor para correspondencia.

² Soil Science Unit, FAO/International Atomic Energy Agency Laboratories, A-2444 Seibersdorf, Austria.

Recibido: 08 de octubre de 2003. Aceptado: 16 de abril de 2004.

INTRODUCCIÓN

La descomposición de la materia orgánica en el suelo, y la mineralización e inmovilización asociada al N inorgánico, son procesos claves en el ciclo del N en el sistema suelo-planta, teniendo el contenido de humedad en el suelo un rol importante en estos procesos. Usando la técnica de dilución isotópica ^{15}N y procedimientos de imagen de espejo, es posible determinar la tasa bruta de mineralización y nitrificación, tanto como la inmovilización del N (Watkins y Barraclough, 1996).

En la proyección del manejo de la nutrición vegetal en sistemas de producción, se ha utilizado principalmente el concepto de la necesidad de la planta para la obtención de rendimientos máximos en conjunto con el balance del N mineral agregado al suelo y del N presente en el suelo, más aquél provisto por la mineralización de la materia orgánica (Delphin, 2000). Sin embargo, el destino que el N-fertilizante experimenta en el sistema suelo-planta y el concepto de residualidad del mismo, a través de los procesos de mineralización-inmovilización del N del suelo, no ha sido utilizado ampliamente debido a la falta de estudios con metodologías adecuadas (Carpenter-Boggs *et al.*, 2000).

La capacidad de los suelos para liberar N depende principalmente de la materia orgánica nativa del suelo, cantidad y calidad de residuos orgánicos incorporados al suelo, y factores ambientales como humedad, temperatura, aireación y pH. El régimen de humedad tiene una influencia significativa sobre los procesos de mineralización e inmovilización, y la mineralización neta aumenta con una mejor aireación (Khalil *et al.*, 2001).

El objetivo de este estudio fue determinar la influencia del régimen de humedad sobre los procesos de mineralización e inmovilización del N, usando la técnica de dilución isotópica de ^{15}N -imagen de espejo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La mineralización bruta, nitrificación e inmovilización (MIT) (Barraclough, 1997) se miden usando la técnica de dilución isotópica de ^{15}N -imagen de espejo. El principio de esta técnica es que los tratamientos son idénticos en todo, pero el

suelo es inyectado con ^{15}N en forma de amonio o de nitrato, lo que permite determinar simultáneamente la mineralización y nitrificación.

En los laboratorios de la Sección Agricultura de la Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago, Chile, se realizó un estudio con muestras de suelo tomadas el año 2001 en la localidad Pumalal (38°75' lat. S, 73°10' long. O), ubicada en la IX Región, Chile; el suelo corresponde a la serie Metrenco, miembro de la familia fina, mixta, mésica de los Typic Paleudults (Ultisol) (CIREN, 2002) (Cuadro 1). Las muestras de suelo se tomaron en la estrata superficial (0-5 cm de profundidad) y se tamizaron a 2 mm.

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo serie Metrenco (Ultisol).

Table 1. Chemical properties of the Metrenco series soil (Ultisol).

Suelo	Ultisol
pH H ₂ O	5,2
N mineral, mg kg ⁻¹ de suelo	51,6
N total, %	0,45
K intercambiable, cmol + kg ⁻¹	0,38
Materia orgánica, %	9,0
CICE, cmol + kg ⁻¹	7,0

CICE: capacidad de intercambio catiónico.

Se realizaron dos ensayos para cuantificar la MIT, con diferente contenido de humedad: 85% de capacidad de campo (85% CC) (34% p/p) y a capacidad de campo (CC) (40% p/p). Para cada ensayo se utilizaron 16 columnas de PVC con 200 g de suelo, en su base las columnas tenían una malla permeable al agua, las muestras se humedecieron con agua calidad Milli-Q para lograr la humedad necesaria. Las columnas se taparon con parafilm, al que se le hicieron pequeños orificios para permitir el equilibrio gaseoso con el medio ambiente. Las muestras se incubaron durante dos días a 25°C. Para cada ensayo se trabajó con dos tratamientos: tratamiento 1 (T1): el suelo se inyectó con ^{15}N ($^{15}\text{NH}_4$)₂SO₄ (5% atom.exc ^{15}N) + KNO₃ (ocho columnas) y tratamiento 2 (T2): el suelo se inyectó con K $^{15}\text{NO}_3$ + (NH₄)₂SO₄ (5% atom.exc ^{15}N) (ocho columnas). A las 24 y 72 h después de la inyección, se tomó una submuestra de 40 g de suelo por cada columna (ocho columnas de cada ensayo, cuatro del T1 y cuatro del T2) y se determinó el contenido de humedad (105°C), de las mismas columnas en que se tomó una submuestra para humedad.

