

# PARTICIPACIÓN DEL NITRÓGENO DE LOS ABONOS VERDES EN LA NUTRICIÓN NITROGENADA DEL MAÍZ (*Zea mays* L.) CULTIVADO SOBRE SUELO FERRALÍTICO ROJO

Gloria M. Martín<sup>✉</sup> y R. Rivera

**ABSTRACT.** The present research work was carried out with the objective to study green manure nitrogen efficiency; such manures were used as a preceding crop with corn grown on a Ferralitic Red soil. The participation degree of different nitrogen fertilizers (green manure and mineral fertilizer) was studied in corn nitrogen nutrition by means of isotopic and difference methods. A pot experiment was conducted, studying comparatively the effect of *Canavalia ensiformis* and mineral fertilizer (ammonium sulphate), and the combination of these two sources on corn nitrogen nutrition. Results showed that corn crop increases mineralization process and green manure N availability. Besides, corn has a strong and significant response to N fertilization, the treatment combining green manure and mineral fertilizer being notable, as the highest dry weight and N content were recorded, reaching by this combination green manure N profitability coefficients of up to 68 %. The applied N mineralization was so fast that 30 days after, practically there were not any mineral N in pots, as a direct consequence from its active absorption by corn plants.

**RESUMEN.** El presente trabajo se realizó con el objetivo de estudiar la eficiencia del nitrógeno incorporado con los abonos verdes, utilizados como precedente en el cultivo del maíz en un suelo Ferralítico Rojo de La Habana. Para ello, se estudió el grado de participación de diferentes fuentes de nitrógeno (abonos verdes y fertilizante mineral) en la nutrición nitrogenada del maíz, mediante los métodos isotópico y de las diferencias. El experimento se condujo en condiciones de macetas (5 kg) y se estudió comparativamente el efecto de la *Canavalia ensiformis* y del fertilizante mineral (sulfato de amonio), así como estas dos fuentes mezcladas sobre la nutrición nitrogenada del maíz. Se pudo observar que la presencia de las plantas de maíz intensifica el proceso de mineralización y disponibilidad del nitrógeno de los abonos verdes; además, este cultivo tiene una fuerte y significativa respuesta a la fertilización nitrogenada, destacándose el tratamiento que combina el uso de abono verde y fertilizante mineral, con el cual se obtuvo un mayor rendimiento en masa seca y contenido de nitrógeno, lográndose con esta combinación coeficientes de aprovechamiento del nitrógeno de los abonos verdes de hasta 68 %. La mineralización del N aplicado ocurrió rápidamente y a los 30 días (ddg) prácticamente no se encontró N mineral en las macetas, consecuencia directa de la activa absorción de este elemento por las plantas de maíz.

**Key words:** green manures, corn, available nitrogen

**Palabras clave:** abonos verdes, maíz, nitrógeno asimilable

## INTRODUCCIÓN

En los países del Tercer Mundo, las mayores producciones de maíz son realizadas generalmente por pequeños agricultores, los cuales deben añadir cada vez mayor cantidad de fertilizantes químicos para obtener los mismos rendimientos. Además, los precios de los agroquímicos se incrementan alrededor del 30 % cada año (1).

En Cuba, la producción de este cereal no ha escapado de la situación anterior, porque 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.

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, incluido nuestro país (2, 3, 4), no sólo 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, 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 (5).

En ese sentido, para ordenar y sistematizar una rotación de cultivos, se debe conocer el grado de aprovechamiento de los nutrientes incorporados con los abonos verdes por los cultivos sucesores, lo cual depende en gran medida de la dinámica de descomposición de los abonos verdes. Es por esta razón que se efectuó el presente trabajo, teniendo como objetivos:

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.

