

MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO DE LA *Canavalia ensiformis* EN UN SUELO FERRALÍTICO ROJO DE LA HABANA

Gloria M. Martín[✉] y R. Rivera

ABSTRACT. To determine the amount of nitrogen released or immobilized during *Canavalia ensiformis* decomposition, two experiments were carried out in a Ferralsol soil. In the first experiment, carried out under laboratory conditions, the aerobic incubation method was used (at constant temperature and humidity) and *Canavalia ensiformis* mineralization rate was evaluated, compared with two checks: the control (soil) and a treatment that received 75 ppm N-urea. In the second experiment, conducted under pot (5 kg) conditions with corn plants, *Canavalia ensiformis* mineralization was studied alone or in presence of mineral fertilizer (ammonium sulfate), also compared against a control (soil) and mineral fertilizer. Results indicate that under aerobic incubation conditions, the period of N immobilization extends for 75 days; after that, net mineral nitrogen begins to be detected. Under pot conditions, with daily fluctuations of temperature and humidity, N mineralization is verified 15 days after corn germination, 26 days after green manure incorporation, which suggests that the daily oscillations of temperature and humidity and the presence of corn plants can accelerate green manure decomposition.

RESUMEN. Para determinar la cantidad de nitrógeno que se libera o inmoviliza durante la descomposición de la *Canavalia ensiformis*, se ejecutaron dos experimentos en un suelo Ferralítico Rojo. En el primer experimento, llevado a cabo en condiciones de laboratorio, se empleó el método de incubación aeróbica (a temperatura y humedad constantes) y se evaluó la velocidad de mineralización de la *Canavalia ensiformis*, comparada con dos testigos: el control (suelo) y un tratamiento que recibió 75 ppm N-urea. En el segundo experimento, conducido en condiciones de macetas (5 kg), con plantas de maíz, se estudió comparativamente la mineralización de la *Canavalia ensiformis* sola o en presencia de fertilizante mineral (sulfato de amonio), comparado también contra un testigo control (suelo) y el fertilizante mineral. Los resultados indican que en condiciones de incubación aeróbica, el período de inmovilización del N del suelo se extiende durante 75 días, con posterioridad a esa fecha comienza a detectarse nitrógeno mineral neto. En condiciones de macetas, bajo fluctuaciones diarias de temperatura y humedad, se verifica la mineralización del N de la canavalia a los 15 días después de la germinación del maíz, 26 días después de la incorporación del abono verde, lo cual sugiere que las oscilaciones diarias de temperatura y humedad y la presencia de las plantas de maíz pueden acelerar la descomposición de los abonos verdes.

Key words: green manures, *Canavalia ensiformis*, mineralization, nitrogen

Palabras clave: abonos verdes, *Canavalia ensiformis*, mineralización, ciclo del nitrógeno

INTRODUCCIÓN

El incremento de los precios de los fertilizantes químicos, la escasez de insumos, los problemas de contaminación ambiental y el alto grado de degradación de los suelos y de su materia orgánica, por el uso indebido de métodos intensivos de producción, han conducido a una disminución paulatina de los rendimientos agrícolas a nivel mundial. Cuba no ha escapado de la situación anterior, por lo que se ha hecho necesario el desarrollo y la aplicación de tecnologías que minimicen el deterioro del suelo y permitan la restitución de la fertilidad perdida (1).

El empleo de alternativas nutricionales orgánicas que sustituyan a los fertilizantes químicos incrementan la fer-

tilidad del suelo, fundamentalmente la nitrogenada, además de estimular la actividad microbiana y mejorar tanto las propiedades químicas como las físicas (2).

Dentro de estas, la utilización de los abonos verdes en los esquemas de rotación y secuencia de cultivos es una práctica que se ha ido incrementando en diversos lugares del mundo (3, 4), no solo en lo relacionado con los aportes de nitrógeno al sistema, sino por ventajas derivadas del aumento de la actividad biológica del suelo y los aportes de carbono, entre otros aspectos.

