

## **Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y fertilizante químico sobre la dinámica del nitrógeno en el suelo**

**Jessica Ampueda\* ; Carmen Rivero\* ;  
Alexis Torres\*\*; Evelyn Cabrera\*\*\***

### **ABSTRACT**

When nitrogen (N) it is applied to the soil like vegetable residues or chemical fertilizer, their destination will depend of some factors like: the soil, the chemical structure of the applied material and the climatic conditions. These factors affect the N absorption rate by the plants, the mechanism in the soil-plant-system loss, the biological immobilization, and transformation and incorporation to the soil organic matter. An incubation experiment was realized under laboratory conditions, this experiment was conducted with the objective of evaluating the possible modification of the N dynamic on the soil as a consequence of the addition of vegetable residues, and fertilizer (urea). The residues used were labeled with  $^{15}\text{N}$ , for the evaluation of N coming from these materials. The labeled residues were obtained in a greenhouse in the following form: sorghum and crotalaria plants were fertilized with  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  20% a.e.  $^{15}\text{N}$ . The labeled levels obtained were: 16 and 12% a.e of  $^{15}\text{N}$  for sorghum and crotalaria respectively. In the incubation experiment, soil with a contrasting pH were used: An Alfisol (El Sombrero, Guárico state, pH 4.36) and an Inceptisol (Turén, Portuguesa state, pH 7.94). The treatment applied were  $T_0$ =Control;  $T_1$ =10  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  crotalaria+fertilizer;  $T_2$ =10  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  sorghum + fertilizer;  $T_3$ =5 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  crotalaria +  $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  sorghum + fertilizer; and  $T_4$ = fertilizer. The soils were incubated during 84 days at 70% of field capacity. The results obtained, for both soil, showed an increase of the total nitrogen (NT) as a consequence of the treatment. The best effect was obtained for the crotalaria incorporation. In the Sombrero soil the fertilizer treatment did not increase the NT compared with the control; this effect is possibly a consequence of the unmeasured loss.

---

Acceptado: 2006

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

\*\* Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos, UNESR, Venezuela  
\*\*\* Recursos Agroecológicos, CENIAP, INIA, Venezuela

Important contribution to NT from the residues, showed through the  $^{15}\text{N}$ , was detected; again the best result was for crotalaria. Also the best apparent of mineralization rate was for this material.

**Key Words:** crotalaria, nitrogen,  $^{15}\text{N}$ , vegetables residues, sorghum

## COMPENDIO

Cuando el nitrógeno (N) es aplicado al suelo, como residuos vegetales o como fertilizante químico, su destino dependerá de características del suelo (materia orgánica, dinámica del agua, pH, etc.), la estructura química del material aplicado y de las condiciones climáticas, estos factores afectan la tasa de absorción de N por las plantas, los mecanismos de pérdidas en el sistema suelo-planta, su mineralización, inmovilización biológica, transformación e incorporación a la fracción orgánica estable. Con base a esto se realizó en condiciones de laboratorio, un experimento de incubación en potes, para evaluar las posibles modificaciones de la dinámica del N en el suelo como consecuencia de la incorporación conjunta de residuos vegetales y fertilizante químico (úrea). Se usaron residuos vegetales marcados con  $^{15}\text{N}$  para evaluar el N derivado de dichos materiales. La obtención del residuo marcado se realizó en invernadero, mediante el crecimiento de plantas de sorgo y crotalaria fertilizadas con  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  con 20% a.e.  $^{15}\text{N}$ . Los niveles de marcaje obtenidos en el material vegetal fueron: 16 y 12% a.e.  $^{15}\text{N}$  para sorgo y crotalaria respectivamente. Se usaron dos suelos agrícolas con pH contrastante: un Alfisol (El Sombrero, estado Guárico de pH=4.36) y un Inceptisol (Turén, estado Portuguesa de pH=7.94). Los tratamientos aplicados fueron los siguientes:  $T_0$ =Control;  $T_1$ =10 Mg.ha<sup>-1</sup> crotalaria+fertilizante;  $T_2$ =10 Mg.ha<sup>-1</sup> sorgo+fertilizante;  $T_3$ =5 Mg.ha<sup>-1</sup> crotalaria+5 Mg.ha<sup>-1</sup> sorgo+fertilizante y  $T_4$ =Fertilizante. Los suelos fueron incubados durante 84 días a 70% de su capacidad de campo. En ambos suelos, se observó un incremento en los niveles de nitrógeno total (NT) como consecuencia de los tratamientos aplicados, el mayor efecto se logró cuando se incorporó crotalaria. En el suelo El Sombrero el fertilizante solo no logró incrementar el NT comparado con el control, probablemente debido a pérdidas no cuantificadas en esta experiencia. Por otra parte, se detectaron aportes importantes de N proveniente de los residuos, visualizados a través de  $^{15}\text{N}$ , también en este caso el mejor resultado correspondió a la crotalaria.