<sup>✉</sup> gloriam@inca.edu.cu

- comparar la participación de diferentes fuentes de suministro de nitrógeno, abonos verdes, fertilizante mineral y su combinación, en la nutrición nitrogenada del maíz, utilizando los métodos isotópico y de las diferencias
- evaluar la influencia de las diferentes fuentes de nitrógeno estudiadas sobre el proceso de nitrificación en un suelo Ferralítico Rojo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la participación del N-*Canavalia ensiformis*, del fertilizante nitrogenado y de una combinación de estos sobre la nutrición nitrogenada del maíz mediante el método isotópico y el de las diferencias, se realizaron dos experimentos en el período comprendido entre marzo-junio de 1999 y marzo-junio del 2000, empleándose el mismo esquema, diseño y metodología de trabajo en ambas ocasiones.

Se utilizaron macetas que contenían: 5 kg de suelo Ferralítico Rojo (6), Ferralsol (FAO UNESCO), Oxisol (Soil Taxonomy) proveniente del Área Central del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, ubicada a 138 m sobre el nivel del mar y cuyas principales características químicas iniciales se presentan en la Tabla I.

**Tabla I. Características del suelo utilizado**

pH	M.O	P	K	Ca	Mg	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
H <sub>2</sub> O	(%)	(ppm)		(Cmol.kg <sup>-1</sup> )			(ppm)
7.03	3.14	363.67	1.18	19.83	1.43	7.81	17.37

Determinaciones químicas:

pH H<sub>2</sub>O potenciómetro, MO Walkley Black, P Oniani, Cationes NH<sub>4</sub>Ac pH 7 (7), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (8)

El suelo presenta un contenido medio de materia orgánica y un pH neutro, con un alto contenido de Ca y relativamente bajo de Mg, de acuerdo con la alta relación Ca/Mg encontrada. Los contenidos de fósforo y potasio fueron altos y propios de fertilizaciones previas realizadas. Estos suelos pertenecen a la Gran Llanura Roja Habana-Matanzas y son muy explotados con fines agrícolas debido a su alta productividad.

Las macetas se colocaron en el área no tapada del invernadero del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. Se aplicó además riego cada dos días para garantizar los requerimientos hídricos de las plantas.

Los tratamientos estudiados se muestran en la Tabla II, así como las cantidades de N aplicadas en cada tratamiento y su enriquecimiento, expresado este último como porcentaje de átomos de <sup>15</sup>N en exceso en el material vegetal o el fertilizante.

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 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> enrique-

cido con un 5.1045 at% <sup>15</sup>N exc. En el segundo tratamiento se aplicó *Canavalia ensiformis*, con un 3.664 at% <sup>15</sup>N 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% <sup>15</sup>N 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.

**Tabla II: Tratamientos estudiados**

Tratamientos	Dosis de N aplicadas		At % <sup>15</sup> N exc/maceta
	ppm/maceta	mg N/maceta	
Fertilizante mineral <sup>15</sup> N	100	500	5.1045
Abono verde- <sup>15</sup> N	100	500	3.664
Abono verde- <sup>15</sup> N+	100	500	1.832
Fertilizante mineral			
Testigo	0	0	-

El fertilizante mineral se aplicó fraccionado al 50 % en el momento de la siembra y el resto se añadió 30 días después. El abono verde se incorporó al suelo 11 días antes de realizar la siembra del maíz y la aplicación del nitrógeno mineral.

Las plantas de *Canavalia ensiformis* que se emplearon en este experimento crecieron previamente en canaletas, con una distancia entre plantas de 20 cm y un total de 24 plantas por canaleta. Cada tres días se les añadió 10 mL de una mezcla de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> con un 9.72 at% <sup>15</sup>N exc de enriquecimiento. A los 60 días de edad se extrajo la parte aérea de las plantas (hojas y tallos), se secó en estufa a 70 °C durante una semana y se desmenuzó en un molino de cuchillas y tamiz de 0.5 mm.

En el tratamiento donde sólo se aplicó abono verde, se trabajó con una dosis de 20.36 g de material vegetal por maceta (8.144 t MS.ha<sup>-1</sup>), mezclándose bien con el suelo. En el tratamiento donde se combinaron las dos fuentes de nitrógeno se aplicó 10.18 g de material vegetal por maceta (4.072 t MS.ha<sup>-1</sup>) y 250 mg N en forma de fertilizante mineral, el cual también se fraccionó al 50 % en la siembra del maíz y el restante 30 días después de la siembra.