En Cuba, diferentes autores han demostrado la factibilidad del empleo de leguminosas como abonos verdes en rotación con cultivos económicos como el arroz, la papa, la calabaza y otros (3, 5), faltando aún investigaciones que contengan desde el conocimiento de las especies más adaptadas hasta su incorporación final a los sistemas agroproductivos de una amplia gama de cultivos agrícolas (6, 7).

Ms.C. Gloria M. Martín, Investigadora y Dr.C. R. Rivera, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ gloriain@inca.edu.cu

El nitrógeno que aportan los abonos verdes al mineralizarse representa una parte importante del nitrógeno total requerido por los sistemas de rotación de cultivos. Las predicciones exactas en los rangos de mineralización del N-leguminosas es crucial, sobre todo para la utilización eficiente del nutriente por el cultivo posterior, lo cual es de significativa importancia económica y medioambiental (8).

Si bien, en general, se conocen los diversos factores que controlan la velocidad de descomposición o mineralización de estos residuos y de liberación del nitrógeno, como la calidad del material incorporado, el clima y el suelo, es necesaria su evaluación en las condiciones edafoclimáticas específicas de Cuba, para determinar el grado de influencia de dichos factores sobre estos procesos (9).

La mineralización y los flujos de nutrientes son complejos en los trópicos y su velocidad es mayor en comparación con las regiones templadas, debido en gran parte, a las condiciones del clima y a las características de la biota y del suelo. Dichos aspectos han sido poco estudiados en los agroecosistemas cubanos, motivo por el cual se realizó el presente trabajo, teniendo como objetivo determinar, en condiciones de laboratorio y macetas, la cantidad de nitrógeno que se libera o inmoviliza durante la mineralización de la *Canavalia ensiformis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1. Mineralización del nitrógeno de la Canavalia ensiformis en condiciones controladas. Se ejecutó un experimento en condiciones controladas de temperatura y humedad, donde se evaluó la mineralización del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis*, mediante el método de incubación aeróbica.

El suelo utilizado fue un Ferralítico Rojo compactado, según el mapa 1:25 000 de la Dirección Nacional de Suelos, que se corresponde con un Ferralítico Rojo compactado éutrico (10), ubicado en la localidad de San José de las Lajas, La Habana y sus principales características químicas se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Principales características químicas del suelo utilizado (0-20 cm) Experimento 1

pH	MO (%)	P (ppm)	K (cmol.kg ⁻¹)	Ca (cmol.kg ⁻¹)	Mg (cmol.kg ⁻¹)	NH ₄ ⁺ -N (ppm)	NO ₃ ⁻ -N (ppm)
6.3	2.64	475	0.44	11.2	2.3	12.91	6.06

Determinaciones químicas:

pH H₂O potenciómetro, MO Walkley Black, P Oniani, Cationes NH₄Ac pH 7 (11)

N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻ Bremmer 1965.(12)

Como material vegetal se utilizó la especie *Canavalia ensiformis*. Se estudió la velocidad de mineralización del sistema aéreo completo (hojas + tallos), además de dos tratamientos de referencia, uno el testigo con suelo y sin

la adición de ninguna fuente nitrogenada y otro al que se le adicionó 75 ppm de nitrógeno como urea (Tabla II). Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres réplicas.

Tabla II. Tratamientos estudiados y dosis de nitrógeno aplicadas. Experimento 1

Tratamientos	Dosis aplicadas	
	mg MS/frasco	mg N/frasco
<i>Canavalia ensiformis</i> Tallos+Hojas	30 + 45	1.38 (46 ppm)
Fertilizante mineral (urea)	-	2.25 (75 ppm)
Testigo	-	0

El suelo se secó al aire, se tamizó y posteriormente se introdujo en frascos de vidrio de 6.27 cm de diámetro exterior y 10.69 cm de altura, dosificándose a razón de 30 g/frasco. El material vegetal, finamente molido, se adicionó a dosis de 0.25 % (p/p) equivalentes a 5 t masa seca.ha⁻¹, es decir, 75 mg de material vegetal/frasco, mezclándose con el suelo dentro del frasco.