**Palabras Clave:** crotalaria, nitrógeno,  $^{15}\text{N}$ , residuos vegetales, sorgo.

## INTRODUCCION

Los residuos de cultivo juegan un papel importante en el suministro de N y en el mantenimiento de la materia orgánica del suelo (MOS), sobre todo en los sistemas

convencionales (Seneviratne *et al.*, 1999) caracterizados por una utilización masiva de fertilizantes químicos. En este sentido, se requiere estimar la mineralización de la MOS y de los materiales frescos que se incorporan al suelo a los fines de realizar recomendaciones adecuadas de fertilizantes, especialmente nitrogenados (Li y Mahler, 1995).

La idea fundamental en los estudios de evaluación del nitrógeno, es intentar conocer cuál es el balance adecuado entre los procesos de mineralización y humificación (Smith y Sharpley, 1990). Diez (1989) y Diekow *et al.* (2005) observaron un incremento del N disponible cuando se combinaron materiales orgánicos con fertilizantes inorgánicos en comparación a cuando eran aplicados solos, además de incrementos en la absorción del elemento por los cultivos subsiguientes.

Wilson y Hargrove (1986) indicaron que los residuos de las leguminosas constituyen una fuente potencial de N para el sistema dada su capacidad de fijación simbiótica; esto es particularmente importante en la actualidad debido a los elevados costos de los fertilizantes nitrogenados sintéticos (Palm y Sánchez, 1991). Se plantea entonces la necesidad de manejar eficientemente el N de cualquier residuo incorporado al suelo y ello implica conocer el patrón de liberación del elemento durante el proceso de mineralización del material que eventualmente es incorporado al suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación conjunta de residuos de crotalaria (*Crotalaria juncea*) y sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) marcados con  $^{15}\text{N}$  y fertilizantes químicos sobre algunos parámetros de la dinámica del N en dos suelos venezolanos de pH contrastante.

## MATERIALES Y METODOS

Este estudio fue realizado en el Laboratorio de Fertilidad y Biología de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Se utilizaron dos suelos: Un Alfisol proveniente de El Sombrero, estado Guárico y un Inceptisol de Turén, estado Portuguesa. Los suelos se muestrearon a una profundidad de 0-20cm, secados al aire y tamizados (2mm). Sus principales características se indican en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Características de los suelos utilizados

Parámetro	El Sombrero	Turén
pH (agua 1:2,5)	4.36	7.94
Materia orgánica (g.kg <sup>-1</sup> )	39.94	31.3
Nitrógeno (g.kg <sup>-1</sup> )	1.08	2.11
Fósforo (mg.kg <sup>-1</sup> )	1.87	7.11
Potasio (mg.kg <sup>-1</sup> )	26.09	50.45
Textura	Franca	Franco limosa
Orden	Alfisol	Inceptisol

