

Efecto del uso de residuos orgánicos y fertilización sobre el comportamiento del nitrógeno mineral en el suelo

Carmen Rivero*; Alexis Torres;
Jessica Ampueda***

ABSTRACT

The importance of the N contained in organic residues management, as consequence of the pattern of liberation of the element during the process of its mineralization in the soil, an experience was carried out with the aim of evaluating the effect of organic residues incorporation alone or in combination with chemical fertilizers, on the mineral nitrogen in the soil. An incubation experience with two soils coming from agricultural areas of Venezuela, El Sombrero, Guárico state and Turén, Portuguesa state was carried out. Eight treatments were applied: without residues and fertilizers (T); addition of 10 Mgha⁻¹ of crotalaria juncea (C); addition of 10 Mgha⁻¹ of sorghum bicolor (S); addition of 5 Mgha⁻¹ of crotalaria + 5 Mgha⁻¹ of sorghum (CS); addition of 10 Mgha⁻¹ of crotalaria + fertilizer (CF); addition of 10 Mgha⁻¹ of sorghum + fertilizer (SF); addition of 5 Mgha⁻¹ of crotalaria + 5 Mgha⁻¹ of sorghum + fertilizer (CSF); addition of fertilizer (F). The total nitrogen (NT) and mineral nitrogen (N-NO₃ and N-NH₄) was measured. It was also calculated the accumulated mineralization (MA), net mineralization (MN) and relative mineralization index (IMR). The results indicated that crotalaria did not show a considerably more speedy degradation with relationship to the sorghum, possibly this is a consequence of its biggest lignin content. On the other hand, sorghum showed the biggest immobilization levels. The effect of the fertilizer depended on the soil type and possibly of its interaction with characteristic of the residues incorporated.

Key Words: Crotalaria, fertilization, mineralization, residues, sorghum.

Aceptado: 2006

* Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV, Venezuela
(E-mail: criver@cantv.net)

** Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos, UNESR, Venezuela

COMPENDIO

Debido a la importancia del manejo del nitrógeno (N) contenido en los residuos orgánicos, como consecuencia del patrón de liberación del elemento durante su proceso de mineralización, se llevó a cabo esta experiencia con el objetivo de evaluar el efecto de la incorporación de residuos, solos o combinados con fertilizantes químicos sobre la dinámica del nitrógeno mineral en el suelo. Se realizó un ensayo de incubación con dos suelos provenientes de áreas agrícolas de Venezuela: un Alfisol, El Sombrero, Guárico y un Inceptisol, Turén, Portuguesa. Se utilizaron ocho tratamientos: sin residuos ni fertilizantes (T); incorporación de 10 Mgha⁻¹ de Crotalaria (C); incorporación de 10 Mgha⁻¹ de sorgo (S); incorporación de 5 Mgha⁻¹ de Crotalaria + 5 Mgha⁻¹ de sorgo (CS); incorporación de 10 Mgha⁻¹ de Crotalaria + fertilizante (CF); incorporación de 10 Mgha⁻¹ de sorgo + fertilizante (SF); incorporación de 5 Mgha⁻¹ de crotalaria + 5 Mgha⁻¹ de sorgo + fertilizante (CSF); incorporación de fertilizante (F). Las dosis se refieren a material vegetal base seca. Se midió el nitrógeno total (NT) y el nitrógeno mineral (N-NO₃ y N-NH₄). Además se calculó la mineralización acumulada, la mineralización neta y el índice de mineralización relativa. Los resultados indican que la crotalaria no mostró una velocidad de degradación mayor que la del sorgo, posiblemente como consecuencia de su mayor contenido de lignina. Por otra parte el sorgo mostró altos niveles de inmovilización. El efecto del fertilizante dependió del tipo de suelo y posiblemente la interacción de sus características con el tipo de residuo.

Palabras clave: crotalaria, fertilización, mineralización, residuos, sorgo.