En cada frasco se adicionó agua hasta alcanzar el 65 % de la capacidad de campo, sellándose con una cubierta de polietileno blanco y realizándose pequeños orificios con aguja hipodérmica de diámetro 0.075 mm para permitir el intercambio gaseoso. El porcentaje de la capacidad de campo se mantuvo constante por pesada y adición de agua cada cinco días. La capacidad de campo se determinó por el método gravimétrico, realizándose por triplicado, 24, 48 y 72 horas después de aplicar un riego controlado. Los valores de esta fueron de 39.43, 37.16 y 35.78 % para las 24, 48 y 72 horas respectivamente. Los recipientes se colocaron en incubadora a 30°C y se mantuvo este régimen durante 120 días.

Los muestreos se realizaron a los 7, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 120 días de incubación, utilizándose tres réplicas en cada muestreo. Las determinaciones de NH₄⁺ y NO₃⁻ en el suelo se realizaron siguiendo la metodología descrita por Bremmer (12), mediante agitación durante una hora con solución extractiva de KCl 1N y una relación suelo:solución de 1:3.

El nitrógeno mineral se calculó a partir de la suma de las dos fracciones evaluadas. La mineralización o inmovilización neta se estimó, restándole a las concentraciones de las formas minerales de los diferentes tratamientos la concentración respectiva del tratamiento control (suelo).

Experimento 2. Mineralización del nitrógeno de la Canavalia ensiformis en condiciones de macetas. Se llevó a cabo un experimento en condiciones de macetas sembradas de maíz, donde se evaluó la mineralización del nitrógeno de la *Canavalia ensiformis*. El suelo utilizado también fue un Ferralítico Rojo compactado, según el mapa 1:25 000 de la Dirección Nacional de Suelos, que se corresponde con un Ferralítico Rojo compactado éutrico (10), ubicado en la localidad de San José de las Lajas, en La Habana y las principales características químicas se muestran en la Tabla III.

Tabla III. Principales características químicas del suelo utilizado. Experimento 2

pH	MO (%)	P (ppm)	K	Ca	Mg	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N
			Cmol.kg ⁻¹			ppm	
7.03	3.14	363.67	1.18	19.83	1.43	7.81	17.37

Determinaciones químicas:

pH H₂O potenciómetro, MO Walkley Black, P Oniani, Cationes NH₄Ac pH 7 (11)

N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻ Bremmer 1965 (12).

El suelo se colocó en macetas plásticas de 5 kg de capacidad. Los tratamientos estudiados se muestran en la Tabla IV, así como las cantidades de N aplicadas en cada tratamiento y su enriquecimiento.

Tabla IV. Tratamientos estudiados y dosis de nitrógeno aplicadas. Experimento 2

Tratamientos	Dosis de N mg N/maceta	at % ¹⁵ N exc/maceta
Fertilizante mineral ¹⁵ N	500	5.1045
Abono Verde- ¹⁵ N	500	3.664
Abono Verde- ¹⁵ N+Fertilizante mineral	500	1.832
Testigo	0	-

Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado para estudiar el efecto de dos fuentes nitrogenadas por separado y la combinación de ambas sobre la nutrición del maíz. En el primer tratamiento se aplicó fertilizante mineral en forma de (NH₄)₂SO₄ enriquecido con un 5.1045 at% ¹⁵N exc. En el segundo tratamiento se aplicó *Canavalia ensiformis*, con un 3.664 at% ¹⁵N exc. de enriquecimiento. En el tercer tratamiento se combinaron ambas fuentes, estando el enriquecimiento presente en el abono verde y alcanzándose en la mezcla un 1.832 at% ¹⁵N exc. En todos estos casos se aplicaron 500 mg N por maceta. El cuarto tratamiento consistió en un testigo absoluto que no recibió ninguna fuente externa de nitrógeno.