Los materiales vegetales marcados, utilizados como residuos, fueron plantas de una especie leguminosa, crotalaria (*Crotalaria juncea*) y una especie gramínea, sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) las cuales se hicieron crecer en una mezcla arena + vermiculita como sustrato. Para lograr el marcaje se aplicó  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  <sup>15</sup>N 20% a.e. en forma fraccionada: semanalmente se aplicó una solución que contenía 100 mg.L<sup>-1</sup> de nitrógeno, el objetivo de fraccionamiento fue evitar la dilución isotópica, especialmente en el caso de la leguminosa y obtener el mayor nivel de marcaje posible. El material fue cosechado a los 45 días y se cortó en trozos de 1-3 cm para ser incorporado a 50 g suelo en dosis equivalente a 10 Mg.ha<sup>-1</sup> (base seca). Los tratamientos aplicados fueron los siguientes T<sub>0</sub>=Control, sin aplicación de residuos o fertilizante nitrogenado; T<sub>1</sub>=10 Mg.ha<sup>-1</sup> crotalaria+fertilizante; T<sub>2</sub>=10 Mg.ha<sup>-1</sup> sorgo+fertilizante; T<sub>3</sub>=5 Mg.ha<sup>-1</sup> crotalaria+5 Mg.ha<sup>-1</sup> sorgo+fertilizante y T<sub>4</sub>=120 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante. Simultáneamente se incorporó la fertilización química, en los tratamientos T<sub>1</sub>; T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub>. Para ello se asumieron los requerimientos promedios del maíz, y se aplicó una dosis de N equivalente a 120 kg.ha<sup>-1</sup>. Una vez incorporados los tratamientos el suelo fue colocado en potes plásticos, los cuales fueron cubiertos con papel osmótico e incubados durante 84 días. La humedad fue corregida diariamente, en cada unidad experimental, para ser mantenida a 70% de la capacidad de campo y fue repuesta por supervisión diaria de la pérdida de peso.

La recolección de muestras se realizó a los 2,5, 8, 15, 22, 29, 36, 43, 50, 57, 69 y 84 días después de la incorporación de los residuos. La determinación del NT, tanto en el material vegetal como en los suelos, se realizó por destilación en un destilador automático Tecator, por el método de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982). El <sup>15</sup>N se obtuvo por espectrometría de emisión óptica (OIEA, 1990), esta determinación permitió

calcular el nitrógeno derivado de los residuos en cada uno de los tratamientos según la siguiente expresión:

$$\text{NDF} = \frac{\left[ \frac{N_{T \text{ muestra}} * (A_s - \text{Abundancia natural})}{A_f} \right]}{\text{pss}} * 100$$

Donde:

NDF= nitrógeno derivado de la fuente (corresponde al nitrógeno derivado del residuo); NT= nitrógeno total de la muestra;  $A_s$ = % ab  $^{15}\text{N}$  de los tratamientos;  $A_f$ = % ab  $^{15}\text{N}$  de los residuos marcados – Abundancia Natural del  $^{15}\text{N}$ ; Pss= peso de suelo seco. Se multiplica por 100 para transformar de  $\text{mg.kg}^{-1}$  a  $\text{kg.ha}^{-1}$ .

La estimación de la mineralización aparente del nitrógeno (MAN) a partir del residuo fue calculada, para cada fecha de muestreo (Handayanto *et al.*, 1997; Trisoutrot *et al.*, 2000). Se utilizó la siguiente expresión de cálculo:

$$\text{MAN} = \frac{N_m T - N_m C}{N_i T} * 100$$

Donde:

$N_m T$  = N mineral acumulado en los tratamientos

$N_m C$  = N mineral acumulado en el control

$N_i R$  = NT aplicado inicialmente como residuo (contenido de NT en el residuo)

El diseño estadístico correspondió a un modelo totalmente aleatorizado con dos suelos, cinco tratamientos, cuatro repeticiones por tratamiento y doce mediciones en el tiempo. Se contempló el retiro de una unidad experimental completa por tiempo y repetición para cada muestreo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Obtención del material marcado

El Cuadro 2 muestra la caracterización de cada uno de los residuos vegetales marcados con  $^{15}\text{N}$ , utilizados. En el mismo destaca la menor relación C:N del residuo de crotalaria en relación al sorgo. Valores similares fueron obtenidos por Rivero y Paolini (1994) para materiales de edad similar. Esta comparación puede ser llevada a campo

cuando se trabaja con incorporación de abonos verdes, los cuales son generalmente incorporados al suelo a este nivel de desarrollo del dicho material.