Se aplicó una dosis de 60 mg.kg suelo<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 180 mg.kg suelo<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O como fertilización de fondo a todos los tratamientos en el momento de la incorporación de los abonos verdes, manteniendo la humedad constante por riego para lograr una estabilidad de estos elementos en la solución del suelo.

A los 11 días después de la incorporación del abono verde, se procedió a la siembra del maíz, variedad criolla «Diente de Caballo», a razón de tres semillas por maceta. Las semillas sembradas germinaron totalmente una semana después de esta operación.

*Análisis químico de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo.* Se realizó siguiendo la metodología descrita por Bremmer (8). La determinación de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se realizó en el momento de la incorporación de los abonos verdes, en el

momento de la siembra y a los 15, 30, 45 y 60 días después de la germinación, realizando las extracciones por triplicado, mediante agitación durante una hora con solución extractiva de KCl 1N y una relación suelo:solución de 1:3.

A continuación se determinó el  $N-NH_4$  por destilaciones sucesivas, con arrastre de vapor en presencia de MgO, adicionando "aleación Devarda" para la determinación de los nitratos. 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 (testigo).

**Absorción del N y participación de las fuentes de N en la nutrición nitrogenada del maíz.** Se realizaron muestreos de plantas completas a los 15, 30, 45 y 60 días después de la germinación en la primera repetición del experimento y a los 15, 45 y 60 días en la segunda repetición, utilizándose tres réplicas en cada muestreo. En todos los casos se determinó la masa seca de la parte aérea y de las raíces del maíz y el porcentaje de N por digestión húmeda con  $H_2SO_4$  y determinación del N por el método de destilación en presencia de NaOH al 40 % (microKjeldahl). El at % exc  $^{15}N$  foliar se determinó en un espectrómetro de emisión NOI - 6; a partir de las anteriores variables se calculó la extracción de N y los coeficientes de aprovechamiento real y aparente del N- fertilizante y N-abonos verdes utilizando las siguientes ecuaciones (9):

**Método isotópico**

$$\% Nddf = \frac{\text{at } \% ^{15}N \text{ exc muestra (planta)}}{\text{at } \% ^{15}N \text{ exc fertilizante aplicado}}$$

$$\% \text{ utilización} = \frac{\% Nddf * N \text{ total absorbido (kg.ha}^{-1}\text{)}}{\text{Dosis fertilizante aplicado (kg.ha}^{-1}\text{)}}$$