INTRODUCCION

El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes debido a su efecto restrictivo en el rendimiento de las cosechas (Steele y Vallis, 1988.; Smithson y Giller, 2002). Como alternativa a la fertilización química, debido especialmente a los elevados precios de los fertilizantes. En este sentido, la incorporación de residuos orgánicos tiene múltiples beneficios para el suelo y/o los cultivos. Los residuos orgánicos son una fuente importante, sobre todo de N. No obstante, el nitrógeno aplicado, ya sea como residuo orgánico o como fertilizante, está sujeto a un número grande de procesos de pérdidas: volatilización del nitrógeno amoniacal, nitrificación y posterior desnitrificación, inmovilización biológica, fijación en minerales de arcilla, lavado y escorrentía. Esto explica la baja eficiencia de uso por los cultivos (Carrillo *et al.*, 1992).

El incremento en la adopción de prácticas agrícolas que mantienen los residuos en la superficie o que los incorporan al suelo ha creado la necesidad de obtener información detallada relativa a la disponibilidad de N asociado a estos residuos. Se han realizado

muchas investigaciones para conocer el patrón de liberación de este elemento durante el proceso de mineralización por los materiales orgánicos que llegan al suelo intencionalmente o no (Ruffo y Bollero, 2003; Gurlevik *et al.*, 2004).

Generalmente 50% del N aplicado como residuos orgánicos y fertilizantes inorgánicos es absorbido por la planta, 25% es perdido por diferentes mecanismos y el otro 25% permanece en el suelo en formas químicas o biológicas (tejidos) más estables (Azam *et al.*, 1985). Sin embargo, la liberación del nitrógeno contenido en los residuos orgánicos depende del equilibrio entre los procesos de inmovilización y mineralización realizados por la biomasa microbiana. Estos procesos dependen de características del propio residuo, como edad, composición, forma de aplicación, grado de incorporación al suelo y de características del suelo, como pH, contenido de nutrientes, actividad biológica, temperatura y contenido de agua (Garten *et al.*, 1994; Carpenter-Boggs *et al.*, 2000; Walley *et al.*, 2002).

Otro factor importante, de carácter exógeno, es la presencia de otras formas de nitrógeno provenientes de la fertilización, las cuales alterarían el equilibrio entre los reactantes y productos en el sistema, y por ende los contenidos y relaciones entre los diferentes nutrientes (Trinsoutrot, *et al.*, 2000; Carpenter-Boggs *et al.*, 2000).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de los residuos orgánicos, solos o en combinación con fertilizantes químicos, sobre variables indicadoras del comportamiento del nitrógeno mineral del suelo.

MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo en el Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Se usaron dos suelos, provenientes de áreas agrícolas del país: un Alfisol, El Sombrero, Guárico y un Inseptisol, Turén, Portuguesa. Los suelos fueron muestreados a una profundidad de 20 centímetros, transportados al laboratorio, secados al aire y tamizados (2mm). El Cuadro 1 muestra las principales características de los suelos estudiados.

El suelo se trató con residuos vegetales, sorgo y crotalaria con y sin aplicación de fertilizantes. Los tratamientos aplicados fueron los siguientes: sin incorporación de residuos, ni fertilizantes (T); incorporación de 10 Mg ha^{-1} de crotalaria (C); incorporación de 10 Mg ha^{-1} de sorgo (S); incorporación de 5 Mg ha^{-1} de crotalaria + 5 Mg ha^{-1} de sorgo (CS); incorporación de 10 Mg ha^{-1} de crotalaria + fertilizante (CF); incorporación de 10 Mg ha^{-1} de sorgo + fertilizante (SF); incorporación de 5 Mg ha^{-1} de crotalaria + 5 Mg ha^{-1} de sorgo + fertilizante (CSF) en incorporación de fertilizante en

dosis de N equivalente a $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (F). La dosis de residuo se adoptó con base en la producción promedio de biomasa en las áreas de los suelos utilizados. Se debe indicar además que la fertilización en lo que a P y K se refiere fue manejada uniformemente para todos los tratamientos.