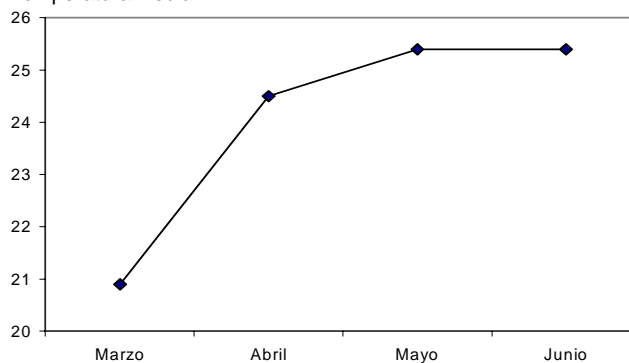
La *Canavalia ensiformis* se obtuvo previamente en condiciones de parcelas experimentales, marcándose con una solución el NH₄NO₃ enriquecido con un 10 at % ¹⁵N exc. A los 60 días de edad se cortaron las plantas y se secaron en estufa a 60°C, con posterioridad se molieron y se enterró manualmente a 10 cm de profundidad en las macetas. El maíz, variedad Francisco mejorado, se sembró a los 11 días después de la incorporación del abono verde. El fertilizante mineral se aplicó en el momento de la siembra, el 50 % de la dosis y el resto a los 30 días después de la siembra.

La temperatura, humedad relativa y las precipitaciones promedio mensuales que prevalecieron durante el tiempo que duró el experimento se muestran en la Figura 1.

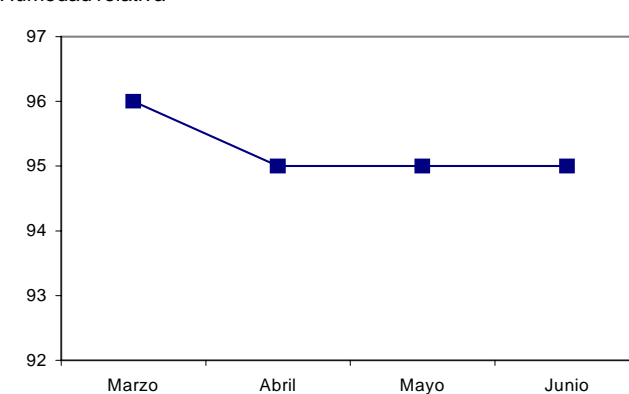
Diariamente se regaron las macetas, excepto en los días de lluvia.

Los muestreos se realizaron a los 15, 30, 45 y 60 días después de la germinación del maíz, utilizándose tres réplicas en cada muestreo.

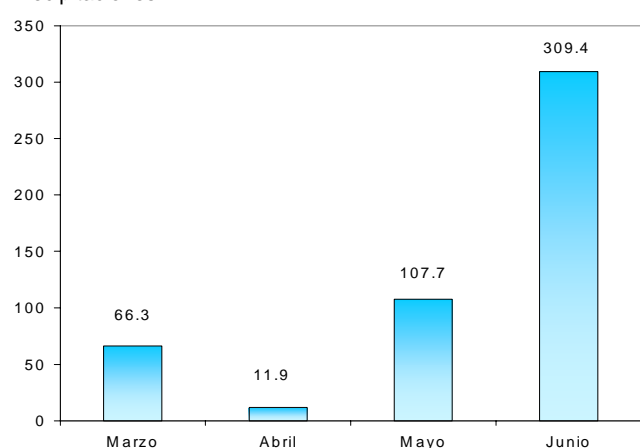
Temperatura media



Humedad relativa



Precipitaciones


Figura 1. Valores medio mensuales de temperatura, precipitaciones y humedad relativa. Estación Meteorológica de Tapaste. La Habana, Cuba, 1999

Las determinaciones de NH₄⁺ y NO₃⁻ en el suelo, se realizaron de la misma manera que en el experimento 1.

La composición química de la *Canavalia ensiformis* utilizada en los dos experimentos se muestra en la Tabla V.