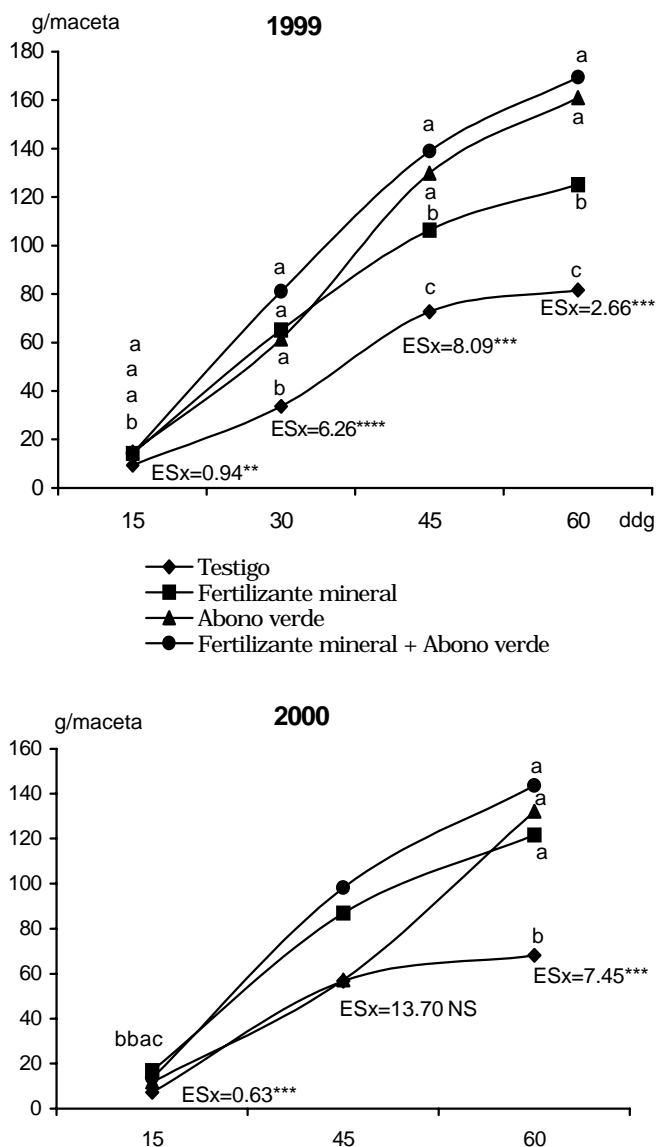
**Método de las diferencias**

$$\% \text{ utilización} = \frac{\text{kg N.ha}^{-1} \text{ extraído (variante fertilización mineral)} - \text{kg N.ha}^{-1} \text{ extraído (variante control)}}{\text{Dosis fertilizante aplicado (kg.ha}^{-1}\text{)}} * 100$$

Los resultados de las evaluaciones fueron procesados de acuerdo con el diseño experimental utilizado, docimándose las medias de los tratamientos sobre la base de la prueba de Rangos Múltiples de Duncan, empleando el programa Analest 2.0 (10).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Efecto de las fuentes nitrogenadas en la nutrición del cultivo.** Se encontró una fuerte y significativa respuesta de las plantas de maíz a la aplicación de nitrógeno, teniendo un mayor desarrollo vegetativo los tratamientos a los que se les aplicó las fuentes nitrogenadas, manifestándose por el aumento de la masa seca total durante todo el ciclo del cultivo analizado (Figura 1) y alcanzando los mayores acumulados el tratamiento donde se combinaron las dos fuentes nitrogenadas.



**Figura 1. Influencia de los tratamientos en la masa seca total (parte aérea + raíces) del cultivo del maíz**

Este tipo de respuesta ha sido encontrada por numerosos autores (2, 3, 11), en varios cultivos de interés económico como papa, malanga, calabaza y maíz, entre otros, los cuales alcanzan los mayores desarrollos vegetativos y rendimientos cuando combinan el empleo de los abonos verdes con dosis medias de fertilizante N mineral.

Además, las plantas utilizadas como abonos verdes influyeron positivamente en la nutrición nitrogenada y crecimiento del maíz, obteniéndose resultados superiores que con el tratamiento que recibió fertilizante mineral nitrogenado.

El mayor desarrollo se observó cuando se utilizó la combinación de fertilizante mineral y abono verde, ya que la adición de fertilizante mineral acelera la descomposición de los restos vegetales añadidos al suelo y suministran N disponible para el cultivo y probablemente de esta

forma las plantas de maíz tuvieron una mayor disponibilidad de nitrógeno durante la etapa del ciclo de vida estudiada y se evita la competencia entre plantas y microorganismos por este elemento (12).

Resultados similares han sido alcanzados (4, 5) utilizando una rotación leguminosas-maíz, la cual es muy recomendada mundialmente, debido al aporte de N al sistema por parte de la leguminosa a través de la fijación biológica del nitrógeno.

Por su parte, se informa que la asociación de los abonos verdes más el maíz aumenta los rendimientos de este cultivo (13) y, en particular, la combinación con mucuna logra además un efectivo control de la vegetación indeseable. Lo mismo plantean otros autores (14) que obtuvieron los mejores resultados con la mucuna, la crotalaria y el frijol gandul, los cuales además de suplementar los requerimientos nutricionales de nitrógeno, actúan como controladores de nemátodos.