Cuadro 1. Características de los residuos y suelos usados

Variable	Suelo El Sombrero	Suelo Turén	Sorgo	Crotalaria
% Carbono Orgánico	3.94	3.31	45.13	41.96
% N	0.108	0.211	1.26	2.88
C/N	36.48	15.68	36:1	15:1
% Lignina	-	-	4.66	9.67
% Celulosa	-	-	27.66	30.24
FAD*	-	-	33.11	40.69
Lig/N	-	-	4:1	3:1
pH (en agua 1:2,5)	4.36	7.94	-	-
P _(BRAY) (mg.kg ⁻¹)	7.11	1.88	-	-
K _(BRAY) (mg.kg ⁻¹)	50.45	26.09	-	-
Textura	FL	F	-	-
Orden	Alfisol	Inceptisol	-	-

*Fibra Acido Detergente

Los residuos vegetales (crotalaria y sorgo) fueron cosechados a los 45 días desde la siembra, cortados en trozos de uno a tres centímetros e incorporados al suelo junto a la fertilización química, según el tratamiento. Los suelos tratados fueron incubados por 84 días. El fertilizante y la dosis aplicada fueron seleccionados para cubrir los requerimientos del maíz (*Zea mays* L.), cultivo representativo de las áreas estudiadas, según Pérez *et al.* (1977): $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N; $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ P₂O₅ y $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ K₂O. Los parámetros evaluados fueron: el nitrógeno total (NT), determinado por el método Kjeldhal (International Atomic Energy Agency, IAEA, 1990); nitrógeno nítrico (N-NO₃) y nitrógeno amoniacal (N-NH₄), estos fueron extraídos con KCl 2M (Mulaney, 1996) y determinado del mismo método que el NT, con el uso de la aleación Devarda. Las medidas se realizaron cada tres días durante la primera semana y cada siete días hasta la octava semana. Los últimos dos muestreos se hicieron con intervalo de 15 días.

Para el experimento se usó un diseño totalmente aleatorizado, con cuatro repeticiones para cada tratamiento. El análisis estadístico fue realizado con el paquete Statistix, se efectuaron previamente Pruebas de Normalidad y Curtosis de los datos con el propósito de asegurar la aplicación de pruebas paramétricas.

Mediante cálculo fueron obtenidas las siguientes variables: a) mineralización acumulada (la suma sucesiva de la cantidad de nitrógeno producida en cada momento), b) la mineralización y/o la inmovilización neta fueron calculadas como la diferencia entre los suelos tratados y los no tratados) y c) el índice de mineralización relativa en cada punto de muestreo según la siguiente expresión:

$$IMR = \left[\frac{N-NO_3}{N-NO_3 + N-NH_4} \right] \times 100$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Los Cuadros 2 y 3 muestran los contenidos de NT para ambos suelos, El Sombrero y Turén respectivamente. En general, se observa un incremento del contenido del elemento como la consecuencia de la incorporación de los residuos vegetales.

Este aumento fue significativamente diferente ($P < 0.05$), comparado al control. Al final del estudio los niveles más altos de NT correspondieron a aquellos tratamientos donde se usó el residuo de crotalaria. Los incrementos de NT observados en el caso del suelo sin tratamiento (T) probablemente son consecuencia de la acción fijadora de algunos organismos del suelo.

Cuadro 2. Concentración de NT ($g.kg^{-1}$) para el suelo El Sombrero

Tiempo ¹	T	C	S	CS	CF	SF	CSF	F
2	61.3c ²	153.3a	153.0a	109.0b	123.7b	122.6b	126.5b	127.0b
5	106.5a	110.5a	116.7a	114.5a	112.8	106.2a	112.3a	107.7a
8	142.0a	114.3b	115.0b	113.3b	146.9a	137.8a	145.2a	98.8b
15	91.3bc	115.5a	99.0ab	108.3ab	108.8ab	113.7a	76.8c	109.8ab
22	104.0b	128.5a	106.8b	101.3b	107.7b	117.0ab	113.5ab	70.3c
29	125.0b	127.0b	127.3b	117.8b	124.6b	135.9ab	149.5a	93.7b
36	100.5e	112.5cde	115.0cde	121.8bcd	124.6bc	135.9ab	149.5a	101.0de
43	116.5ab	128.3a	112.8abc	127.0a	115.7ab	112.6abc	91.7c	99.4bc
50	119.5ab	106.5bc	108.3bc	101.3c	118.9abc	131.2a	107.1bc	73.3d
57	99.0c	113.0a	112.3ab	103.5abc	100.6bc	98.4c	102.5abc	102.4abc
69	98.3c	102.0bc	106.5bc	93.8c	124.0a	116.8ab	109.1abc	96.3c
84	94.5a	103.3a	95.0a	93.8a	137.8a	101.8a	113.7a	113.5a