Se tomó otra submuestra de suelo de 40 g por cada columna, en la que se realizó la extracción de NH_4^+ y NO_3^- agitando 40 g de suelo fresco, con 200 mL de KCl 1 M por 1 h y posterior filtración. El NH_4^+ y NO_3^- en los extractos de suelo se analizaron usando inyección de flujo (FIA) (FIASSTAR 5000, Foss Tecator AB, Höganäs, Suiza). Los extractos de suelo se prepararon por microdifusión (Sorensen y Jensen, 1991), y posteriormente se disolvieron con agua en un baño de ultrasonido para analizar ^{15}N , y la relación isotópica $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ se analizó por espectroscopía de emisión óptica (NOI6-e-PC, ^{15}N Analyzer System, Berlín, Alemania).

La inmovilización de N se determinó por la aproximación del N residual. El suelo remanente después de la extracción con KCl, se extrajo (por tres veces) con KCl, se centrifugó y secó a 70°C por 24 h, se molió a consistencia de polvo. Las muestras de suelo se analizaron por Kjeldahl para ^{14}N (Sadzawka, 1990) y por espectroscopía de emisión óptica para ^{15}N (Faust *et al.*, 1987).

La determinación del N en la biomasa se realizó usando el método de la fumigación con cloroformo y posterior extracción: NH_4^+ y NO_3^- se extrajeron desde el suelo con KCl 1 M (1:5, suelo: KCl) y se filtraron al vacío. El suelo húmedo remanente obtenido, se fumigó con cloroformo e incubó por 24 h, luego el suelo se extrajo con 200 mL de K_2SO_4 0,5 M; 25 mL de los extractos de K_2SO_4 se digirieron con persulfato, en un autoclave por 1 h a 120°C (Widmer *et al.*, 1993).

La determinación del contenido de N- NO_3 en los extractos se realizó usando FIA, 40 mL de estos extractos de la digestión con persulfato se prepararon por microdifusión y posterior disolución, para analizar ^{15}N por espectroscopía de emisión óptica.

La nitrificación directa se calculó de los resultados de $^{15}\text{NO}_3$ obtenidos en el tratamiento en que se inyectó $^{15}\text{NH}_4$. Los cálculos de mineralización bruta se hicieron usando la ecuación de Barraclough *et al.* (1985).

$$At^* = \frac{A^*_0}{\left(1 + \frac{\theta * t}{N_0}\right)^{(m/\theta)}} \quad (1)$$

donde:

A^*_0 = % atom. exc.; $t = t$; $A^*_0 =$ % atom. exc. $t = 0$;
 t = tiempo; $\theta = (N_t - N_0)/t$; m = tasa de mineralización; N_0 = tamaño del pool de amonio a $t = 0$.

El diseño experimental fue completamente al azar, todos los resultados se analizaron usando ANDEVA de un factor, para $P < 0,05$ indicando diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración inicial de nitrato en el suelo antes de la inyección fue de 36,7 mg N kg^{-1} de suelo, siendo la concentración inicial de amonio de 14,9 mg N kg^{-1} de suelo.

La tasa de mineralización bruta fue relativamente baja en el ensayo a CC, alrededor de un 34% de la mineralización encontrada con 85% CC (Figura 1). Algunos investigadores han descrito que el contenido óptimo de humedad para la mineralización es 75% de la CC (González *et al.*, 1995). La tasa de nitrificación bruta fue aparentemente muy alta en el ensayo con 85% CC, siendo un 88% menor en el ensayo a CC, lo que equivale a 25,4 y 5,64 kg N por $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$, respectivamente (Figura 1). Esta tendencia del nitrato a disminuir en el ensayo con mayor contenido de humedad concuerda con Breuer *et al.* (2002), quienes reportaron que la nitrificación bruta está negativamente correlacionada con el aumento de la tasa de espacio de poros llenos de agua, es decir los microorganismos que participan en la oxidación del N-amoniaco hasta producción de N-nítrico, son principalmente bacterias autotróficas, nitrosomas y nitrobacter, ambas aeróbicas y presentan su mayor actividad en condiciones aeróbicas, siendo la temperatura óptima para la nitrificación en los suelos entre 25 y 35°C. La nitrificación es controlada principalmente por la concentración de amonio y oxígeno, el oxígeno suministrado es moderado por la humedad del suelo (Mosier y Schimel, 1993).