Todos estos resultados confirman las posibilidades de la sustitución parcial o total del fertilizante mineral y su combinación con los abonos verdes para la producción de maíz obteniendo altos rendimientos.

*Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre la extracción de nitrógeno por el cultivo del maíz.* Analizando la absorción de nitrógeno realizada por el cultivo, se observa que, de manera general, los tratamientos que recibieron nitrógeno son los que realizaron las mayores extracciones del elemento con respecto al testigo, dejando clara la necesidad de aplicar nitrógeno para el cultivo del maíz en estos suelos. El tratamiento donde se combinaron las dos fuentes nitrogenadas bajo estudio presentó los mayores acumulados de extracción del elemento, según se observa en la Tabla III.

**Tabla III. Extracción de nitrógeno por las plantas de maíz (mg N/maceta)**

Tratamientos	Días después de la germinación			
	15	30	45	60
<b>1999</b>				
Testigo	194.46 c	246.11 c	399.93 c	502.84 c
Fertilizante mineral	345.52 a	432.12 b	535.83 b	633.12 b
Abono verde	291.96 b	444.47 b	538.17 b	663.99 b
Fertilizante mineral+abono verde	307.51 b	572.21 a	685.60 a	779.81 a
ES x	5.76***	7.01***	8.82***	9.51***
<b>2000</b>				
Testigo	160.50 b	382.87 b	408.14 b	
Fertilizante mineral	393.22 a	622.84 a	670.27 a	
Abono verde	209.23 b	621.54 a	641.86 a	
Fertilizante mineral+abono verde	325.76 a	725.90 a	706.05 a	
ES x	33.44**	46.70**	37.72**	

Estos resultados coinciden con los presentados por numerosos autores, que plantean la alta respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada, ya sea proveniente de fertilizantes minerales, abonos verdes o la combinación de ambos.

El maíz fertilizado con abonos verdes muestra en general mayores rendimientos y acumulación de nitrógeno y fósforo, y aumenta la disponibilidad de estos elementos en suelos bajo este sistema (1).

El coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno, determinado por el método isotópico, se ofrece en la Tabla IV.

**Tabla IV. Coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno aplicado en los distintos tratamientos. Método isotópico (%)**

Tratamientos	Días después de la germinación			
	15	30	45	60
<b>1999</b>				
Fertilizante mineral	20.18 a	23.09 b	17.88 b	20.32 b
Abono verde	12.20 b	28.18 b	20.85 b	20.66 b
Fertilizante mineral+abono verde	16.94 ab	48.42 a	39.14 a	42.53 a
ES x	1.62*	1.66***	1.74***	2.56**
<b>2000</b>				
Fertilizante mineral	23.37 a	37.71 b	44.03	
Abono verde	13.38 b	42.90 b	45.75	
Fertilizante mineral+abono verde	21.91 a	52.97 a	52.51	
ES x	2.19 *	1.55 **	4.30 NS	

Se puede observar que el cultivo tuvo un alto coeficiente de aprovechamiento, llegando a alcanzar valores entre el 42 y el 52 % en el tratamiento que combinó las dos fuentes nitrogenadas, asociado a las condiciones experimentales existentes, ya que las plantas que crecen en macetas, tienen a su disposición un pequeño volumen de suelo y realizan una mayor extracción por volumen de suelo que las plantas crecidas en campo abierto (15).

Estudiando la combinación de las dos fuentes nitrogenadas bajo estudio, se nota que de manera general este tratamiento tuvo un mejor comportamiento. Esto parece estar dado porque al parecer la interacción entre las dos fuentes provoca una mineralización más lenta que la provocada por el fertilizante mineral y más rápida que la que ocurre solo con el abono verde, lo que hace que las plantas de maíz de este tratamiento tengan a su disposición un mayor contenido de nitrógeno asimilable durante un mayor período de tiempo, ya que se intensifica el proceso de descomposición del abono verde.