¹= días

² = medias con la misma letra no son estadísticamente distintas

Cuadro 3. Concentración de NT ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) para el suelo Turén

Tiempo ¹	T	C	S	CS	CF	SF	CSF	F
2	156.5g ²	199.8fg	216.0cde	207.0def	263.5ab	276.3a	274.1a	256.9abc
5	227.5ab	255.3ab	254.8ab	266.8a	206.5b	206.5b	200.3b	231.8ab
8	188.5ab	192.0ab	179.3b	196.5ab	213.1a	190.0ab	188.4ab	190.5ab
15	229.8ab	241.3a	221.8ab	224.0ab	234.3ab	206.2b	221.1ab	223.4ab
22	220.0a	231.5a	226.3a	238.8a	227.6a	248.9a	228.1a	240.2a
29	199.5b	222.0ab	213.3ab	216.0ab	228.9ab	251.6a	232.6ab	234.0ab
36	219.5a	219.3a	232.8a	240.5a	240.5a	240.5a	240.5a	240.5a
43	208.3abc	224.3a	214.0ab	213.3abc	202.3abc	204.8abc	185.8c	195.5bc
50	220.3bcd	251.3ab	228.3abcd	243.5abc	251.6a	219.5cd	211.2d	206.5d
57	222.5a	234.3a	231.0a	220.0ab	210.7abc	203.8abc	187.2bc	181.5c
69	219.8a	221.0a	213.0a	212.3a	221.5a	192.3ab	167.1b	191.1ab
84	210.6d	227.9ab	222.0abc	225.5abc	231.7a	226.4ab	215.9cd	219.8bcd

¹= días² = medias con la misma letra no son estadísticamente distintas

La Figura 1 (a, b, c y d) muestra las concentraciones de $\text{N}\text{-NO}_3$ y de $\text{N}\text{-NH}_4$, en los distintos períodos para los suelos evaluados. En ambos suelos estas concentraciones fueron estadísticamente diferentes para los tiempos evaluados ($P < 0.05$), con la excepción de los 15 días de incubación. Estos resultados, diferentes a lo que ocurre en un amplio espectro de condiciones de suelo, podrían estar vinculados a características de suelo como el pH.

Independientemente del tratamiento aplicado, en el caso del suelo El Sombrero la producción de $\text{N}\text{-NH}_4$ prácticamente duplicó la de $\text{N}\text{-NO}_3$, lo contrario pasó en el suelo de Turén. Este comportamiento, generalizado, debe estar asociado a alguna característica del suelo El Sombrero tal como el pH (Cuadro 1), que favorecen mantenimientos de altas concentraciones $\text{N}\text{-NH}_4$.