## Cuadro 2. Características de los residuos vegetales marcados

Parámetro	Crotalaria	Sorgo
MS <sup>1</sup> (%)	90.50	89.80
FAD <sup>2</sup> (%)	40.69	33.11
Lignina (%)	9.67	4.66
Celulosa (%)	30.24	27.66
N (%)	4.95	2.16
C (%)	41.25	44.36
C:N	8.33	20.47
Lignina:Celulosa	0.32	0.17
(%) a.e.de <sup>15</sup> N <sup>3</sup>	12	16

<sup>1</sup>= Materia Seca; <sup>2</sup>= Fibra ácido detergente;

<sup>3</sup>= Porcentaje átomos en exceso de <sup>15</sup>N

Es importante resaltar que la forma de marcar el material resultó bastante eficiente dado los altos niveles de <sup>15</sup>N encontrados en los materiales, aun cuando el mismo fue menor en el caso de la crotalaria. Los valores obtenidos representaron una eficiencia en el proceso de marcaje de un 60 y un 80 % para crotalaria y sorgo respectivamente. El menor valor observado en el caso de la leguminosa fue consecuencia de la fijación de una cierta cantidad de N atmosférico, lo cual se corroboró por la observación de nódulos activos en las raíces de crotalaria. Resultados similares fueron indicados por Jansen *et al.* (1990) y Sparling *et al.* (1995) al usar (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> como marcador.

## Dinámica del Nitrógeno Total (NT)

Los contenidos de NT en el suelo, promedios para todo el período, se muestran en el Cuadro 3; en general, la aplicación de residuos solos o mezclados con fertilizante, en ambos suelos, produjo aumentos el contenido de NT, que aun cuando no fueron de gran magnitud resultaron significativos. Esto es consecuencia de la incorporación de fuentes nitrogenadas orgánicas e inorgánicas. Sin embargo, el mayor efecto se logró en el suelo Turén en el tratamiento donde se aplicó residuo de crotalaria más fertilizante. Dicho resultado puede explicarse con base a las diferencias que existen en las características de cada suelo, especialmente su contenido inicial de N y el pH, el posible efecto de la materia orgánica presente en el suelo no fue evaluado dentro de esta experiencia. Por otra parte, el menor contenido de NT detectado en T<sub>4</sub> puede ser consecuencia de pérdidas o

cambios de formas de nitrógeno no detectable por el método usado y que por lo tanto no fueron cuantificadas en esta experiencia.

**Cuadro 3.** Concentración promedio de NT ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) en el suelo al concluir la incubación

Tratamientos	El Sombrero	Turén
T <sub>0</sub>	1.062b <sup>1</sup>	2.105c
T <sub>1</sub>	1.202a	2.323a
T <sub>2</sub>	1.191a	2.223b
T <sub>3</sub>	1.164a	2.106c
T <sub>4</sub>	0.994b	2.124c

<sup>1</sup>= medias seguidas de igual letra son estadísticamente iguales ( $P < 0.01$ )

Los resultados señalan que, existe un efecto tanto del suelo, atribuido en este caso básicamente a pH y contenidos de N y materia orgánica, como de los materiales incorporados sobre el contenido de NT en cada uno de los tratamientos como consecuencia de las concentraciones y formas químicas de N que estos contienen. En este sentido, Constantinides y Fownes (1993) plantean que la combinación de diferentes materiales orgánicos puede constituir una herramienta valiosa para manejar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, dado que al mezclar materiales con diferentes velocidades de mineralización se podría sincronizar el suministro con la demanda por parte del cultivo. Es importante indicar también que la comparación de los niveles de NT del T<sub>4</sub> con aquellos de los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> parece indicar que la mezcla de los residuos vegetales con el fertilizante mejora la eficiencia de uso de este último.

### Dinámica del <sup>15</sup>N

El contenido promedio de <sup>15</sup>N (Cuadro 4), corresponde al N proveniente de los residuos marcados incorporados al suelo. Para ambos casos, El Sombrero y Turén, se detectó que el tratamiento crotalaria+fertilizante es el que presentó los mayores niveles de <sup>15</sup>N, aun cuando las concentraciones más altas corresponden al suelo Turén. Ello es derivado de los mayores contenidos de N en los residuos de leguminosa y aun cuando en este caso se partió de menores niveles de marcaje no se comprometió la detección del <sup>15</sup>N. Estos resultados reafirman la preponderancia del aporte de N de la leguminosa ya sea sola o en mezclas y ratifica la importancia de incluir estos materiales en el manejo sustentable de los agrosistemas, cabe destacar que este efecto ha sido ampliamente documentado por autores como Wilson y Hargrove (1986).