Tabla V. Contenido de nutrientes de las plantas de *Canavalia ensiformis* empleadas en los experimentos 1 y 2

<i>Canavalia ensiformis</i> (planta completa)	Relación tallos:hojas	% N	% C	Relación C:N	% P	% K
Experimento 1	0.66	2.20	42.40	19.50	0.20	0.40
Experimento 2	0.69	3.14	42.40	13.50	0.22	1.53

Los resultados obtenidos en ambos experimentos se procesaron, aplicándose los estadígrafos de medias y desviación estándar poblacionales, auxiliándose del programa Analest 2.0 (13). A su vez se determinaron las ecuaciones de las líneas de tendencia aplicando el programa Excel de Microsoft Office '97.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mineralización de la Canavalia ensiformis en condiciones controladas. Se observó una inmovilización inicial del nitrógeno de la canavalia, el que alcanzó valores máximos de 13.3 % del N aplicado y con posterioridad, a partir de los 75 días, comenzaron a liberar nitrógeno al suelo, alcanzándose al finalizar el experimento un 18 % del N aplicado en forma mineral (Figura 2).

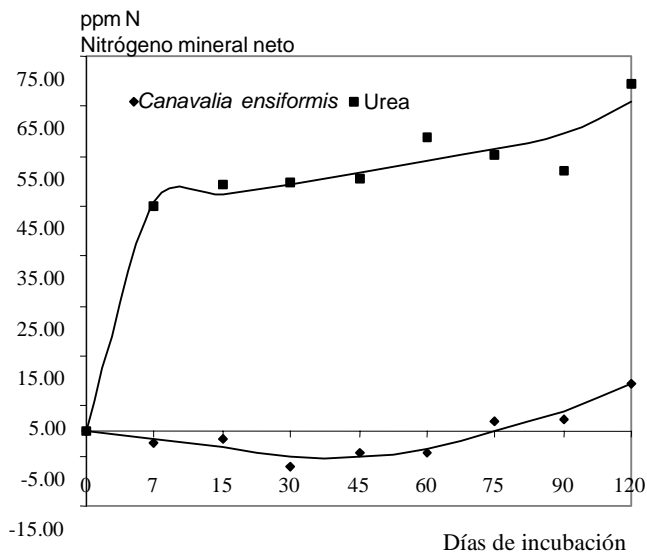


Figura 2. Mineralización de la *Canavalia ensiformis* en condiciones de laboratorio. Experimento 1

Estos resultados están en correspondencia con las relaciones C:N de este material y la proporción existente entre los diferentes órganos de las plantas estudiadas y reafirman la importancia que tienen las proporciones entre tallos, hojas y raíces en el control de la velocidad de descomposición de los abonos verdes (7). El nitrógeno inicialmente inmovilizado puede ser liberado posteriormente debido a la disminución de la relación C:N, producto de la propia participación del nitrógeno del suelo en el proceso de mineralización.

La descomposición de las plantas incorporadas resulta primeramente en una inmovilización neta del nitrógeno mineral del suelo; es por esto que la intensidad y duración de esta inmovilización depende de su contenido de nitrógeno; además, plantas con bajo contenido de nitrógeno todavía inducen inmovilización después de 168 días de incubación (14).

Cuando se emplean especies de abono verde con una relación C:N baja, o sea, una menor relación tallos:hojas (< 1), el nitrógeno incorporado con estas plan-

tas se mineraliza muy rápido, sobre todo si ocurre en el período lluvioso con altas temperaturas y esto provoca que el nitrógeno tenga una menor permanencia en el campo. En este caso hay que evitar las siembras del cultivo principal muy alejadas de la incorporación de los abonos verdes, para lograr una buena sincronía entre la mineralización del nitrógeno y las demandas de este elemento, todo lo cual repercutirá en los rendimientos y la eficiencia agronómica del agrosistema (3).

Hay autores que plantean que aunque los rangos de descomposición del material vegetal añadido al suelo dependan de numerosos factores biológicos y ecológicos, la composición química de las plantas es el factor más importante de la mineralización (2,15,16).

En el tratamiento donde se aplicó fertilizante mineral en forma de urea, esta hidrolizó muy rápidamente, alcanzando ya, a los primeros siete días de incubación, el 60 % del nitrógeno mineralizado con respecto al aportado. Los incrementos de nitrógeno mineral neto que ocurren con el transcurso del período de incubación en este tratamiento indican que hubo una leve inmovilización inicial del nitrógeno, la cual, a medida que se fue desarrollando el experimento, se liberó como nitrógeno mineral al suelo.