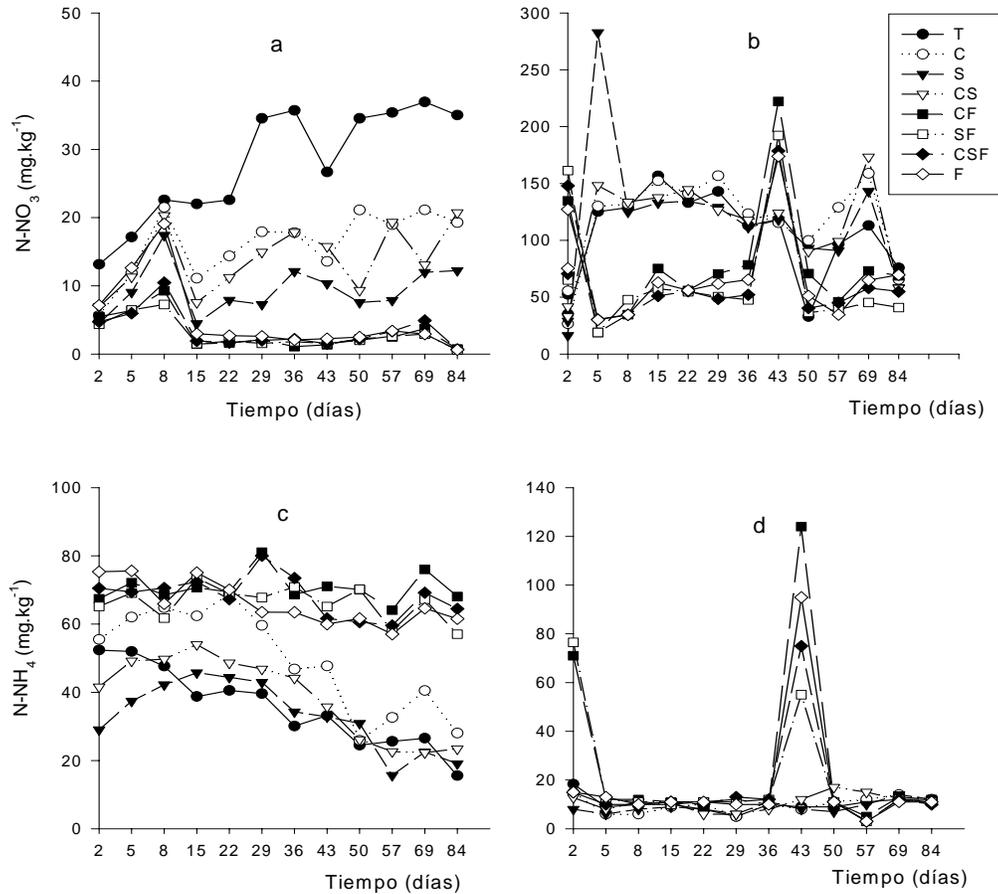


Figura 1. Concentración de Nitrato (a y b) y Amonio (c y d) en los suelos: El Sombrero (a y c) y Turén (b y d).

El predominio del N-NO₃ en el suelo Turén es compatible con el pH cercano a la neutralidad en este suelo. Sin embargo no parece haber explicación para el incremento registrado a los 43 días, se estima que ello, fue consecuencia de la producción de alguna condición temporal que no fue detectada en el estudio.

Estos resultados muestran que la producción de nitrógeno mineral fue notablemente influenciada, primero, por el contenido inicial del elemento en el suelo (Cuadro 1) y luego por la calidad del residuo incorporado o la presencia de la fertilización química. En este sentido, Yu *et al.* (2003) indicaron que el contenido de nitrógeno total, en residuos incorporados al suelo, es un factor muy importante en la regulación del proceso de mineralización de este elemento. Otro factor estrechamente vinculado a la mineralización del N es el contenido de carbono, tanto del suelo como del

residuo incorporado, pero dado que los niveles de carbono orgánico son similares para ambos suelos (Cuadro 1), su influencia parece de menor importancia. En el caso del suelo El Sombrero, con el contenido de nitrógeno más bajo, los residuos se mineralizaron en menor proporción a N-NO_3 (Figura 1 a y c). No obstante, esa diferencia entre suelos fue menor en el caso de la producción de N-NH_4 (Figura 1d). Es necesario señalar que los residuos de crotalaria, con mayor contenido de nitrógeno (2.88%), no presentaron una dinámica de producción de nitrógeno mineral (NM) considerablemente diferente a la del sorgo, salvo algunas oportunidades hacia el final del proceso de incubación.

Este comportamiento de la crotalaria estaría vinculado a su contenido de lignina (9.67%), resultados similares han sido señalados por autores como Rivero (1997), Rivero *et al.* (1997), Torres *et al.* (2002) y Gil y Fick (2001). En el caso de la producción de N-NO_3 en el suelo Turén, los tratamientos se separaron en dos grupos: uno constituido por los tratamientos sin fertilización y otro por aquéllos que recibieron fertilizante. La producción de N-NO_3 fue mayor en el primer grupo.

Para puntualizar y evidenciar estas diferencias se calcularon variables adicionales: la mineralización acumulada (MA), la mineralización neta (MN) y el índice de mineralización relativa (IMR). Las Figuras 2 y 3 muestran los resultados obtenidos para MA y MN en los suelos El Sombrero y Turén respectivamente.