El aporte de nitrógeno, expresado en kilogramo por hectárea, derivado de cada uno de los residuos incorporados, se observan en el Cuadro 5. Se aprecia, para ambos suelos estudiados, un mayor aporte de N al suelo del residuo de crotalaria, con respecto a la mezcla y el residuo de sorgo, y es este último el que menos contribuye y a pesar de ser el

residuo que presentó el mayor marcaje con  $^{15}\text{N}$  antes de ser incorporado al suelo. Por otra parte, el mayor aporte de N de estos residuos añadidos al N del suelo se observa en el suelo Turén.

**Cuadro 4.** Concentración promedio de  $^{15}\text{NT}$  (% a.e.) al concluir la incubación

Tratamientos	El Sombrero	Turén
T <sub>1</sub>	10.79a <sup>1</sup>	11.22a
T <sub>2</sub>	8.69c	8.84c
T <sub>3</sub>	9.66b	9.48b

<sup>1</sup>= medias seguidas de igual letra son estadísticamente iguales (P<0,01)

**Cuadro 5.** Nitrógeno total derivado de los residuos incorporados

Suelo	(kg N.ha <sup>-1</sup> )		
	Crotalaria	Sorgo	Mezcla Crotalaria:sorgo
El Sombrero	88.3	54.2	67.89
Turén	102.5	66.24	77.38

### Dinámica del Nitrógeno mineral (N<sub>m</sub>)

Este parámetro fue evaluado en función de la sumatoria de las concentraciones de N nítrico y N amoniacal detectadas en el suelo. En las Figuras 1 y 2 se presentan los contenidos de N<sub>m</sub> para cada tratamiento y suelo durante los 84 días de incubación.

En el suelo Turén se observa un incremento inicial (2 d) del N<sub>m</sub> en todos los tratamientos para luego disminuir drásticamente y fluctuar en un estrecho rango durante el resto del período de incubación. Llama la atención que la fluctuación se produjo a contenidos inferiores a los registrados para el control.

En el caso del suelo El Sombrero, solo el T<sub>4</sub> mostró incremento en el contenido de N<sub>m</sub> durante los primeros ocho días. Transcurrido este período se produjo un descenso y el comportamiento se hizo igual al de los demás tratamientos.

Para este suelo, aun cuando las fluctuaciones tuvieron menor amplitud que en el suelo Turén, también se observaron niveles inferiores a los registrados para el control. Similares resultados fueron obtenidos por Jansen y Kucey (1981) al incorporar residuos de colza en combinación con tres niveles de fertilización nitrogenada. Ellos encontraron que la mineralización del residuo solo superó los niveles de N en el tratamiento control después de transcurridos 80 días de proceso de incubación.



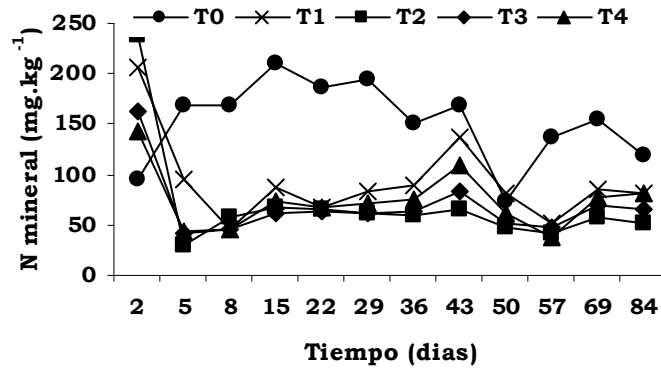


Figura 1. Nitrógeno mineral en el suelo Turén.