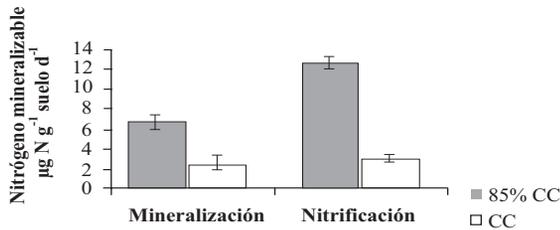


Figura 1. Mineralización y nitrificación bruta con dos regímenes de humedad.

Figure 1. Gross mineralization and nitrification with two moisture regimes.

CC: régimen de humedad a capacidad de campo (40% p/p).

85% CC: régimen de humedad a 85% de capacidad de campo (34% p/p).

Barras verticales representan error estándar, $n = 4$.

La tasa de nitrificación directa en el ensayo con 85% CC a las 72 h fue un 36% menor que a las 24 h, esto puede reflejar la disminución del tamaño del pool de amonio disponible para la nitrificación (Videla y Hood, 2002). En el ensayo a CC a las 72 h fue levemente más alta que a las 24 h, lo que indica tasas de nitrificación extremadamente rápidas y eficientes en este suelo, que correspondería al comportamiento de suelos ácidos (pH 5,2) como lo describe Tietema *et al.*, 1992 (Figura 2).

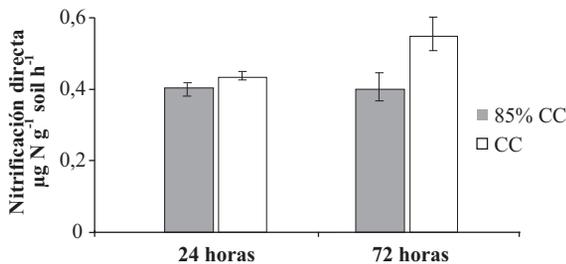


Figura 2. Tasas de nitrificación directa por hora después de 24 y 72 h.

Figure 2. Hourly rate of direct nitrification after 24 and 72 h.

CC: régimen de humedad a capacidad de campo (40% p/p).

85% CC: régimen de humedad a 85% de capacidad de campo (34% p/p).

Barras verticales representan error estándar, $n = 4$.

La inmovilización determinada por aproximación del N residual fue relativamente alta en el ensayo a CC, siendo a las 24 h un 80% menor que a las 72 h; en el ensayo con 85% CC no hubo diferencias entre las 24 y 72 h (Figura 3). Mientras que la cantidad de N en la biomasa microbiana en el suelo, en el ensayo a CC y en el ensayo con 85% CC fue de 5 y 2 $\mu\text{g N g}^{-1} \text{ suelo}$, a las 24 y 72 h, respectivamente, esto podría indicar una intensa denitrificación y/o inmovilización dependiendo de las comunidades microbianas y su actividad (Khalil *et al.*, 2001); la cual se ve incrementada por un aumento importante en el contenido de humedad de los suelos (Agrella *et al.*, 2000).

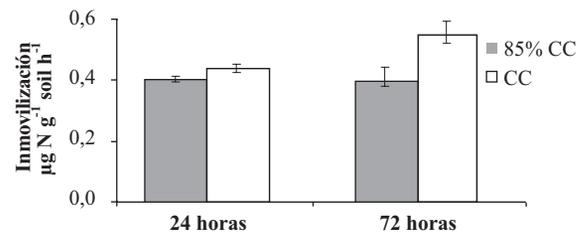


Figura 3. Inmovilización de N después de 24 y 72 h.

Figure 3. Immobilization of N after 24 and 72 h.

CC: régimen de humedad a capacidad de campo (40% p/p).

85% CC: régimen de humedad a 85% de capacidad de campo (34% p/p).

Barras verticales representan error estándar, $n = 4$.