En la Figura 2a se observa que los mayores valores de mineralización acumulada, se produjeron para C y CS mientras S produjo los niveles más bajos de MA para cualquier punto en el período de incubación. Esta tendencia fue notablemente modificada cuando el residuo de sorgo fue mezclado con la crotalaria o con el fertilizante químico, lo cual sería consecuencia evidente del efecto de la modificación de la relación C:N por el incremento del nivel de N en el suelo, comportamiento que ha sido suficientemente referenciado (Trinsoutrot *et al.*, 2000; Sakala *et al.*, 2000; Gil y Fick, 2001).

Sin embargo, en el suelo Turén (Figura 2b), con el mayor contenido inicial de nitrógeno, el comportamiento fue diferente y S produjo los mayores niveles de MA, también cuando se usó en la mezcla. Esto llevaría a inferir la presencia de interacciones, no fácilmente mostrables, entre las condiciones iniciales del suelo y el efecto del tratamiento. En este caso, se observó un efecto depresor de la presencia del fertilizante; resultados similares fueron señalados por Carpenter-Boggs *et al.* (2000), quienes indican que es imposible atribuir este comportamiento a una sola razón particular. No obstante, las posibles causas del mismo derivarían de la inducción de diferencias en la dinámica de degradación de los residuos; producción de efecto "priming", es decir, una inmovilización inicial de N por formación de tejido microbiano y modificación de la producción de enzimas de origen microbiano.

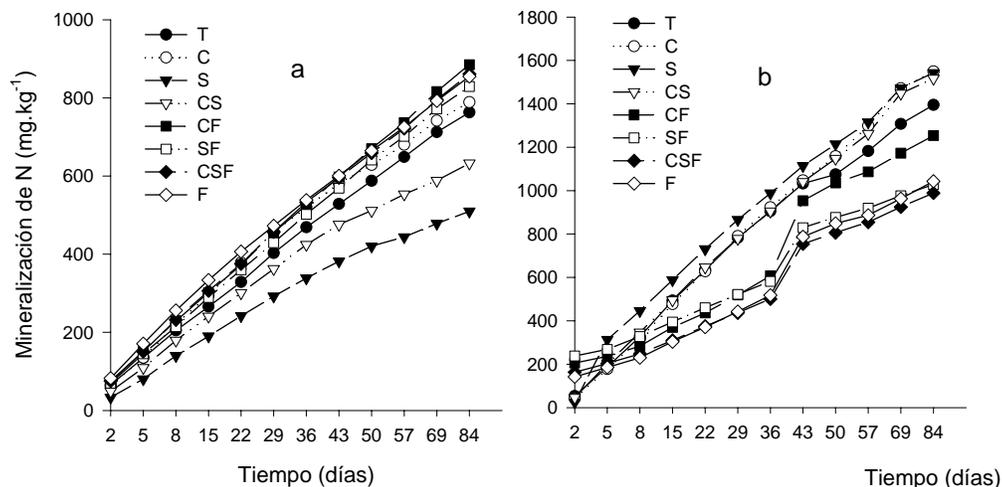


Figura 2. Mineralización Acumulada en los suelos El Sombrero (a) y Turén (b)

La Figura 3 muestra los casos los casos dónde los residuos agregados fueron mineralizados y donde fueron inmovilizados. En el suelo El Sombrero (Figura 3a) se observa que el fertilizante indujo un aumento importante del proceso del mineralización visualizada por la comparación de los tratamientos S y SF. En el primer caso el proceso de la inmovilización de N se dio durante el todo el período de la incubación lo que no sucedió en SF. Sin embargo, con el agregado de fertilizante nitrogenado la diferencia entre la mineralización y la inmovilización fue menor probablemente como consecuencia de la mejora en la cantidad de nitrógeno disponible para los microorganismos.

Nuevamente se corrobora que el comportamiento es diferente en el suelo de Turén, Figura 3b, donde se partió de una relación C:N menor (Cuadro 1). En este caso la presencia del fertilizante indujo un proceso inicial de inmovilización, para todos los residuos. A lo largo del período de incubación esto fue revertido hacia el proceso de mineralización. Lo que podría ser atribuible a la dinámica de las poblaciones microbianas, porque después de cierto tiempo el sistema retorna al predominio del proceso de la inmovilización. En este sentido, Rowell *et al.* (2001) indicaron que, en algunos casos, el contenido inicial de N es la característica más importante que cualquier otra del residuo o del suelo para definir los procesos de mineralización o inmovilización.