De manera general, se puede señalar que en el comportamiento observado con la canavalia, fue decisivo el que las plantas estuvieran finamente molidas, ya que de esta manera se incrementó significativamente la velocidad de descomposición del material vegetal, en relación con la velocidad a que se debe manifestar esta descomposición en las condiciones de incorporación del material en el campo, lo cual debe ser la explicación de la inmovilización inicial que ocurrió en este experimento.

Mineralización de la Canavalia ensiformis en condiciones de macetas. Experimento 2. En la Figura 3 se observa el comportamiento del nitrógeno mineral del suelo durante el transcurso del experimento. Los abonos verdes se aplicaron al suelo y en el momento de la siembra del maíz; 11 días después de la incorporación, estos tratamientos presentaron una inmovilización debida a la descomposición inicial que sufre el material vegetal. A partir de los 15 días después de la germinación del maíz, o sea, 26 días después de la incorporación de la *Canavalia ensiformis*, se observó mineralización neta del nitrógeno, acompañada de un brusco descenso en su contenido, explicable en base al alto ritmo de absorción realizada por el cultivo.

Esto ha ocurrido porque, al parecer, las condiciones alternas de humedad y secamiento aceleran el proceso de mineralización (17, 18).

La mineralización del nitrógeno en suelos sometidos a condiciones alternas de períodos seco y húmedo es el doble que la mineralización obtenida cuando los suelos están sometidos a condiciones de humedad constante (19). La mayoría de los suelos tropicales pasan por estos períodos, lo que probablemente favorece la actividad microbiana del suelo (20), o tal vez, una mayor accesibilidad del humus a los microorganismos por la contracción o hinchamiento de los minerales arcillosos (21).

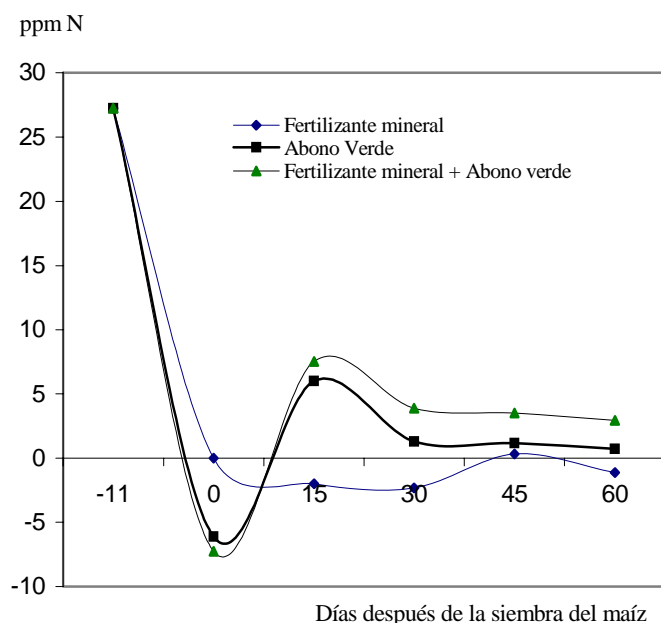


Figura 3. Mineralización de la *Canavalia ensiformis* en condiciones de macetas (nitrógeno mineral neto)

La inmovilización del nitrógeno aumenta por la adición de fertilizantes de origen mineral y orgánico (22). Este comportamiento se debe a que inicialmente se estimula la actividad de los microorganismos del suelo, los que fijan el N incorporado con las distintas fuentes, debido a la necesidad de nutrientes demandada por su metabolismo.

Además, la rizosfera de las gramíneas puede inmovilizar nitrógeno, debido al conjunto de microorganismos asociados a ella, en comparación con suelos que no están cultivados o con especies de plantas pertenecientes a la familia *Leguminosae* (23).

En *Brachiaria* se ha encontrado poco incremento en la concentración de N-NO_3^- , sugiriendo que la presencia de las raíces de las plantas, en primer lugar, estimula el proceso de nitrificación y, en segundo lugar, que las gramíneas son especies que absorben tan activamente el N del suelo, incluyendo a la fracción nitrato, que no permiten que el N-NO_3^- se acumule en el suelo y que se detecte la nitrificación (24).