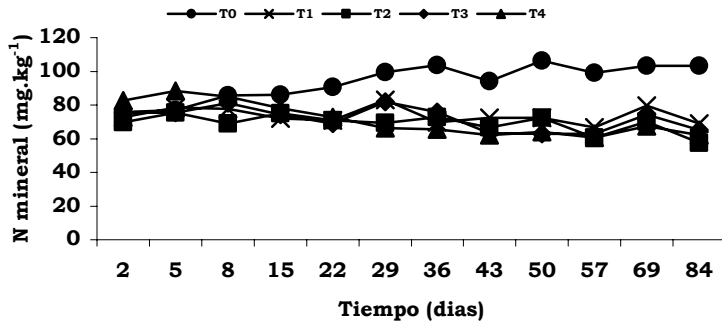


Figura 2. Nitrógeno mineral en el suelo El Sombrero.

En esta experiencia, los resultados para ambos suelos, indican que la aplicación del fertilizante, fuente de N fácilmente disponible, influyó la velocidad de descomposición de los residuos y se generó un cierto grado de inmovilización del N contenido en los mismos por parte de los microorganismos del suelo. Esto disminuyó las posibilidades de mineralización del N de dichos residuos, ello lleva a inferir que este elemento permanecería en formas orgánicas, bien las formas químicas originales del material vegetal incorporado o bien estructuras neoformadas como consecuencia del metabolismo microbiano.

Camiré *et al.* (1991) y Peinemann *et al.* (2005) indican que si el residuo contiene cantidades importantes de lignina y N se forman derivados N-lignina que disminuyen la velocidad del proceso de mineralización del N orgánico presente en los mismos.

### Mineralización aparente del N (MAN)

El Cuadro 6 muestra las MAN obtenidas para los residuos incorporados al suelo, expresadas en porcentaje, luego de 84 días de incubación. Los residuos de crotalaria incorporados, en ambos suelos, presentaron las mayores MAN. De acuerdo a los factores que determinan la tasa de mineralización de un residuo se esperaría que un residuo con mayores contenidos de lignina, como es el caso de la crotalaria (Cuadro 1), presente una menor velocidad de degradación, este efecto, sin embargo, no se presentó en esta experiencia. Esto lleva a inferir que en este caso la relación C:N resultó un mejor índice de las posibilidades de mineralización del material incorporado. No obstante Torres *et al.* (2002) indican que en el caso de incorporación de residuos de crotalaria sin aplicación de fertilizante nitrogenado se detectó un efecto importante del contenido de lignina sobre la dinámica del nitrógeno.

**Cuadro 6.** Mineralización aparente (%) de nitrógeno contenido en los residuos para los suelos estudiados durante 84 días de incubación

Suelos	T1	T2	T3
El Sombrero	0.09	-0.17	0.02
Turén	0.065	-0.27	-0.26

Por otra parte, se observó un cierto grado de inmovilización de nitrógeno dada la obtención de valores negativos (Cuadro 6) en aquellos tratamientos donde se incorporó sorgo. Este comportamiento ha sido señalado por otros autores aún cuando no específicamente para residuos de sorgo (Azam *et al.*, 1995; Trinsoutrot *et al.*, 2000) y ha sido atribuido a la incorporación del N en formas orgánicas de origen microbiano.

## CONCLUSIONES

Aun cuando no se contempló como objetivo de la experiencia evaluar la eficiencia del proceso de marcado de los residuos, cabe destacar que los resultados indican una alta eficiencia del sistema utilizado para la obtención de los materiales marcados con <sup>15</sup>N. Por otra parte, aún cuando ambos residuos, crotalaria y sorgo, influenciaron el nivel de N en el suelo, el residuo de crotalaria genera el mayor aporte de nitrógeno al suelo en comparación con el residuo de sorgo. La relación C:N se mostró como un buen parámetro estimador de las posibilidades de mineralización, en comparación con el contenido de lignina del material vegetal.

Por otra parte, las diferencias observadas entre las tasas de mineralización, en ambos suelos, parecieron depender básicamente de la presencia del fertilizante químico, que como consecuencia de su aporte de nitrógeno mineral, inhibió la mineralización del residuo vegetal. Los resultados permiten además señalar que la incorporación conjunta de residuos y fertilizante puede resultar una práctica útil en las condiciones de suelo del país a los fines de manejar más eficientemente el nitrógeno y evitar posibles pérdidas derivadas de una mineralización rápida de los materiales orgánicos cuando son aplicados solos.

### AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV (Venezuela) cuyo soporte financiero permitió el desarrollo de esta investigación y al Centro Recursos Agroecológicos, CENIAP, INIA por el soporte en el trabajo de laboratorio para la determinación del  $^{15}\text{N}$ .

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Azam, F.; R. L. Mulvaney; F. W. Simmons. 1995. Effects of ammonium and nitrate on mineralization of nitrogen from leguminous residues. *Biol. Fertil. Soils*. 20:49-52.
- Bremner, J. M.; C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen - total. *In: Methods of soil analysis*. Part 2. 2 ed. Series Agronomy. Madison, WI. USA. 777 p.
- Camire, C., B. Cote; S. Brulotte. 1991. Decomposition of roots of black alder and hybrid poplar in short-rotation planting: N and lignin control. *Plant and Soil* 138:123-132.
- Constantinides, M.; J. H. Fownes. 1993. Nitrogen mineralization patterns of lead-twig mixture from tropical leguminous trees. *Agroforestry Systems*. 24:223-231.
- Diekow, J.; J. Mielniczuk; H. Knicker; C. Bayer; D.P. Dick; I. Kögel-Knabner. 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil Till. Res.* 81(1): 87-95.
- Diez, J. A. 1989. Efecto sinérgico entre fertilización nitrogenada orgánica e inorgánica, sobre el aprovechamiento de N por la Planta. *Agr. Med.* 119: 435-444.
- Handayanto, E.; K.E. Giller; G. Cadish. 1997. Regulating N release from legume tree pruning by mixing residues of different quality. *Soil Biol. Biochem.* 29:1417-1426.

- Jansen, H. H.; R. M. N. Kucey. 1988. C, N, and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. *Plant and Soil* 106:35-41.
- Jansen, H. H.; J. B. Bole; V. O. Biederbeck; A. E. Slinkard. 1990. Fate of N applied as green manure or ammonium fertilizer to soil subsequently cropped with spring wheat at three sites in western Canada. *Can. J. Soil Sci.* 70:313-323.
- Li, G. C.; R. I. Mahler. 1995. Effect of plant material parameters on mineralization in a Mollisol. *Commun. Soil. Plant Anal.* 26(11-12):1905-1919.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). 1990. Stable and radioactive isotopes. Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships. Viena, Austria. 223 p.
- Palm, C.A.; P.A. Sánchez. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23:83-88.
- Peinemann, N.; G. Guggenberger; W. Zech. 2005. Soil organic matter and its lignin component in surface horizons of salt-affected soils of the Argentinian Pampa. *CATENA* 60(2): 113-128.
- Rivero, C.; J. Paolini. 1994. Efecto de la incorporación de residuos vegetales sobre algunas propiedades físicas de tres suelos venezolanos. *Venezuelos* 2(1):26-31.
- Seneviratne, G.; L. H. J. Van Holm.; L. J. A. Balachandra; S. A. Kulasooriya. 1999. Differential effects of soil properties on leaf nitrogen release. *Biol. Fertil. Soils.* 28:238-243.
- Smith, S.; A. Sharpley. 1990. Soil nitrogen mineralization in the presence of surface and incorporated residues. *Agr. J.* 82:112-116.
- Sparling, S. P.; D. V. Murphy.; R. B. Thompson; I. R. P. Fillery. 1995. Short-term net N mineralization from plant residues and gross and net N mineralization from soil organic matter after rewetting of a seasonally dry soil. *Aust. J. Soil Res.* 33:961-973.
- Torres, A.; C. Rivero; J. Ampueda; C. de Cori. 2002. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos marcados con  $^{15}\text{N}$  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  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  *Brassica napus* L.: Effects of residue composition and N content. *Soil Biol. Biochem.* 32:1717-1730.

Wilson, D. O.; W. L. Hargrove. 1986. Release of nitrogen from crimson clover residue under two tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(5):11251-1254.