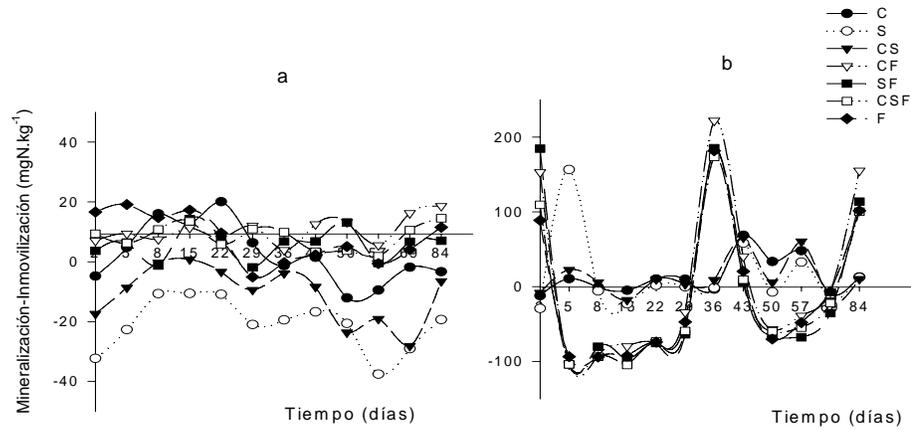


Figura 3. Mineralización Neta en los suelos: El Sombrero (a) y Turén (b).

Al final del ensayo fue calculado el índice de mineralización relativa, los mayores valores del mismo se obtuvieron en el caso del suelo de Turén (Figura 4). Es importante señalar que, en ambos suelos, la presencia del fertilizante, aun cuando es diferente en magnitud, indujo un descenso del IMR, lo que lleva a corroborar el efecto negativo sobre el proceso de nitrificación, evidenciado con las otras variables evaluadas.

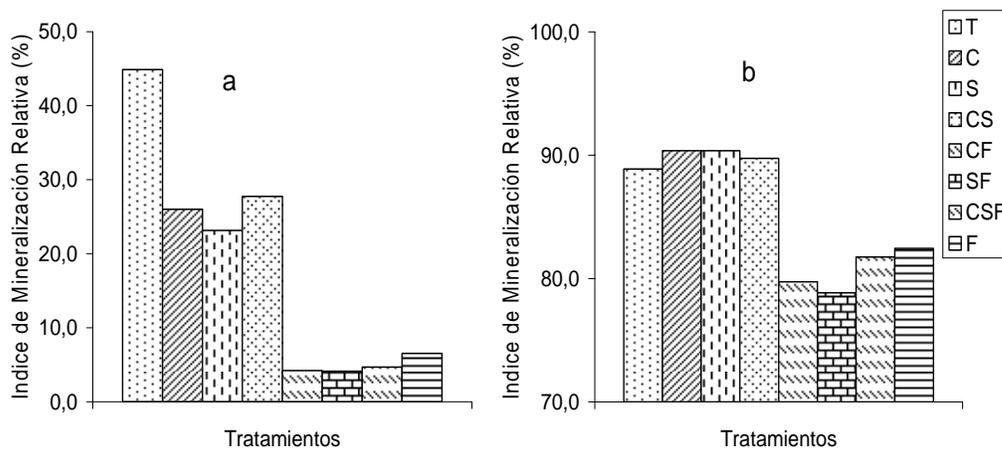


Figura 4. Índice de mineralización relativa en los suelos: El Sombrero (a) y Turén (b).