La presencia de las raíces de las plantas en condiciones de campo o macetas activan la actividad microbiana, aunque aún no hay un método perfeccionado para determinar su influencia sobre el proceso de mineralización (25).

Por otra parte, se ha demostrado la influencia que las plantas pueden tener sobre la mineralización neta del nitrógeno del suelo. Este efecto es considerado real si el desarrollo de las raíces y la eficiencia en la absorción fue mayor, como resultado de la adición de una fuente nitrogenada, demostrándose la estrecha relación existente entre la mineralización del nitrógeno y su absorción por las plantas (26).

Análisis conjunto de los resultados obtenidos en los dos experimentos. Las diferencias en los rangos de mineralización entre los experimentos de laboratorio y campo no pueden ser fácilmente explicadas, debido a que el procesamiento del suelo para la incubación cambia el acceso físico a los tenores de nitrógeno orgánico o causa alteraciones en la comunidad microbiana del suelo. La diferencia entre los rangos de mineralización sugieren que los estimados de mineralización del laboratorio sean utilizados con cautela (27).

Sin embargo, los experimentos muestran que el cálculo del nitrógeno mineralizado proveniente de pruebas de incubación involucran el nitrógeno lavado y esto sobrestima el nitrógeno mineralizado en el campo en las mismas condiciones; además, el nitrógeno mineral en campo y macetas es menor que en condiciones de laboratorio, debido a la presencia de las plantas y a la activa absorción que estas realizan del elemento.

También hay que tener en cuenta que en condiciones de campo, la mineralización del nitrógeno se incrementa con la adición de fertilizantes nitrogenados, la alta intensidad del laboreo del suelo y la alta extracción de los cultivos.

Todo esto hace que el valor de los experimentos de laboratorio sean, sobre todo, para comparar diferentes tratamientos y/o evaluar la influencia por separado de los diferentes factores que intervienen en este complejo fenómeno, que es la descomposición de los residuos vegetales (28).

REFERENCIAS

- Bordón, D. A. Efecto del abono verde sobre el cultivo del maíz. En Diálogo XLIII Maíz: Sistemas de producción. Programa cooperativo para el desarrollo tecnológico agropecuario del Cono Sur. PROCISUR. IICA. Montevideo, Uruguay. 1995. 188 p.
- Coyne, M. S.; Zhai, Q.; MacKown, C. T. y Barnhisel, R. I. Gross nitrogen transformation rates in soil at a surface coal mine site reclaimed for prime farmland use. *Soil Biol. Biochem.*, 1998, vol. 30, no. 8-9, p. 1099-1106.
- García, M. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. [Tesis de grado], INCA. 1997. 98 h.
- MacKenzie, J. Green manure cover crops for Minnesota. 2000. Consultado [19-5-2000]. Disponible en: <http://www.3.extension.umn.edu/projects/yardandgarden/ygbriefs/H234_greenm.html>.
- Álvarez, M. Los abonos verdes: una alternativa para la producción sostenible de maíz en las condiciones de los suelos Ferralíticos Rojos de La Habana. [Tesis de Maestría], UNAH, 2000, 69 p.
- Alvarez, M.; García, M. y Treto, E. Eficiencia del N incorporado con los abonos verdes en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 3, p. 49-53.
- Urquiaga, S. *et al.*. Potencial de la fijación biológica del nitrógeno en la productividad de sistemas agrícolas de América Latina: Conferencia. En: Boletín de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. 2001, vol. 4, no. 5. CD-ROM. ISSN 1609-1876, 2001.