Diversos autores han estudiado el efecto de los abonos verdes en la nutrición del maíz, encontrando coeficientes de aprovechamiento determinados por el método isotópico, que varían entre 30 y 72 % (16, 17, 18), dependiendo su valor de la relación tallos:hojas y en última instancia de la relación C:N de los abonos verdes empleados, además de las condiciones de manejo, los que harán que se retrase o acelere la mineralización del nitrógeno de los abonos verdes y pueda ser absorbido con una mayor eficiencia en el momento de mayor demanda del cultivo (sincronía).

El alto aprovechamiento del fertilizante mineral a los 15 días (ddg) indica la alta velocidad de hidrólisis que presenta, mientras que su posterior disminución con respecto a las otras fuentes bajo estudio se debe probablemente a las pérdidas nitrogenadas (desnitrificación, lava-

do y volatilización), lo cual coincide con los resultados obtenidos por algunos investigadores, los que han obtenido altos coeficientes de aprovechamiento en condiciones de macetas (19).

El coeficiente de aprovechamiento, determinado por el método de las diferencias, tuvo un comportamiento muy similar al obtenido por el método isotópico, aunque con mayores valores. El tratamiento con el mejor comportamiento fue el que combinó las dos fuentes nitrogenadas, llegando a alcanzar valores que oscilaron entre un 57 y un 68 % (Tabla V).

**Tabla V. Coeficiente de aprovechamiento del nitrógeno aplicado en los distintos tratamientos. Método de las diferencias (%)**

Tratamientos	Días después de la germinación			
	15	30	45	60
<b>1999</b>				
Fertilizante mineral	30.21 a	37.20 b	26.06 b	27.15 b
Abono verde	19.50 b	39.67 b	32.23 b	27.64 b
Fertilizante mineral+abono verde	22.61 b	65.22 a	55.39 a	57.13 a
ES x	1.36**	1.82***	2.99**	1.62***
Tratamientos	Días después de la germinación			
	15	45	60	
<b>2000</b>				
Fertilizante mineral	46.54 a	47.99	52.43	
Abono verde	16.41 b	47.73	46.74	
Fertilizante mineral+abono verde	33.10 ab	68.61	59.58	
ES x	6.14*	9.20 NS	10.59 NS	

El coeficiente de aprovechamiento determinado por ambos métodos fue muy superior al esperado, en base a los resultados de mineralización obtenidos anteriormente (20). En estos, cuando se trabajó con hojas de canavalia, sólo se encontró en forma mineral el 34.7 % del nitrógeno aplicado y disminuyó al 18 % cuando se trabajó con la planta completa, ascendiendo hasta 46 % en este caso, lo cual indicó que la presencia de las plantas de maíz intensifica el ciclo de este elemento en el suelo, acelerándose la formación de las formas minerales del elemento.

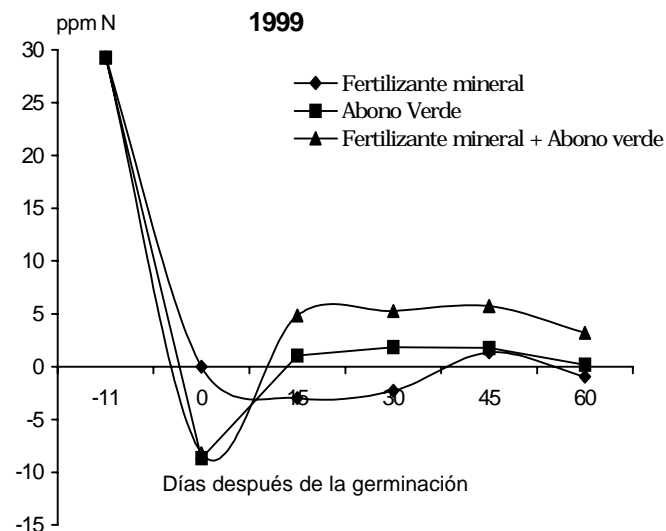
Resultados similares han sido encontrados (21), los que obtuvieron una mayor mineralización de los abonos verdes aplicados al suelo en un experimento en condiciones de macetas con maíz, cuando lo compararon con la incubación aeróbica realizada en ese mismo suelo.