CONCLUSIONES

La producción de nitrógeno mineral estuvo muy influenciada por la concentración inicial de nitrógeno en el suelo, la interacción entre este parámetro y las características de los residuos, sobre todo su relación C:N y su contenido del lignina. El efecto de la presencia del fertilizante también dependió del contenido del elemento en suelos y residuos. En el suelo con menor contenido de nitrógeno (El Sombrero) el proceso de inmovilización fue favorecido mientras en Turén, con el contenido de nitrógeno más alto, sucedió el efecto inverso. El IMR permitió evidenciar el predominio del proceso de nitrificación en el caso del suelo Turén así como el efecto negativo de la adición de fertilizante en dicho proceso.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH) cuyo apoyo permitió esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Azam, F.; K. A. Malick; M. I. Sajjad. 1985. Transformation in soil and availability to plants of ^{15}N applied as inorganic fertilizer and legume residues. *Plant Soil* 86:3-13.
- Carpenter-Boggs L.; J. L. Pikul Jr.; M. F. Vigil; W. E. Riedell. 2000. Soil Nitrogen Mineralization Influenced by Crop Rotation and Nitrogen Fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:2038-2045.
- Carrillo, C. E.; E. Casanova; G. Rico. 1992. Balance de nitrógeno en arroz de riego en un vertisol del estado Guárico. *Agronomía Tropical (Venezuela)* 42:67-84.
- Garten, C. T. Jr; M. A. Huston; C. A. Thorns. 1994. Topographic variation of soil nitrogen dynamics at Walker Branch Watershed, Tennessee. *For. Sci.* 40:597-612.
- Gil, J. L.; W. H. Fick. 2001. Soil Nitrogen mineralization in mixtures of Eastern Gamagrass with alfalfa and red clover. *Agronomy Journal* 93:902-910.
- Gurlevik, N.; D. L. Kelting; H. L. Allen. 2004. Nitrogen Mineralization Following Vegetation Control and Fertilization in a 14-Year-Old Loblolly Pine Plantation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:272-281 .
- International Atomic Energy Agency (IAEA). 1990. Stable and radioactive isotopes. Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships. Viena, Austria. 233 p.

- Mulvaney, R. L. 1996. Nitrogen-Inorganic forms p. 1123–1184. *In* D.L Sparks et al. (Eds.) Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
- Rivero, C. 1997. Efecto del uso de residuos vegetales sobre algunas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo Turén. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 23(2):103-118.
- Rivero, C.; J. Paolini; N. Senesi; V. D'Orazio. 1997. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos de *Crotalaria juncea* sobre la calidad de la materia orgánica de un suelo. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 23(1):77-93.
- Rowell, D. M.; C. E. Prescott; C. M. Preston. 2001. Decomposition and Nitrogen Mineralization from Biosolids and Other Organic Materials. *J. Environ. Qual.* 30:1401-1410.
- Rufo, M. L.; G. A. Bollero. 2003. Residue Decomposition and Prediction of Carbon and Nitrogen Release Rates Based on Biochemical Fractions Using Principal-Component Regression. *Agr. J.* 95:1034-1040.
- Sakala, W. D.; G. Cadisch; K. E. Giller. 2000. Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil Biol. Biochem.* 32(5): 679-688.
- Smithson, P. C; K. E. Giller. 2002. Appropriate farm management practices for alleviating N and P deficiencies in low-nutrients soils of the tropics. *Plant Soil* 245:169-180.
- Steele, K. W.; I. Vallis. 1988. The nitrogen cycle in pastures. *In* Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems. J. Wilson (Ed.) CAB Int., Wallingford, UK. p. 274–291.
- Torres, A.; C. Rivero; J. Ampueda; C. Cori de. 2002. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos marcados con ^{15}N sobre el nitrógeno en dos suelos venezolanos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 28:105-116.
- Trinsoutrot, I.; S. Recous; B. Mary; B. Nicolardot. 2000. C and N fluxes of decomposing ^{13}C and ^{15}N Brassica napus L.: Effects of residue composition and N content. *Soil Biol. Biochem.* 32:1717-1730.
- Walley, F.; T. Yates; J. Van Groenigen; C. Van Kessel. 2002. Relationships Between Soil Nitrogen Availability Indices, Yield, and Nitrogen Accumulation of Wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1549-1561.

Yu, Z; T. E. C. Kraus; R. A. Dahlgren; W. R. Horwath; R. I. Zasoski. 2003. Mineral and dissolved organic nitrogen dynamics along a soil acidity-fertility gradient. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:878-888.