8. Rasiah, V. y Kay, B. D. Legume N mineralization: effect of aeration and size distribution of water-filled pores. *Soil Biol. Biochem.*, 1998, vol. 30, no. 1, p. 89-96.
9. Rivera, R.; Martín, G. M. y Pérez, D. Efecto de la temperatura sobre la mineralización del nitrógeno de dos especies de abonos verdes en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 1999, vol. 20, no. 2, p. 15-19.
10. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana : Agrinfor, 1999. 64 p.
11. Paneque, V. M. /et al./ Manual de técnicas analíticas para suelo, foliar y fertilizantes químicos. La Habana : INCA. 2000. 72 p.
12. Da Silva, F. C. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Brasília : EMBRAPA, 1999. 134 p.
13. ICA. Analest: Sistema automatizado para el análisis estadístico. Versión 2.0. ICA. [disquette]. 1998.
14. Trinsoutrota, I. /et al./ C and N fluxes of decomposing ¹³C and ¹⁵N *Brassica napus* L: effects of residue composition and N content. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, vol. 32, no. 11-12, p. 1717-1730.
15. Gunadi, B.; Verhoef, H. A. y Bedaux, J. J. M. Seasonal dynamics of decomposition of coniferous leaf litter in a forest plantation (*Pinus markusii*) in Central Java, Indonesia. *Soil Biol. Biochem.*, 1998, vol. 30, no. 7, p. 845-852.
16. Vigil, M. F. Factors affecting the rate of crop residue decomposition under field conditions. *Conservation Tillage Fact Sheet*, 2001, no. 3-95.
17. Franzluebbers, K.; Weaver, R. W. y Juo, A. S. R. Carbon and nitrogen mineralization from cowpea plants part decomposing in moist and in repeatedly dried and wetted soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1994, vol. 26, no. 10, p. 1379-1387.
18. Pilbeau, C. I.; Warren, G. P. y Ahmad, N. Use of ¹⁵N for fertilizer N recovery and N mineralization on studies in semi - arid Kenya. Nitrogen economy in tropical soils. *Fertilizer-Research.*, 1995, vol. 42, 1-3, p. 123-128.
19. Coutinho, J. /et al./ Efeito da secagem e re-humedecimento do solo: modelos cinéticos de estimativa do N mineralizável. Comisión III. Biología y Bioquímica del Suelo. XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programa y Resúmenes. Boletín de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. 2001, vol. 4, no. 5. CD-ROM. ISSN 1609-1876. 2001.
20. Sánchez, P. A. Suelos del trópico. Características y manejo. San José : IICA, 1981, 634 p.
21. Stevens, R. J.; Laughlin, R. J. y Malone, J. P. Soil pH affects the processes reducing nitrate to nitrous oxide and dinitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, vol. 30, no. 8-9, p. 1126-1149.
22. Ma, B. L.; Dwyer, L. M. y Gregorich, G. E. Soil nitrogen amendment effects on seasonal nitrogen mineralization and nitrogen cycling in maize production. *Agronomy Journal*, 1999, vol. 91, no. 6, p. 1003-1009.
23. Breland, T. A. y Bakken, L. R. Microbial growth and nitrogen immobilization in the root zone of barley (*Hordeum vulgare* L.), Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) and white clover (*Trifolium repens* L). *Biol. Fertil. Soils.*, 1991, vol. 12, p. 154-160.
24. Miranda, C. H. B.; Cadish, G.; Urquiaga, S.; Miranda, C. H. B.; Boddey, R. M. y Giller, K. E. Mineral nitrogen in an oxisol from the Brazilian cerrados in the presence of *Brachiaria* spp. *Eur. J. Agron.*, 1994, vol. 3, no. 4, p. 333-337.
25. Delphin, J. E. Estimation of nitrogen mineralization in the field from an incubation test and from soil analysis. *Agronomie*, 2000, vol. 20, p. 349-361.
26. Thönnissen, C. /et al./ Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.*, 2000, vol. 92, p. 253-260.
27. Albrecht, S. L.; Collins, H. P.; Douglas, C. L. y Rasmussen, P. E. Long-term cropping system effects on mineralizable nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1999, vol. 30, no. 13, p. 1829-1837.
28. Martín G. M. Mineralización del nitrógeno de los abonos verdes y su participación en la nutrición nitrogenada del maíz (*Zea mays* L.) cultivado sobre un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. [Tesis de Maestría], INCA, 2002, 73 h.

Recibido: 25 de abril de 2003

Aceptado: 29 de diciembre de 2003