CONCLUSIONES

Las tasas de mineralización y nitrificación brutas fueron más altas en el ensayo a 85% de la capacidad de campo. En tanto, las tasas de nitrificación directa fueron altas con los dos regímenes de humedad, demostrando una nitrificación directa muy rápida, comportamiento característico de suelos ácidos.

La inmovilización de N y la cantidad de N en la biomasa microbiana del suelo fueron más altas en el ensayo a capacidad de campo.

Se puede concluir que las transformaciones de N evaluadas son altamente dependientes del contenido de humedad en el suelo.

LITERATURA CITADA

- Agrella, K., P. Boeckx, S.A. Claassens, and O. Van Cleemput. 2000. Immobilisation in a sandy clay loam soil of Pretoria (South Africa). *In* K. Vlassak., G.A. Agengab, O. Van Cleemput (eds.) Nitrogen dynamics in intensive and extensive agriculture. Gepubliceerd door Laboratorium voor Bodermvuchtbaarheid en Bodembioogie, Leuven, Belgium.
- Barracough, D. 1997. The direct or MIT route for nitrogen immobilization: a ^{15}N mirror image study with leucine and glycine. *Soil Biol. Biochem.* 29(1):101-108.
- Barracough, D., E.L. Geens, G.P. Davies, and J.M. Maggs. 1985. Fate of fertilizer nitrogen. III. The use of single and double labelled ^{15}N ammonium nitrate to study N uptake by ryegrass. *J. Soil Sci.* 36:593-603.
- Breuer, L., R. Kiese, and K. Butterbach-Bahl. 2002. Temperature and moisture effects on nitrification rates in tropical rain-forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:834-844.
- Carpenter-Boggs, L., J.L. Pikul, M.F. Vigil, and W.E. Riedell. 2000. Soil nitrogen mineralization influenced by crop rotation and nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2038-2045.
- CIREN. 2002. Descripciones de suelos. Materiales y símbolos. Estudio agrológico IX Región. Publicación CIREN Nº 122. 360 p. CIREN, Santiago, Chile.
- Delphin, J.E. 2000. Estimation of nitrogen mineralization in the field from an incubation test and from soil analysis. *Agronomie (Paris)* 20(4):349-361.
- Faust, H., J.A. Sebastianelli, y H. Axmann. 1987. Manual de laboratorio; métodos para el análisis de ^{15}N . Curso interregional de entrenamiento sobre el uso de ^{15}N en ciencias de suelos, nutrición vegetal y biotecnología agrícola. FAO/OIEA, Leipzig, Alemania.
- González, P., M. Carballas, and M.C. Villar. 1995. Organic nitrogen mineralization in temperate humid-zone soils after two and six weeks of aerobic incubation. *Biol. Fert. Soils* 20:235-242.
- Khalil, M.I., O. Van Cleemput, P. Boeckx, and A.B. Rosenani. 2001. Nitrogen transformations and emission of greenhouse gases from three acid soils of humid tropics amended with N sources and moisture regime. I. Nitrogen transformations. *Soil Sci. Plant Analysis* 32(17-18):2893-2907.
- Mosier, A.R., and D.S. Schimel. 1993. Nitrification and denitrification. p.181-191. *In* Nitrogen isotope techniques. Academic Press, California, USA.
- Sadzawka, A. 1990. Métodos de análisis de suelos. Serie La Platina Nº16. p. 20-22. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Sorensen, P., and E.S. Jensen. 1991. Sequential diffusion of ammonium and nitrate from soil extracts to a polytetrafluoroethylene trap for ^{15}N determination. *Anal. Chim. Acta* 252:201-203.
- Tietema, A., B. Warmerdam, E. Lenting, and L. Riemer. 1992. Abiotic factors regulating nitrogen transformations in the organic layer of acid forest soils: moisture and pH. *Plant Soil* 147:69-78.
- Videla, X., and R. Hood. 2002. The effect of polyphenols on gross mineralization and nitrification. *Rev. Ciencia del Suelo y Nutr. Veg.* 2(1):1-6.
- Watkins, N., and D. Barracough. 1996. Gross rates of N mineralization associated with the decomposition of plant residues. *Soil Biol. Biochem.* 28:169-175.
- Widmer, P., P.C. Brookes, and D.S. Jenkinson. 1993. Microbial biomass nitrogen measurements in soils containing large amounts of inorganic N. *Soil Biol. Biochem.* 21:835-847.