Por su parte, otros autores encontraron coeficientes de aprovechamiento (22) que oscilaron entre 42 y 72 % para diferentes especies de abonos verdes y plantean que en estos resultados pudiera existir la influencia del efecto *priming*.

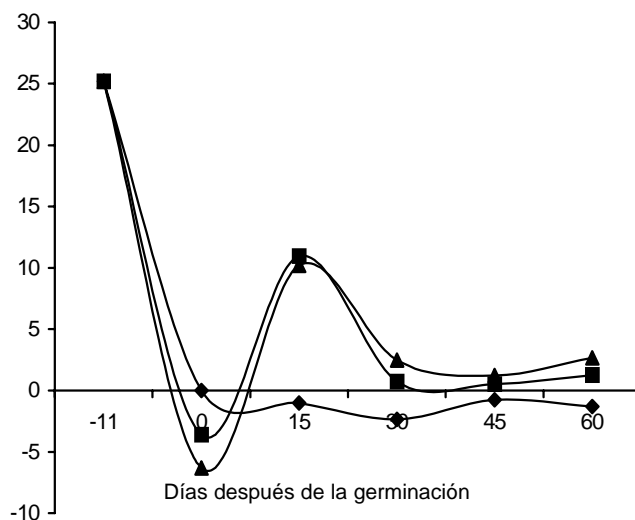
Por otra parte, el hecho de que el tratamiento combinado presentó un mayor aprovechamiento del N-abonos verdes que el tratamiento que solo recibió abonos verdes, es un indicativo de que pequeñas dosis de fertilizantes minerales intensifican la descomposición y posterior utilización del N de los abonos verdes por los cultivos subsiguientes.

Por su parte, trabajando también con abonos verdes y fertilizante nitrogenado en este cultivo, se planteó que la alta eficiencia en la absorción de nitrógeno (4) se debió a la incidencia de la baja relación C:N del material incorporado y las altas temperaturas que favorecieron la rápida mineralización del nitrógeno incorporado, factores que interactúan y se complementan en la disponibilidad de nitrógeno para las plantas de maíz.

*Influencia de las fuentes de nitrógeno (fertilizante mineral y abonos verdes) sobre la disponibilidad de N del suelo.* En la Figura 2 se observa el comportamiento del nitrógeno mineral del suelo durante el transcurso del experimento.



11 días antes de la siembra del maíz se incorporaron los abonos verdes



**Figura 2. Efecto de la descomposición de los diferentes tratamientos estudiados sobre el nitrógeno mineral neto del suelo**

Los abonos verdes se aplicaron al suelo 11 días después; en el momento de la siembra del maíz, estos tratamientos presentaron, en las dos repeticiones que tuvo el experimento, una inmovilización debida a la descomposición inicial que sufre el material vegetal.

A partir de los 15 días después de la germinación, se observó un brusco descenso en el contenido de nitrógeno mineral neto, explicable en base al alto ritmo de absorción realizada por el cultivo.

La mineralización del nitrógeno aumenta por la adición de fertilizantes de origen mineral y orgánico (22, 23). 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*.

Por su parte, se han tenido evidencias experimentales (24) que mostraron 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.

De manera general, se puede plantear que la presencia de las plantas de maíz intensifican el proceso de mineralización y disponibilidad del nitrógeno de los abonos verdes; además, el maíz tiene una alta respuesta a la fertilización nitrogenada, siendo el abono verde capaz de sustituir las necesidades totales de nitrógeno de este cultivo y obteniéndose los mejores resultados con la combinación de esta fuente orgánica y pequeñas dosis de fertilizante mineral.

## REFERENCIAS

1. Astier, M. Evaluación del potencial de leguminosas para ser utilizadas como abonos verdes en sistemas de maíz campesinos en suelos de Ando del altiplano de México. *Agricultura Sostenible. Tecnologías para su implementación*. En: Encuentro de Agricultura Orgánica. Libro Resumen. (4:2001:La Habana), 2001. p. 311.
2. 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, 1998, 98 p.
3. MacKenzie, J. Green manure cover crops for Minnesota. 2000. [Consultado 19/5/2000]. Disponible en: <[http://www3.extension.umn.edu/projcts/yardandgarden/ygbriefs/H234\\_greenm.html](http://www3.extension.umn.edu/projcts/yardandgarden/ygbriefs/H234_greenm.html)>
4. 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 grado], INCA, 2000, 69 p.
5. Álvarez, 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.
6. Cuba. MINAGRI. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Agrinford, 1999. 64 p.
7. Paneque, V. M. /et al./ Manual de técnicas analíticas para suelo, foliar y fertilizantes químicos. La Habana: INCA, 2000. 72 p.
8. Da Silva, F. C. Manual de análisis químicos de solos, plantas e fertilizantes. Brasilia: EMBRAPA, 1999. 134 p.
9. Rivera, R. Uso del isótopo <sup>15</sup>N en los estudios suelo-planta - suministro de nutrientes. En: Curso de técnicas isotópicas en la relación suelo-planta. [Tesis de Maestría], INCA, 1999.
10. ICA. Analest: Sistema automatizado para el análisis estadístico. Versión 2.0. ICA. [disquette]. 1998.
11. 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.
12. Boddey, R. M. /et al./ The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry*, 1997, vol. 29, no. 5-6, p. 787-799.
13. Burkles, D. Trionphe, B. Sain, G. Cover crops in hillside agriculture: farmer innovation with Mucuna. *Agriculture and Environment for Developing Regions*, 1999, vol. 4, no. 9.
14. Mascarenhas, H. A. A. /et al./ Efeito na produtividade da rotação de culturas de verão e crotalaria no inverno (NOTA). *Scientia Agrícola*, 1998, vol. 55, no. 3, p. 534-537.
15. Battle, J. /et al./ Dinámica del N mineral un suelo Pardo Grisáceo típico bajo pasto en condiciones de macetas. Sección Agroquímica. En: Seminario Científico INCA. Programa y Resúmenes. (9:1994:La Habana), 1994, 116 p.
16. Crozier, C. R.; King, L. D. y Volk, R. J. Tracing nitrogen movement in corn production systems in the North Carolina Piedmont: a nitrogen-15 study. *Agron. J.*, 1998, vol. 90, p. 171-177.
17. García, M. /et al./ Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using <sup>15</sup>N-isotope techniques. *Journal of Biotechnology*, 2001, vol. 91, p. 105-115.
18. Couillet, F. /et al./ Estimación del aporte de N del suelo en un cultivo de maíz (*Zea mays*). En: Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Programa y Resúmenes. (15, 5:2001:La Habana), 2001.
19. Biart, M. /et al./ Determinación del momento de aplicación y el porcentaje de utilización del fertilizante nitrogenado en el cultivo del arroz. Taller de sistemas integrados de nutrición de las plantas. En: Seminario Científico, INCA. Programas y Resúmenes. (11:1998:La Habana), 1998. 215 p.
20. Martín, G. M. y Rivera, R. Mineralización de dos especies promisorias de abonos verdes en suelo Ferralítico Rojo (Ferralsol) mediante el método de incubación aeróbica. *Cultivos Tropicales*, 2000, vol. 21, no. 2, p. 73-78.
21. Serna, M. D. y Pomares, F. Evaluation of chemical indices of soil organic nitrogen availability in calcareous soils. *Soil Sc. Soc. Am. J.*, 1992, vol. 56, no. 5, p. 1486-1491.
22. Rivera, R. Relatorio sobre los trabajos realizados en el CNPAB/EMBRAPA, durante el período 15/05/94 hasta 9/12/94. 1994.
23. 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.
24. 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.

Recibido: 27 de noviembre del 2001

Aceptado: 2 de abril del 2002